鄂尔多斯盆地东南南召地区中生代 以来的构造演化研究

——来自低温热年代学的证据

韩伟1),李玉宏1),刘溪2),陈高潮1),张云鹏1)

1)国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室,中国地质调查局西安地质调查中心,西安,710054;
 2)中煤能源研究院有限责任公司,西安,710054

内容提要:有关鄂尔多斯三叠纪原型盆地的东南向展布情况不是非常明确,之前有研究表明其东南缘可能位 于南召地区,对该区构造演化过程开展研究,可为鄂尔多斯三叠纪原型盆地研究提供重要信息。因此,为了研究南 召地区中生代以来的构造演化史及其与鄂尔多斯盆地之间的关系,本文对研究区3条野外剖面上3件三叠系样品 开展锆石、磷灰石裂变径迹研究。其锆石裂变径迹年龄为270±15~181±8Ma,与地层年龄相近或大于地层年龄, 不能很好地反映地层经历的构造改造时限,可能更多地代表了物源区的信息。磷灰石裂变径迹年龄为57±3~47 ±5Ma,结合裂变径迹年龄和热史模拟,本文认为南召地区自三叠纪以来经历了4期较大规模的构造改造,早期是 三叠纪末遭受了秦岭造山带强烈逆冲推覆对本区的影响;中期是中晚侏罗世到晚白垩世初;晚期是晚白垩世;末期 是喜马拉雅期,4期构造改造均与秦岭造山带的构造演化息息相关。此外,通过与鄂尔多斯盒地周缘地区展开对 比,发现二者构造演化过程具有相似的时限性,从构造演化的角度支持南召地区属于鄂尔多斯原型盆地的观点。

关键词:南召地区;鄂尔多斯盆地;低温热年代学;构造演化;中生代

鄂尔多斯盆地是我国重要的能源基地,其中三 叠系孕育了丰富的石油、天然气资源,其原型盆地的 形成与演化一直是不同学者关注的热点。目前多认 为该盆地中生代发育于华北克拉通之上,是一个克 拉通残延收缩的背景之下发育形成的大型能源盆 地,中、晚 三 叠 世 发 育 到 了 鼎 盛 时 期 (Zhao Chongyuan, 1990;Liu Chiyang et al.,2006)。向东 可扩至吕梁地区 (Zhao Hongge et al.,2007),向西 边界位于六盘山西缘大断裂和贺兰山西缘断裂附近 (Zhao Wenzhi et al.,2005),向南可扩至北秦岭商 丹带以北的柳叶河地区(Wang Jianqiang,2010;Liu Chiyang et al.,2006),东南可至河南南召一带(Liu Xi et al.,2018;Chen Quanhong,2007;Liu Chiyang et al.,2006)。但是,此前有关该原型盆地的东南向 展布并没有非常充足的证据。 近年来,笔者与项目团队于野外工作过程中,在 南召鸭河水库附近三叠系太山庙组中发现了凝灰 岩,该套凝灰岩可以和鄂尔多斯盆地三叠系凝灰岩 标志层相对应,并且通过沉积学和碎屑锆石年代学 为鄂尔多斯三叠纪原型盆地东南缘边界扩充至南召 地区提供了依据(Liu Xi et al., 2018; Liu Xi, 2019)。

南召地区位于鄂尔多斯盆地东南缘,构造上属 于秦岭造山带东缘,前人对南召地区开展过一些构 造研究,其中,陈传诗等对南召地区的充填演变过程 进行了研究,认为南召地区自晚侏罗世到早白垩纪, 经历了形成阶段-扩张阶段-稳定发展阶段和萎缩封 闭阶段(Chen Chuanshi et al.,1992);杨文涛等通 过三叠系太山庙组软沉积物变形特征对南召地区所 受印支期造山运动的影响开展了研究(Yang

引用本文:韩伟,李玉宏,刘溪,陈高潮,张云鹏. 2020. 鄂尔多斯盆地东南南召地区中生代以来的构造演化研究——来自低温热年代学的证据. 地质学报,94(10):2834~2843, doi: 10.19762/j. cnki. dizhixuebao. 2020265.
 Han Wei, Li Yuhong, Liu Xi, Chen Gaochao, Zhang Yunpeng. 2020. Tectonic evolution since the Mesozoic of the Nanzhao area in southeast of the Ordos Basin; evidence from low-temperature thermal chronology. Acta Geologica Sinica, 94(10):2834~2843.

注:本文为国家自然科学基金(41202104、41572131),国家自然科学重点基金(41630312)和中国地质调查局地质调查项目(编号 DD20190711)资助的成果。

收稿日期:2020-04-24;改回日期:2020-05-13;网络发表日期:2020-08-24;责任编委:刘俊来;责任编辑:黄敏。

作者简介:韩伟,男,1981年生,博士,主要从事盆地构造热演化史研究。通讯地址:710054,西安市友谊东路438号,中国地质调查局西安地质调查中心能源处; Email:hw_198196@163.com。

Wentao et al.,2017)。但是该区域构造演化与鄂尔 多斯盆地之间的关系尚不明确。

目前,裂变径迹方法在区域构造抬升和沉积盆 地热历史等问题的研究中广泛应用并取得了不少成 果;尤其是在刻画地质体经历的不同期次抬升-冷却 事件的时限,了解沉积盆地古地温场演化信息等方 面也有很好的应用(Zhou Zuyi et al.,2001;Ren Zhanli,1995;Yuan Wanming et al.,2004;Han Wei et al.,2014,2015;Liu Xi et al.,2017)。本文通过 对南召地区鸭河水库、南召南以及龙潭煤矿三条剖 面的三叠系地层开展锆石、磷灰石裂变径迹研究,拟 从沉积地层的低温热年代学角度,对研究区所经历 的构造改造开展研究,较为详细的刻画南召地区的 构造演化时限,并与鄂尔多斯盆地进行对比,进一步 明确研究区与鄂尔多斯盆地的关系。

1 地质背景及样品信息

南召地区地理上位于河南省西部,构造上位于

秦岭造山带北缘、鄂尔多斯盆地东南,栗川-固始大 断裂带的南侧。是形成于中元古界宽坪群和下古生 界二郎坪群的基底上的断陷盆地(图 1),呈箕状展 布,地层主要发育上三叠统太山庙组和太子山组 (Liu Xi et al.,2018)。

根据野外观测,南召地区太山庙组下部自下而 上主要为砾岩、砂岩及薄层泥岩的正旋回沉积;中 部主要为砂、泥岩互层,夹煤线或薄煤层;上部为 暗色泥岩夹细砂岩。主要经历了冲积扇→河流→ 湖三角洲→深湖及浊流相的沉积演化。上覆太子 山组由砂岩、粉砂岩夹泥岩组成,主要为河流三角 洲相沉积。

本次研究在南召地区的鸭河水库、南召南及龙 滩煤矿三条剖面的露头上各采集了1件砂岩样品, 共计3件,样品均属于上三叠统太山庙组(见图1、 表1),为保证在样品分析时能分选出足够数量的磷 灰石和锆石颗粒,从而保证分析质量,每个样品重量 均大于2kg。



图 1 鄂尔多斯盆地东南南召地区构造简图及采样位置图

Fig. 1 Structure diagram and sampling sites in Nanzhao Basin, southeastern Ordos Basin

表1 鄂尔多斯盆地东南南召地区磷灰石、锆石裂变径迹样品测试结果

Table 1 The results of apatite and zircon fission track analysis in Nanzhao basin, southeastern Ordos Basin

样号	层位	采样位置/GPS坐标	矿物	n	$ ho_{ m s}(10^5/{ m cm}^2)$ (Ns)	$ ho_{ m i}$ (10 ⁵ /cm ²) (Ni)	P(%)	中心年龄 (Ma) (±1 ₀)	L(μm) (N)
T 1		鸭河水库/N33°23′36.1″	磷灰石	13	3.709(206)	17.735(985)	40.9	47 ± 5	12.4±2.5(37)
LI		E112°39′33.0″	锆石	35	215.592(10448)	46.965(2276)	0	270 ± 15	
L2	一表女	南召南/N33°26′57.0″	磷灰石	35	3.428(711)	18.909(3922)	70.3	57 ± 3	12.8±2.1(101)
	二宜尔	E112°24′55.0″	锆石	24	184.658(5736)	37.376(1161)	0.1	202 ± 11	
L3		龙潭煤矿/N33°29′51.6″	磷灰石	34	3.392(840)	20.843(5161)	68.2	49±3	12.7±2.2(103)
		E112°21′05.5″	锆石	23	157.932(5651)	37.534(1343)	57.5	181 ± 8	

注:n一颗粒数, ρ_s =自发径迹密度, N_s =自发径迹条数, ρ_i =诱发径迹密度, N_i =诱发径迹条数,P:检验概率,年龄=径迹年龄土标准差,L=平均径迹长度士标准差,N=封闭径迹条数。

2 实验方法及结果分析

2.1 实验方法

磷灰石裂变径迹分析首先将样品经粉碎研磨至 60~150 目(0.1~0.25mm)后,经传统方法粗选,再 利用电磁洗、重液洗等手段,进行磷灰石单矿物提 纯。将磷灰石颗粒置于玻璃片上,用环氧树脂滴固, 然后进行研磨和抛光,使得矿物内表面露出。在 25℃下用 7% HNO3 蚀刻 30s 揭示自发径迹,将低铀 白云母外探测器与矿物一并放入反应堆辐照,之后 在 25℃下 40% HF 蚀刻 20s 揭示诱发径迹,中子通 量利用 CN5 铀玻璃标定(Yuan Wanming et al., 2004)。矿物的裂变径迹是用高精度光学显微镜,在 高倍镜下测量。选择平行c轴的柱面测量水平封径 迹长度,依据 Green 建议的程序测定(Green, 1986)。根据 IUGS 推荐的 Zeta 常数法和标准裂变 径迹年龄方程计算年龄值(Hurford et al., 1983), 文中获得磷灰石的 Zeta 常数为 410.0±17.6, 锆石 的 Zeta 常数为 90.9±2.8。样品的分析处理由中国 科学院高能物理研究所完成,分析结果见表1。

2.2 测试结果分析

P值(检验概率)是判别单颗粒年龄变化程度的 有效途径。当样品 P值>5%时,其中心年龄可代表 样品经历高温退火之后的真实抬升冷却年龄;当样 品 P值<5%时,其中心年龄属于比真实冷却年龄偏 大的混合年龄,只能近似代表样品抬升冷却的最大 年龄或物源碎屑的残存年龄记录(Galbraith,1981; Yuan Wanming et al.,2004)。对于这种情况,可结 合单颗粒年龄雷达图、年龄分布图以及年龄高斯拟 合曲线等,对混合年龄进行分组解析,从而给出与不 同年龄组分对应的最佳高斯拟合年龄,提供经历过 不同构造热事件样品抬升冷却的准确年龄记录。本 次研究 3 件磷灰石样品 P 值均大于 5%,说明绝大 部分颗粒年龄均属单一来源,大部分样品中心年龄 均可代表最近一次抬升冷却年龄(表1、图2)。

从表 1、图 2 可以看出所有样品的磷灰石裂变 径迹中心年龄主要集中在 47±5~57±3Ma 之间 (表 1、图 2),远小于样品所在地质体年龄(三叠纪), 这种年龄差说明本次研究样品都经历了完全退火 作用。

本次研究 3 件样品的径迹长度在 12.4±2.5~ 12.8±2.1µm 之间,均小于初始裂变径迹平均长度 16.5µm。结合各样品径迹长度分布特征(图 2),可 以看出,L3 样品径迹平均长度短,长度标准差值较 大,稍显负偏峰型、有短径迹尾出现,说明该样品在 磷灰石裂变径迹开始时退火速率很快,之后,随着温 度的降低,退火变的缓慢,属于埋藏后较为漫长持续 抬升过程(Zhou Licheng et al.,1994)。L2 样品同 样径迹平均长度短,长度标准差值较大,稍显负偏峰 型、有短径迹尾出现,只是长度分布较宽,且略显双 峰,说明其与L3 样品具有类似的热历史。而L1 样 品的径迹长度分布虽与后两个样品相似,但却明显 具有双峰特征,说明该样品可能经历过二次埋藏,更 多的保留了最后一次抬升冷却信息。

鸭河水库剖面样品的锆石裂变径迹中心年龄为 270±15Ma,属于 P 值为 0 的混合年龄,且大于地层 年龄。从其雷达图上可分解出两组年龄,分别为 220±Ma 和 269±Ma(图 3,表 2),分解年龄同样大 于地层年龄,说明样品没有经历锆石裂变径迹的退 火过程,所经历的最大埋藏温度小于 225±25℃(锆石 裂变径迹的退火温度),因此,该样品的锆石裂变径迹 年龄不具有构造意义。且分解年龄中较老的年龄与 测试年龄相当,可能暗示样品中锆石记录了源区的构 造活动信息,而该样品的磷灰石裂变径迹中心年龄 为 47±5Ma,远小于地层年龄,主要记录了研究区 经历的古近纪时期发生的一次构造抬升活动。

该剖面中暗色泥岩样品的 R。值为 0.66%~ 1.04%(表 3),计算最大古地温为 102~150℃,热演



图 2 鄂尔多斯盆地东南南召地区磷灰石裂变径迹年龄分布图

(每个样品左侧为单颗粒年龄分布雷达图,中间为单颗粒年龄分布直方图,右侧为长度分布直方图)

Fig. 2 Age distribution of apatite fission track in Nanzhao Basin, southeastern Ordos Basin (on the left is the single particle age distribution radar map, in the middle is the histogram of single particle age distribution, on the right is the length distribution histogram)

表 2	鄂尔多斯盆地东南南召地区裂变径迹分解年龄表	

Table 2	Decomposition age of	fission track i	n Nanzhao I	Basin, sout	heastern Ord	os Basin

样号	层位	磷灰石中心年龄 (Ma)(±1σ)	锆石中心年龄 (Ma)(±1σ)	磷灰石裂变径迹年龄分解	锆石裂变径迹年龄分解
L1		47 ± 5	270 ± 15	$35\pm$ $54\pm$	$220\pm$ 269 \pm
L2	三叠系	57 ± 3	202 ± 11	$52\pm$	$156\pm$ $199\pm$
L3		49 ± 3	181 ± 8	$45\pm$	$172\pm$

化程度中等,并未达到锆石裂变径迹的退火温度,但 已达到磷灰石裂变径迹的退火温度范围,与本次裂 变径迹测试结果相符,并且说明南召地区三叠系地 层热演化程度受构造影响不明显。

南召南剖面样品的锆石裂变径迹中心年龄为 202±11Ma,属于 P 值为 0.1 的混合年龄,接近或略 小于地层年龄。从其雷达图上可分解出两组年龄, 分别为 156±Ma 和 199±Ma(图 3,表 2),分解年龄 之一(199±Ma)显示略小于地层年龄,说明样品所 经历的最大埋藏温度接近或者略高于 225±25℃ (错石裂变径迹的退火温度);分解年龄之二(156± Ma)明显小于地层年龄,推测该年龄可能记录了该 区最早发生的构造运动信息。而该样品的磷灰石裂 变径迹中心年龄为 57±3Ma,远小于地层年龄,同 样主要记录了研究区经历的古近纪时期发生的一次 构造抬升活动。



图 3 鄂尔多斯盆地东南南召地区锆石裂变径迹年龄分布图

(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)

Fig. 3 Age distribution of zircon fission track in Nanzhao Basin, southeastern Ordos Basin

(On the left is the single particle age distribution radar map, on the right is the histogram of single particle age distribution)

表 3 鄂尔多斯盆地东南南召地区鸭河水库泥岩 R。分析数据表

Table 3	The Ro analysis	data of mudstone	of Yahe in Nanzhao	basin,	southeastern	Ordos Basin
				,		

样品编号	剖面	层位	岩性	$R\min(\%)$	<i>R</i> max(%)	$R_{ m o}$, ran $\%$	测点数
12TSM-S1	主刀响河水庄	一番女士山广切		0.985	1.101	1.043	5
12TSM-S3			灰黑色薄层	0.596	0.850	0.723	2
12TSM-S4	用台鸭西小库	二宜尔入山田组	粉砂质泥岩	0.632	0.795	0.718	20
12TSM-S8				0.574	0.720	0.657	8

龙潭煤矿剖面样品的锆石裂变径迹中心年龄为 181±8Ma,略小于地层年龄,该年龄 P 值为 57.5, 检验概率较高,但在较小的地层年龄与锆石裂变径 迹年龄差之间,地层温度很难达到锆石完全退火温 度,因此,该年龄在本文中也可作为该区最早发生构 造运动的反映。而从其雷达图上可分解出一组年 龄,为172±Ma(图3,表2),分解年龄也小于地层年 龄且与中心年龄大致相符,同样认为该年龄可能记 录了该区最早发生的构造运动信息。而该样品的磷 灰石裂变径迹中心年龄为49±3Ma,远小于地层年 龄,同样主要记录了研究区经历的古近纪时期发生 的一次构造抬升活动。

以上这些证据说明这些样品的锆石裂变径迹年 龄及高斯分离年龄多显示与地层年龄相近或大于地 层年龄,不能很好地反映地层经历的构造改造时限, 可能更多地代表了物源区的信息。而磷灰石样品显 示研究区所经历的埋藏过程较为简单,磷灰石裂变 径迹基本保留了最后一次抬升冷却信息。

3 抬升冷却历史模拟

在利用磷灰石裂变径迹方法研究沉积盆地沉降/抬升相关时限时,还可以通过软件对一段温度随时间变化的低温热历史进行模拟(Brandon,1996)。

本次研究使用 Hefty 软件对 3 件样品进行热史 模拟,按照实验数据选择相关模拟条件,拟合次数选 取 100000 次,模拟温度从高于磷灰石裂变径迹退火 带底部温度到现今地表温度 20℃,模拟时间从样品 所在地层年龄附近开始。模拟框限定均为三个,左 上框根据样品地层年龄及地表估计温度 20℃来限 定,由于该区镜质体反射率反映出研究区热演化史 的温度信息,中间框根据本次研究南召南和龙潭煤 矿剖面上锆石裂变径迹分离出的两组可能记录了该 区最早发生的构造运动信息的高斯年龄 156±~ 172±Ma来限定,右上框是根据退火带温度范围及 样品磷灰石裂变径迹年龄来限定,模拟框横向均选 择较宽,为了便于软件寻求最佳模拟方案,可以看出 三个数据基本都完整地模拟出了样品所经历的沉 降-抬升过程(图 4)。

在 Hefty 软件进行热史模拟过程中,有 2 个指标可以检验模拟效果。其中"K-S 检验"表示径迹长度模拟值与实验值的吻合程度;"年龄 GOF"代表径迹年龄模拟值与实测值的吻合程度,若这两项指标都大于 5%时,表示模拟结果"可以接受",当值超过50%时,模拟结果则是"高质量的"(Xiao Hui et al., 2011; Han Wei et al., 2015)。模拟结果显示 3 件样品的这两项指标全部大于 5%,并有 2 个样品得检验值超过 50%,模拟效果较好(图 4)。

由热史模拟结果可以看出,3件样品的热历史

较为一致,在沉积之后均快速沉降并在晚白垩纪 (100Ma)之前达到最大埋深,在75~45Ma之间,研 究区经历了一次较为缓慢的抬升,并仍保留在磷灰 石退火温度范围内(120~60℃),直到25~10Ma左 右,研究区经历了一次快速抬升、冷却,温度低于磷 灰石退火温度上限,并抬升至地表,总体反映出了研 究区的两次构造抬升过程。

4 讨论

通过分析南召地区上三叠统样品的锆石、磷灰 石裂变径迹特征,其中锆石裂变径迹年龄(181±8~ 270±15Ma)多与地层年龄相近或大于地层年龄,不 能很好地反映地层经历的构造改造时限,可能更多 地代表了物源区的信息。中-晚三叠世,秦岭造山带 开始全面碰撞造山,发生斜向俯冲、碰撞,南秦岭海 水由东向西退出成陆(Zhang Guowei et al., 2001; Chen Shiyue et al., 2000; Zhang Fuxin et al., 2004)。杨文涛等人对南召地区上三叠统太山庙组 软沉积物变形构造开展研究,认为该时期秦岭造山 带发生的强烈逆冲推覆构造运动对本区影响显著, 并造成了高强度的古地震活动,使软沉积物发生塑 性变形甚至破裂(Yang Wentao et al., 2017)。王非 等对东、西秦岭地区花岗岩 Ar40-Ar39 进行年代测定 及磷灰石裂变径迹分析表明,东秦岭的隆升始于晚 三叠世早期,年龄主体在231~225Ma;西秦岭的隆 升时间约在 218~210Ma,晚于东秦岭,并且认为西 秦岭位于秦一祁造山带的接合部位,构造应力强于 东秦岭(Wang Fei et al., 2004)。南召盆地位于东 秦岭造山带北缘,本次3件样品的锆石裂变径迹年 龄及其高斯分解年龄(表 3)集中于 200Ma 前后,说 明秦岭造山带的隆升对研究区造成了一定的影响并 可能向其提供物源。同在这一时期,鄂尔多斯三叠 纪原型盆地开始整体抬升,逐渐消亡,并造成了盆地 内三叠纪末的沉积间断。

而磷灰石裂变径迹年龄及模拟结果反映的地质 演化过程较为一致,都反映研究区存在早、中、晚三 期构造运动,并且与区域构造演化阶段可以很好地 对应。

早期构造运动(156±~172±Ma):本次构造运动影响是本次研究中通过南召南和龙潭煤矿剖面锆石裂变径迹高斯分解年龄得出的两组可能记录研究区最早经历构造改造的时间。从构造背景来看,中晚侏罗世一晚白垩世早期(160~90 Ma),受东部古太平洋板块向亚洲大陆俯冲和汇聚,北部西伯利亚





板块与蒙古-华北板块的碰撞和汇聚,西部特提斯洋 消减和陆块碰撞的汇聚作用,燕山运动进入顶峰时 期,中国中东部地区构造变形强烈,进而东、西部大 构造块体发生转换与叠加,鄂尔多斯盆地受此影响 逐渐消亡并全面进入后期改造时期,形成了东压西 裂的构造环境,最终使盆地东缘快速隆升,形成了东 高西低的地貌(Liu Wusheng et al.,2008)。南召地 区位于鄂尔多斯盆地东南,构造位置位于秦岭造山

带北缘,对本次构造改造也有相应的记录,但仅在一 个样品的高斯分离年龄中有显示,可能说明本次构 造运动对研究区的影响有限,或者说是本次构造运 动对鄂尔多斯盆地南部及秦岭造山带北缘地区影响 有限。

中期构造运动(75~45Ma):中晚侏罗世到晚白 垩世,中国中东部地区构造变形强烈后的晚白垩世 晚期,秦岭造山带开始伸展裂解,最终分解成为西秦 岭、东秦岭、大别山等。沿着秦岭造山带周缘形成了 江汉、渭河等断陷盆地,这种强烈的差异升降运动, 最终定格了秦岭地区现今的盆-山构造地貌(Zhang Guowei et al.,2001)。

受控于秦岭造山带晚白垩世以来的伸展裂解, 这次构造改造对研究区及周围的影响是非常普遍 的,有关学者对鄂尔多斯盆地东南缘地区开展裂变 径迹研究均记录了这一时段的构造改造(Wang Jianqiang et al.,2010; Xiao Hui et al.,2013; Liu Wusheng et al.,2008; Chen Gang et al.,2007),其 中洛南地区记录年龄为 66-59Ma(Huang Zhigang et al.,2016),韩城地区记录年龄为 $32 \sim 45$ Ma(Ren Zhanli et al.,2015)、 $51.6 \sim 66.3$ Ma(Huang Zhigang et al.,2016),河津地区记录年龄为 $33 \sim$ 43Ma(Ren Zhanli et al.,2015)。

南召地区位于鄂尔多斯盆地东南,一些学者认 为南召地区本就是"大鄂尔多斯盆地"的东南缘(Liu Chiyang et al.,2006,Liu Xi et al.,2018),本次研究 三个磷灰石裂变径迹所记录年龄为47~57Ma,略 晚于洛南地区,同步或早于韩城、河津地区。这些证 据说明这一时期整个鄂尔多斯盆地东南均受秦岭造 山带伸展裂解影响而发生了构造改造,由于构造位 置不同,所受构造改造强度和时间也略有不同。

晚期构造运动(25~10Ma):始新世以来,印度 板块对欧亚板块开始俯冲碰撞,研究区西部的秦岭 山脉就是这一时期的产物,其中位于东秦岭北侧的 华山就是在 22~8Ma 期间快速隆升的燕山期花岗 岩岩体(Wu Zhonghai et al., 2003)。任战利等认为 秦岭造山带北缘在 40Ma 以来才进入主隆升期,特 别是在 5Ma 前后隆升速率加快(Ren Zhanli et al., 2015),不同学者在鄂尔多斯盆地周缘开展研究工作 时也发现秦岭造山带北缘具有这一阶段的快速隆升 过程(Wang Jianqiang et al., 2010; Xiao Hui et al., 2013; Liu Wusheng et al., 2008; Chen Gang et al., 2007)。本次研究通过对南召地区热历史的模拟,发 现研究区经历了这一期构造运动,也正是此次构造 改造对研究区也造成了强烈的影响,南召地区出露 的三叠系就是在这一时期被抬升至地表的,通过与 研究区周边构造背景的对比,也验证了这一模拟结 果的可靠性。

综上所述,本次对南召地区的锆石、磷灰石裂变 径迹研究结果显示,该区与鄂尔多斯盆地的构造演 化过程具有很好的一致性,从构造演化的角度支持 南召盆地为鄂尔多斯三叠纪原型盆地东南边界的 认识。

5 结论

南召地区位于东秦岭造山带北缘,鄂尔多斯盆 地东南。本文通过磷灰石、锆石裂变径迹热年代学 对南召地区中生代以来的构造演化过程开展研究, 取得了一些初步认识:

(1)南召地区3条野外剖面的3件样品的锆石 裂变径迹年龄(181±8~270±15Ma)多与地层年龄 相近或大于地层年龄,不能很好地反映地层经历的 构造改造时限,可能更多地代表了物源区的信息,记 录了三叠纪末,印支运动时秦岭造山带发生的强烈 逆冲推覆构造运动对本区的影响。

(2)3件样品的锆石裂变径迹高斯分离年龄和 磷灰石裂变径迹年龄及模拟结果显示,研究区三叠 纪以来主要经历了4期较大规模的构造改造,早期 是三叠纪末遭受了秦岭造山带强烈逆冲推覆对本区 的影响;中期是中晚侏罗世到晚白垩世初;晚期是晚 白垩世;末期是喜马拉雅期。其中中、晚期均受控于 秦岭造山带晚白垩世以来伸展裂解的构造演化 过程。

(3)通过与前人在鄂尔多斯盆地周缘开展热年 代学研究对比,发现南召地区与鄂尔多斯盆地所经 历的四次构造改造均与秦岭造山带息息相关,在时 间上有着高度一致性,支持南召地区属于鄂尔多斯 原型盆地的观点。

References

- Barbarand J, Carter A, Wood I, Hurford A J. 2003. Compositional and structural control of fission-track annealing in apatite. Chemical Geology, 198(1-2):107~137.
- Brandon M T. 1996. Probability density plot for fission track grain age samples. Radiat Meas, 26(5):663~676.
- Chen Chuanshi, Su Xianbo. 1992. Filling evolution characteristics of Nanzhao Basin in Henan Province. Coal Geology of China, 4 (3):15~18.
- Chen Gang, Sun Jianbo, Zhou Lifa, Zhang Huiruo, Li Xiangping, Li Xiangdong. The fission track study of the mesozoic tectonic uplift events in the southwestedge ofOrdos Basin[J]. Science in China; Series D:Earth Science, 2007, 37(Suppl. I):110~118.
- Chen Quanhong. 2007. Research on sedimentary systems and hydrocarbons enrichment of the Upper Palaeozoic of the Ordos Basin. Xi'an: Northwest University
- Chen Shiyue. 2000. Sedimentary-Tectonic Evolution from Late Palaeozoic to Triassic in the South of North China Block. Journal of China University of Mining & Technology, 29(5):94 ~98.
- Green P F. 1986. On the thermo-tectonic evolution of northern England. Evidence from fission track analysis. Geology, $5:493 \sim 506$.
- Galbraith R F. 1981. On statistical models for fission track counts. Meth Geol, 13:471~488.
- Gleadow A J W, Duddy I R, Green P F, Lovering J F. 1986.

Confined fission track lengths in apatite: A diagnostic tool for thermal history analysis: Contributions to Mineralogy and Petrology, $94:405 \sim 415$.

- Han Wei, Lu Jincai, Zhang Yunpeng, Li Yuhong, Wei Jianshe, Liu Xi. 2014. Apatite Fission Track and its Petroleum Geological Significance of the Ejina Area and its Vicinity, Western Inner Mongolia. Geotectonica et Metallogenia, 38(3):647~655.
- Han Wei, Lu Jincai, Wei Jianshe, Zhang Yunpeng, Li Yuhong, Li Yan. 2015. Apatite Fission Track Constraints on the Mesozoic Tectonic Activities in Shangdan Depression, Yin'e Basin, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 89(12):2277~2285.
- Huang Zhigang, Ren Zhanli, Gao Longgang. Evidence from detrital zircon and apatite fission track for tectonic evolution since Cretaceous in southeastern margin of Ordos basin. Chinese Journal of Geophysics, 59(10): 3753~3764.
- Hurford A J, Green P F. 1983. The zeta age calibration of fission track dating. Isotope Geoscience, 1:285~317.
- Ketcham R A, Donelick R A, Donelick M B. 2000. AFTSolve: A program for multi-kinetic modeling of apatite fission-track data. Geological Materials Research,2(1):1~32.
- Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, Yue Leping, Zhao Junfeng, Wang Jianqiang. 2006. Space-Time Coordinate of the Evolution and Reformation and Mineralization Response in Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 80(5):617~638.
- Liu Wusheng, Qin Mingkuan, Qi Fucheng, Xiao Shuqing, Wang Zhiming, 2008. Analysis on the meso—neozoic subsidence and uplift history of the periph-cry of Ordos Basin using apatite fission track. Uranium Geology, 2008, 24(4):221~227.
- Liu Xi, Han Wei, Wei Jianshe, Zhang Yunpeng. 2017. Constraints of Apatite Fission Track on the Mesozoic Tectonic Activities in Xirehada Region, Yin'e Basin, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, Acta Geologica Sinica, 91(10):2185~2195.
- Liu Xi, Li Yanguang, Yang Xiyan, Han Wei, Ma Yao, Zhang Qiao, Li Wenhou. 2018. The extension of Southeastern margin of Ordos Basin in Triassic: The evidences from sedimentation and detrital zircon chronology of Nanzhao Area. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 48(04): 150 ~158.
- Liu Xi. 2019. Prototype Basin Analysis of Eastern and Southern part of Ordos Basin in Middle-Late Triassic. Xi ' an: Northwest University
- Ren Zhanli. 1995. Thermal History of Ordos Basin Assessed by Apatite Fission Track Analysis. Chinese Journal of Geophysics, 1995,38(3):339~349.
- Ren Zhanli, Cui Junping, Li Jinbu, Wang Jiping, Guo Ke, Wang Wei, Tian Tao, Li Hao, Cao Zhanpeng, Yang Peng. 2014. Tectonic-Thermal History Reconstruction of Ordovician in the Weibei Uplift of Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 88(11): 2044~2056.
- Ren Zhanli, Cui Junping, Guo Ke, Tian Tao, Li Hao, Wang Wei, Yang Peng, Cao Zhanpeng. 2015. Fission-track analysis of uplift times and processes of the Weibei Uplift in the Ordos Basin. Chinese Science Bulletin, 60(14):1298~1309.
- Wang Fei, Zhu Rixiang, Li Qi, He Huaiyu, Luo Qinghua, Lu Xinxiang, Sang Haiqing, Wang Yinglan. 2004. A differential uplifting of Qinling orogeny belt evidences from 40 Ar/39 Ar thermochronology of granites. Earth Science Frontiers, 11(4), $445 \sim 459$.
- Wang Jianqiang, Liu Chiyang, Yan Jianping, Zhao Hongge, Gao Fei, Liu Chao. 2010. Development time and evolution characteristics of Weibei uplift in the south of Ordos basin. journal of lanzhou university(natural sciences), 46: 22~30.
- Wu Zhonghai, Wu Zhenhan, Wan Jinglin, Zhou Chunjing. 2003. Cenezoic uplift and denudation history of huashan mountains: evidence from fission track thermo-chronology of huashan granite. geological science and technology information, 22(3), $27 \sim 32$.
- Xiao Hui, Ren Zhanli, Zhao Jingzhou, Wang Qicong, Shi Baohong, Song Lijun. 2011. The tectonic-thermal evolution history in the

Kuruketage uplift, Xinjiang Province, China. Earth Science Frontiers, 18(3):33~41.

- Yang Wentao, Wang Min. 2017. Soft-sediment deformation structures from the Upper Triassic Taishanmiao Formation of the Nanzhao Basin in Henan Province and their palaeogeographic significances. Journal of Palaeogeography, 19 (1):117~128.
- Yuan Wanmingg, Dong Jinquan, Bao Zengkuan. Fission track evidences for tectonic activity in Altay Mountains, Xinjiang, North-Western China. Earth Science Frontiers, 11 (7): 461 ~468.
- Zhang Fuxin, Du Xiaohua, Wang Weitao, Qi Yalin. Mineralization Responsed to Mesozoic Geological Evolution of The Qinling Orogen And Its Environs. Chinese Journal of Geology, 2004, (4): 486~495.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 432~449
- Zhao Chongyuan, Liu Chiyang. 1990. Formation Evolution and Hydrocarbon Occurrence of Sedimentary Basins in North China Craton(in chinese). Xi'an: Northwest University Press, $10 \sim 21$
- Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Feng, Wang Jianqiang, Li Qiong, Yao Yaming. 2007. Uplift time limit and evolution of Helan Mountain. Science in China(Series D:Earth Sciences), 037(0z1), 185~192.
- Zhao Wenzhi, Wang Xinmin, Guo Yanru, LIU Huaqing, Bai Yunlai. Restoration and tectonic reworking of the Late Triassic basin in western Ordos Basin. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1):6~13.
- Zhou Zuyi, Liao Zongting, Yang Fengli, Fu Qiang. 2001. Fissiontrack analysis and its application in the study of sedimentary basins. Experimental Petroleum Geology,23(3):332~337.
- Zhou Licheng, Feng Shi, Wang Shicheng, Kang Tiesheng. 1994. Numerica Imodelling on the length distributions of apatite fission-tracks and its applications in geology. Experimental Petroleum Geology, 16(4):409~416.

参考文献

- 陈传诗,苏现波.1992.河南省南召地区充填演变特征.中国煤炭地 质,4(3):15~18.
- 陈全红.2007.鄂尔多斯盆地上古生界沉积体系及油气富集规律研 究.西安:西北大学.
- 陈世悦. 2000. 华北地块南部晚古生代至三叠纪沉积构造演化.中国 矿业大学学报, 29(5):94~98.
- 陈刚,孙建博,周立发,章辉若,李向平,李向东.2007 鄂尔多斯盆地 西南缘中生代构造事件的裂变径迹年龄纪录.中国科学 D 辑: 地球科学,37(增 I) 110~118.
- 韩伟,卢进才,张云鹏,李玉宏,魏建设,刘溪.2014.内蒙古西部额济纳旗及其邻区磷灰石裂变径迹研究及其油气地质意义.大地构造与成矿学,38(3):647~655.
- 韩伟,卢进才,魏建设,张云鹏,李玉宏,李岩.2015.内蒙古银额盆 地尚丹凹陷中生代构造活动的磷灰石裂变径迹约束.地质学 报,89(12):2277~2285.
- 黄志刚,任战利,高龙刚.2016.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.地球物理学报,59(10):3753~3764.
- 刘池洋,赵红格,桂小军,岳乐平,赵俊峰,王建强.2006.鄂尔多斯盆 地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应.地质学报,80(5): 617~638.
- 刘武生,秦明宽,漆富成,肖树青,王志明.运用磷灰石裂变径迹分析 鄂尔多斯盆地周缘中新生代沉降隆升史.铀矿地质,2008,24 (4):221~227.
- 刘溪,韩伟,魏建设,张云鹏.2017.内蒙古银额盆地希热哈达地区中 生代构造活动的磷灰石裂变径迹约束.地质学报,91(10):2185 ~2195.
- 刘溪,李艳广,杨喜彦,韩伟,马瑶,张乔,李文厚,2018. 三叠纪鄂尔 多斯盆地东南边缘的扩张一来自南召地区沉积及碎屑锆石年

代学的证据.西北大学学报(自然科学版),48(4):150~158.

- 刘溪.2019 鄂尔多斯盆地东、南部中晚三叠世延长期原型盆地分析. 西安:西北大学.
- 任战利.1995.利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地热史.地球 物理学报,38(3):339~350.
- 任战利,崔军平,李进步,王继平,王维,郭科,王维,田涛,李浩,曹展 鹏,2014.鄂尔多斯盆地渭北隆起奥陶系构造一热演化史恢复. 地质学报,88(11):2044~2056
- 任战利,崔军平,郭科,田涛,李浩,王维,杨鹏,曹展鹏.2015.鄂尔多 斯盆地渭北隆起抬升期次及过程的裂变径迹分析.科学通报, 60(14):1298~1309.
- 王非,朱日祥,李齐,贺怀宇,罗清华,卢欣祥,桑海清,王英兰.2004. 秦岭造山带的差异隆升特征——花岗岩 40Ar/39Ar 年代学研 究的证据.地学前缘,11(4),445~459.
- 王建强,刘池洋,闫建萍,赵红格,高飞,刘超.2010.鄂尔多斯盆地南 部渭北隆起发育时限及其演化.兰州大学学报(自然科学版), 46(4):22~30.
- 吴中海,吴珍汉,万景林,周春景.2003.华山新生代隆升—剥蚀历 史的裂变径迹热年代学分析.地质科技情报,22(3):27~32.
- 肖晖,任战利,赵靖舟,王起琮,时保宏,宋立军.2011.新疆库鲁克

- 塔格地区盆山构造-热演化史.地学前缘,18(3):33~41.
- 杨文涛,王敏.2017.河南南召地区上三叠统太山庙组软沉积物变形 构造及其古地理意义.古地理学报,19(1):117~128.
- 袁万明,董金泉,保增宽.2004.新疆阿尔泰造山带构造活动的磷灰 石裂变径迹证据.地学前缘,11(7):461~468.
- 张复新,杜孝华,王伟涛,齐亚林.2004.秦岭造山带及邻区中生代 地质演化与成矿作用响应.地质科学,39(4):486~495.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉.2001.秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社,432~449.
- 赵重远,刘池洋.1990.华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋 存.西安:西北大学出版社,10~21.
- 赵红格,刘池洋,王锋,王建强,李琼,姚亚明.2007.贺兰山隆升时限 及其演化.中国科学(地球科学),037(0z1),185~192.
- 赵文智,王新民,郭彦如,刘化清,白云来.鄂尔多斯盆地西部晚三叠 世原型盆地恢复及其改造演化.石油勘探与开发,2006,33 (1):6~13.
- 周祖翼,廖宗廷,杨凤丽,傅强.2001.裂变径迹分析及其在沉积盆地 研究中的应用.石油实验地质,23(3):332~337.
- 周成礼,冯石,王世成,康铁笙.1994.磷灰石裂变径迹长度分布数值 模拟及地质应用.石油实验地质,16(4):409~416

Tectonic evolution since the Mesozoic of the Nanzhao area in southeast of the Ordos Basin: evidence from low-temperature thermal chronology

HAN Wei^{*1)}, LI Yuhong¹⁾, LIU Xi²⁾, CHEN Gaochao¹⁾, ZHANG Yunpeng¹⁾

1) Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Desposits, MLR, Xi'an Center of

Geological Survey, CGS, Xi'an, 710054; 2) China Coal Energy Research Institute Co., Ltd., Xi'an, 710054

* Corresponding author: hw_198196@163.com

Abstract

Although previous studies indicate that the southeast margin of the prototype Ordos Basin may be located in the Nanzhao area, the southeast extent of the basin remains unknown. Therefore, a study on the tectonic evolution of the area can provide important information for the Triassic prototype Ordos Basin research. In this paper, three Triassic samples from three field sections are investigated with zircon and apatite fission tracks to study the tectonic evolution history since Mesozoic in the Nanzhao area and its relationship with the Ordos Basin. The fission track ages of zircons range from 270 ± 15 Ma to 181 ± 8 Ma, which are close to, or older than the stratigraphic age, and may more represent provenance area information. The apatite fission track ages range from 57 ± 3 Ma to 47 ± 5 Ma. Combining these ages with thermal history simulation, this paper suggests that the Nanzhao area has undergone four large-scale structural transformations since the Triassic. In the early stage, it was affected by the strong overthrust of the Qinling Orogenic Belt at the end of the Triassic; the middle stage was from Middle-Late Jurassic to Early of Late Cretaceous; the late stage was Late Cretaceous; and the last stage was Himalayan. These four stages of structural transformation have close relationship with tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt. In addition, through the comparison with the surrounding areas of the Ordos Basin, it is found that the structural evolution processes of the Nanzhao area and the Ordos Basin have similar timelines, which supports the view that the Nanzhao area belongs to the Ordos prototype basin from the perspective of structural evolution.

Key words: Nanzhao area; Ordos Basin; low-temperature thermal chronology; tectonic evolution; Mesozoic