

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

韩伟^{1,2)}, 卢进才¹⁾, 魏建设¹⁾, 张云鹏¹⁾, 李玉宏¹⁾, 李岩¹⁾

1) 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安, 710054;

2) 西北大学大陆动力学国家重点实验室/地质学系, 西安, 710069

内容提要: 本文通过对银额盆地东南缘尚丹凹陷的三条剖面开展磷灰石裂变径迹研究, 揭示了研究区中生代构造演化史。5 个样品的中心年龄为 $129 \pm 10 \sim 159 \pm 11$ Ma, 径迹长度在 $12.5 \pm 2.0 \sim 13.3 \pm 1.7 \mu\text{m}$ 之间, 各样品径迹长度分布具有范围较宽、单峰的特征。反映了在晚侏罗世—早白垩世时期, 受燕山 III 幕构造运动影响, 研究区遭受抬升、剥蚀的构造事件。该时期抬升速率约为 $40 \sim 55$ m/Ma, 且由北向南逐渐降低, 是研究区主要抬升期, 油气系统遭受破坏。此后至白垩纪末, 研究区阿木山组始终处于生烃门限温度内, 且构造背景稳定, 有利于油气生成。结合与北部凹陷带所开展工作(磷灰石裂变径迹记录年龄为 $90 \sim 113$ Ma), 证明银额盆地中生代时期存在差异隆升, 不同构造位置受不同期次构造运动的影响也存在差异, 为银额盆地构造演化研究提供了依据。

关键词: 内蒙古银额盆地; 中生代; 磷灰石裂变径迹; 构造演化; 油气生成

通常情况下, 磷灰石裂变径迹可以记录岩石经历的小于 $110 \pm 10^\circ\text{C}$ 的低温热历史的详细信息。随着对裂变径迹长度分布特征与裂变径迹退火模型的深入研究和数字模拟技术的进步, 可精确地反演构造域的热构造历史, 即探讨构造演化过程与相应温度间的变化关系, 建立年代—温度演化轨迹 (Barbarand et al., 2003; Ketcham et al., 2000)。近年来, 裂变径迹方法在构造抬升和沉积盆地热历史方面的应用取得了不少成果。在重塑不同时间段抬升—冷却事件的时间、期次和温度演化过程, 反映盆地早期古地温场演化信息等方面均有较好的应用。在研究程度较低的地区, 该方法的特性和优越性尤为明显 (周祖翼等, 2001; 任战利, 1995; 袁万明等, 2007)。

银额盆地位于内蒙古西部, 是包括古生代与中生代的叠合盆地, 是我国内陆地区油气地质工作程度极低的地区。近年勘探工作显示, 该区古生界、中生界发育多套有规模、品质良好的烃源岩, 且具备较好的油气地质条件, 是有望实现新区、新层系油气勘探突破的地区之一 (卢进才等, 2011a)。银额盆地形成之后经历了多期次构造改造, 尤其是燕山期构造

运动使盆地经历了陆内盆山构造演化, 并在白垩纪孕育了一系列的生油凹陷, 其中查干凹陷已实现工业油气开采, 具有相似背景的尚丹凹陷虽然被前人认定为油气有利远景区, 但还未深入开展工作 (左国朝等, 2003; 吴少波等, 2003)。中生代所经历的构造事件导致盆地的构造演化发生变化, 特别是燕山运动中期, 西伯利亚板块由北纬 70° 向南快速移动; 和燕山运动末期, 印度板块快速向北俯冲, 对研究区影响尤为强烈, 盆地构造热演化历史也相应改变, 对于这些生油凹陷的构造演化过程还有待进一步研究。

本文拟通过对尚丹凹陷 3 条剖面露头采集的样品进行磷灰石裂变径迹分析, 并在此基础上进行时间—温度历史的模拟, 探讨该区中生代热演化历史及其构造意义, 从而判断其构造改造对研究区油气地质条件的影响。

1 区域地质背景和样品分布

尚丹凹陷位于银额盆地及其邻区东南缘, 北与宗乃山—楚鲁隆起相邻, 南接雅布赖—乌拉山断裂, 西南为苏亥图凹陷, 东北为查干凹陷。该区在古生代发育了一套碳酸盐台地相沉积, 中生代发育以湖

注: 本文为国家自然科学基金 (41202104) 资助; 中国地质调查局国土资源大调查项目 (1212010733506) 资助。

收稿日期: 2014-04-10; 改回日期: 2014-10-22; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 韩伟 (1981—), 男, 工程师, 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。

湘为主的沉积,中生代以来经历了侏罗纪、早白垩世板内拉分裂陷、晚白垩世)第三纪整体坳陷和喜马拉雅期不均匀挤压隆升三大阶段的演化,现今呈下断上坳双层结构。

卢进才等认为银额盆地石炭—二叠系抬升剥蚀量极大,盆地西北部路井凹陷石炭—二叠系剥蚀厚度为 3205.6 m(卢进才等,2012)。卫平生等认为,中生代尚丹凹陷差异沉降明显,沉降中心侏罗系最大厚度为 2600 m,下白垩统最大厚度为 1800 m,这说明研究区在中生代沉积厚度巨大(卫平生等,2006)。石炭—二叠系沉积之后,经历了海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多期次的构造改造(表

1),大致可认为是“巨厚沉积—抬升剥蚀—再次沉积”的过程,磷灰石裂变径迹可能经历了重置,只记录了最近一次构造抬升冷却的过程。

本次研究共取砂岩样品 5 个,样品均取自剖面露头,分别位于尚丹凹陷的尚丹、山恨、查古尔剖面,样品均属于石炭—二叠系阿木山组(见图 1、2、表 1),为保证做样时能分离出足够数量的磷灰石颗粒,每个样品的质量都在 2 kg 以上。

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

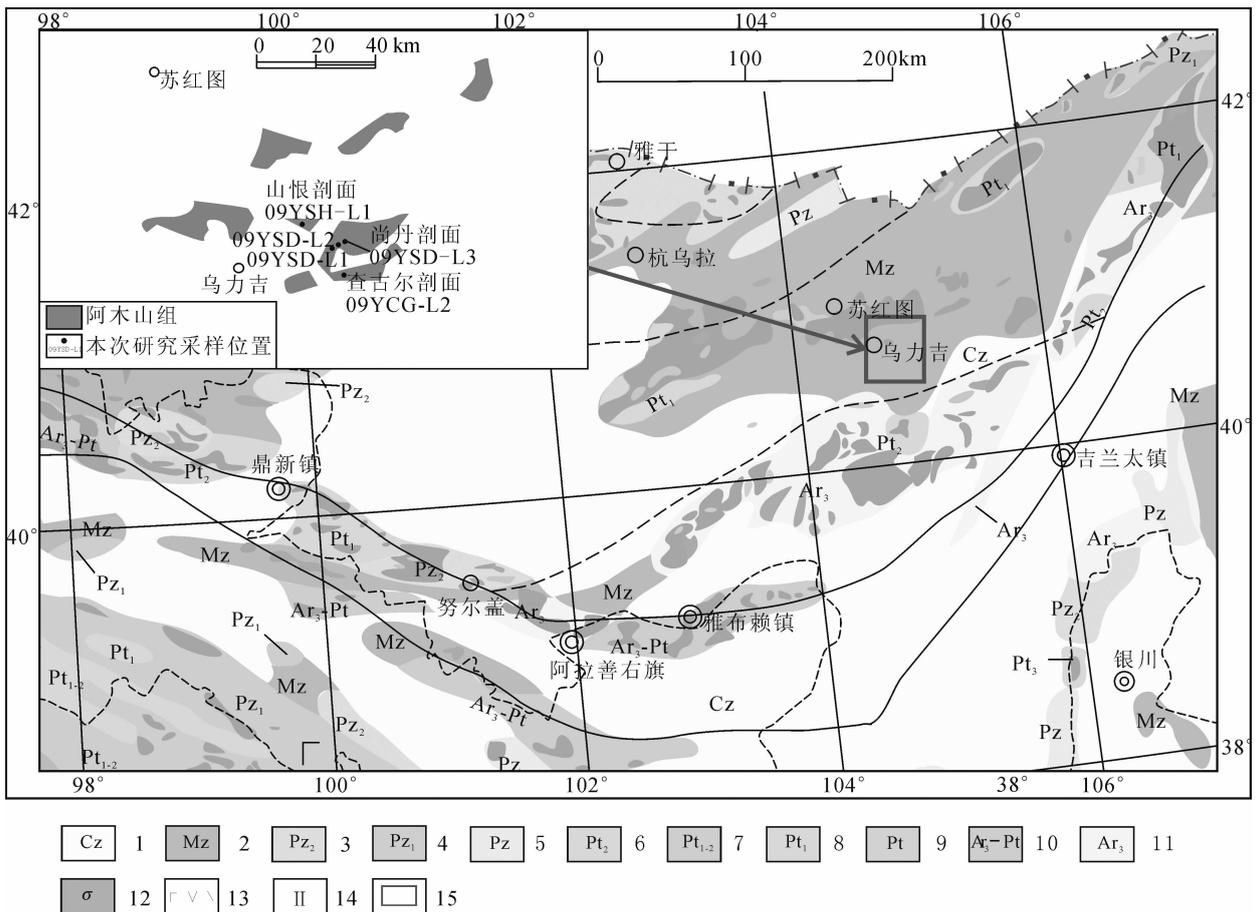


图1 内蒙古银额盆地石炭—二叠纪构造单元划分及剖面位置示意图(底图根据1:20万地质图编制)

Fig.1 Division of C-P tectonic units in Yin'e Basin, Inner Mongolia and sampling sites

(Base map prepared in accordance with 1:20000 geological map)

1-新生界冲洪积层; 2-中生界泥岩、砂岩; 3-上古生界碎屑岩、碳酸盐岩; 4-下古生界碎屑岩、浅变质岩; 5-古生界碎屑岩; 6-中元古界变质岩; 7-古-中元古界变质岩; 8-元古宇界变质岩; 9-元古宇变质岩; 10-新太古界—元古宇变质岩; 11-新太古界变质岩; 12-超基性岩; 13-火山岩; 14-构造单元; 15-本次研究采样剖面位置。

1-Cenozoic alluvial layer; 2-Mesozoic shale and sandstone; 3-Upper Paleozoic clastic and carbonate; 4-Lower Paleozoic clastic and low grade metamorphic rock; 5-Paleozoic clastic; 6-Middle Proterozoic metamorphic; 7-Ancient-Middle Proterozoic metamorphic; 8-Paleoproterozoic metamorphic; 9-Proterozoic metamorphic; 10-Archean-Proterozoic metamorphic; 11-Archean metamorphic; 12-Ultrabasic; 13-Volcanic; 14-Tectonic units; 15-The section position of this study.

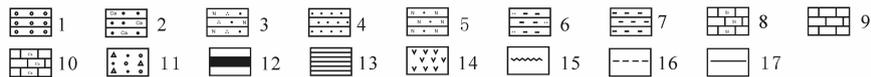


图2 内蒙古银额盆地地层、构造运动综合柱状图

Fig.2 Integrated histogram of the stratum and tectonic movement in Yin'e Basin, Inner Mongolia

1-砾岩; 2-钙质砂岩; 3-长石石英砂岩; 4-细砂岩; 5-长石砂岩; 6-粉砂质泥岩; 7-泥岩; 8-硅质灰岩; 9-灰岩; 10-钙质灰岩; 11-冲洪积层; 12-煤层; 13-页岩; 14-安山岩; 15-角度不整合; 16-平行不整合; 17-整合。
 1-Conglomerate; 2-Calcareous sandstone; 3-Feldspar-quartz sandstone; 4-Fine sandstone; 5-Feldspar sandstone; 6-Silty mudstone; 7-Mudstone; 8-Siliceous limestone; 9-Limestone; 10-Calcium limestone; 11-Alluvial layer; 12-Seam; 13-Shale; 14-Andesite; 15-Angular unconformity; 16-Parallel unconformity; 17-Integration.

60~150目(0.1~0.25 mm)后,经传统方法粗选,再利用电磁选、重液选等手段,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入反应堆辐照,之后在25℃下40% HF蚀刻20s揭示诱发径迹,中子注量利用CN5铀玻璃标定(袁万明等,2004;宋高等,2013)。矿物的裂变径迹是用高精度光学显微镜,在高倍镜下测量,裂变径迹的正确识别至关重要。选择平行c轴的柱面测出自发径迹和诱发径迹密度,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389.4±19.2。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

$P(x^2)$ 值(检验概率)是判别单颗粒年龄变化程度的有效途径,如果样品 P 值>5%时,可采用中心年龄来代表样品经历高温退火之后的真实抬升冷却年龄;如果 P 值<5%或者 P 值=0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;袁万明等,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5个样品 P 值除09YSD-L3样品以外,其余4个样品的 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)。

从表1可以看出所有样品的中心年龄主要集中在129±10~159±11 Ma之间,远小于样品所在地质体年龄,说明都经历了完全退火作用。

图3是磷灰石裂变径迹长度与长度标准差关系的判别图(Gleadow et al., 1986),从图中可以看出,本次试验的5个样品全都落在混合带中,其中4个样品还落在了混合带与未受干扰带的交汇部分。

从裂变径迹长度数据来看,本次研究5个样品的径迹长度在12.5±2.0~13.3±1.7 μm之间,均小于初始裂变径迹平均长度16.5 μm。结合各样品径迹长度分布特征(图4),可以看出,样品09YCG-L2、09YSD-L1和09YSD-L3径迹长度分布不对称、负偏峰型,出现短径迹尾,说明其具有类似的热历史,即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,属于简单的埋藏后较为漫长持续抬升过程;样品09YSD-L2径迹长度分布为不标准的单峰态,7 μm左右还存在一个不明显的峰值,说明其早期经历了退火,但退火程度不高,还不足以形成双峰型,其径迹长度和单颗粒年龄分布情况可推测该样品存在二次埋藏的过程;样品09YSH-L1径迹长度分布为双峰式,其径迹长度和单颗粒年龄分布情况可推测其存在更为复杂的二次甚至多次埋藏过程(康铁笙等,1991;周成礼等,1994)。

表1 内蒙古银额盆地尚丹凹陷磷灰石裂变径迹样品测试结果

Table 1 The results of fission track analysis of apatite in Shangdan Depression in Yin'e Basin, Inner Mongolia

样号	层位	剖面位置及 GPS 坐标	n	$\rho_s(10^5/cm^2)(Ns)$	$\rho_i(10^5/cm^2)(Ni)$	$P(\%)$	中心年龄(Ma) (±1σ)	$L(\mu m)$ (N)
09YSD-L1	石炭— 二叠系 阿木山组	尚丹 N 40°46'30.0" E104°50'15.4"	28	10.353 (1722)	11.021 (1833)	46.6	149±9	13.2±2.1 (112)
09YSD-L2			28	7.056 (1082)	6.873 (1054)	97.4	159±11	13.3±1.7 (99)
09YSD-L3			28	9.874 (2210)	11.379 (2547)	0	129±10	12.7±1.7 (102)
09YSH-L1		山根 N 40°49'29.7" E104°44'50.9"	29	4.896 (476)	5.441 (529)	92.6	143±12	12.9±2.3 (91)
09YCG-L2		查古尔 N 40°43'14.1" E104°48'00.2"	28	6.341 (857)	6.659 (900)	45.1	151±11	12.5±2.0 (106)

注: n =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±标准差, L =平均径迹长度±标准差, N =封闭径迹条数。

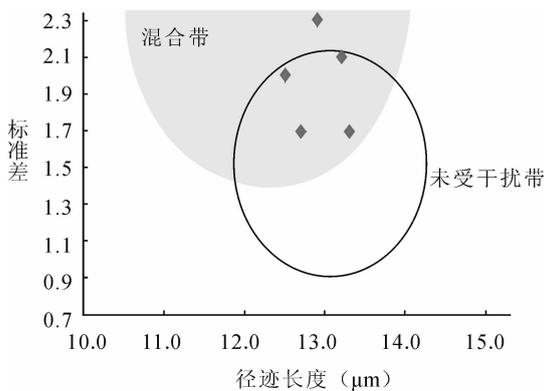


图 3 内蒙古银额盆地磷灰石裂变径迹长度与标准差关系判别图

Fig. 3 Discrimination diagram of the relationship between length and standard deviation of apatite fission track in Yin'e Basin, Inner Mongolia

说明这些样品可能经历了较为复杂的埋藏过程,但是最终保留了最后一次抬升冷却信息。

前人认为,银额盆地石炭—二叠系沉积厚度极大,后期剥蚀量也很大,区内可在露头观测到侏罗系、白垩系不整合在石炭—二叠系之上(卢进才等, 2011b)。本次样品测试年龄远小于地质体年龄,因此,笔者认为本次样品磷灰石裂变径迹经历了热重置,只记录了最近一次构造抬升。在早、中侏罗世研究区构造背景以张扭拉分和局部抬升为主,使得下侏罗统与中侏罗统、中侏罗统与上侏罗统呈假整合接触,晚侏罗世开始隆升,并经历了强烈的南北向挤压、抬升。结合样品裂变径迹分布的单峰型特征和记录的年龄,笔者认为这 5 个样品在晚侏罗世之前温度达到退火温度底限(120℃左右)及以上,之后逐渐抬出部分退火带底界,并开始记录年龄。将本次 5 个样品磷灰石裂变径迹的中心年龄进行统计,笔者认为本组样品记录了 129~159Ma 期间,阿木山组抬离了封闭温度,说明在这一时期或更早,研究区开始抬升,可对应晚侏罗世—早白垩世。

3 磷灰石裂变径迹热史模拟

磷灰石裂变径迹方法在获得沉积盆地沉降/抬升有关的表观年龄的同时,还可以通过模拟技术获得一段温度随时间变化的低温热历史(Brandon, 1996)。

由于 09YSD-L3 的 $P(x^2)$ 值为 0,其年龄为混合年龄,不具备模拟意义。本次研究运用 Hefty 软件,对其余四个样品进行热史模拟,拟合次数选取 100000,模拟温度从高于裂变径迹退火带底部温度

到现今地表温度 20℃,模拟时间从测试结果附近开始。模拟框纵向的选定,左下是根据磷灰石裂变径迹退火带的温度来限定,右上是根据退火带温度上限到现今地表温度来限定,模拟框横向均选择较宽,为了便于软件寻求最佳模拟方案(图 4)。

热史模拟过程中,“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“年龄 GOF”和“K-S 检验”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”(丁超等,2011;肖晖等,2011)。

模拟结果显示 4 个样品的“年龄 GOF”和“K-S 检验”全部大于 5%,部分超过 50%,模拟效果较好(图 4)。

由热史模拟可以看出,4 个样品的模拟结果较为一致,均在中—晚侏罗世之前达到最大埋深即最大古地温,之后在 180~160Ma 之间经历了短暂的快速抬升,进入磷灰石退火带温度范围(120℃左右)。此后,模拟结果大致分为两类,一类是 09YSH-L1,非常快速的大幅度抬升之后,持续冷却至今,在 60 Ma 前后冷却抬升出退火温度上限(60℃);第二类是其余三个样品,经历了之前幅度较大的抬升之后,较长时间内温度保持极为缓慢的降低,在 60~80Ma 经历再次幅度较大的抬升冷却,并退出退火温度上限即生油门限温度,并持续至今,期间并无强烈的构造抬升。

总之,本次样品的热史模拟整体提供了两个线索,一是均在 180~140 Ma 之间经历了较快的抬升冷却,进入磷灰石裂变径迹退火带;二是,此后较长时间内地层温度还保持在退火带温度范围内,直至 60~80 Ma 退出退火带温度上限即生油门限温度。

4 讨论

通过对尚丹凹陷阿木山组样品的磷灰石裂变径迹分析,结合对研究区构造演化背景研究,可发现本次研究所得出的较早一期构造运动时间与研究区构造演化阶段可以很好地对应。

侏罗系早期,银额盆地整体表现为区域性的张扭拉分应力状态,受阿尔金断裂的控制,尚丹凹陷作用较强,接受了较厚的侏罗系沉积,经历了中侏罗世末燕山 II 幕构造运动后,在晚侏罗世末期燕山 III 幕构造运动时期,由于蒙古—鄂霍次克海(洋)盆的闭合和碰撞造山,西伯利亚板块由北纬 70° 向南快速移动,构造应力为南北向挤压,研究区开始抬

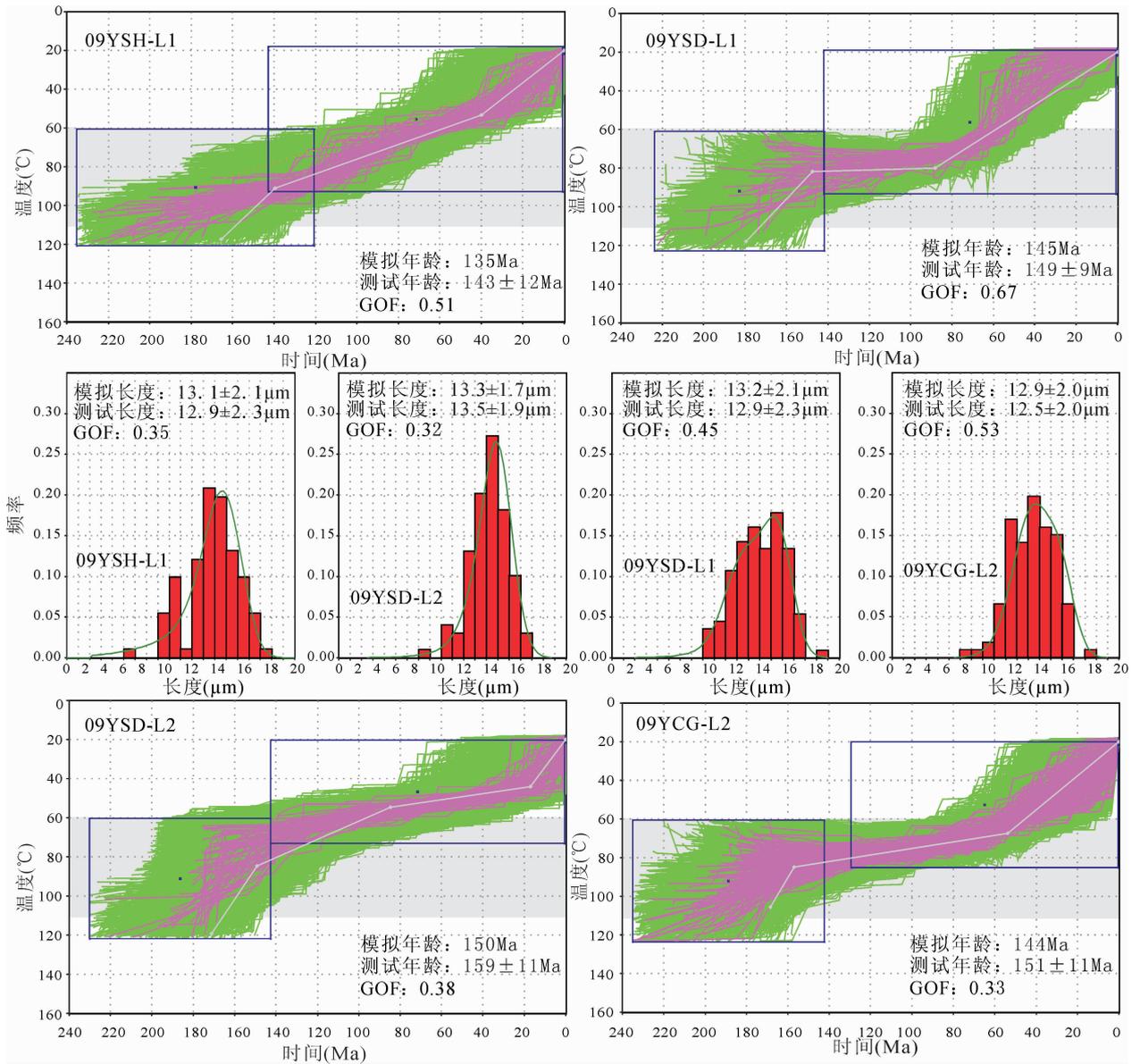


图 4 内蒙古银额盆地尚丹凹陷磷灰石裂变径迹热史模拟结果

Fig. 4 Geothermal history modeling results in Shangdan Depression in Yin'e Basin, Inner Mongolia

升,遭受剥蚀。这期构造运动是本区中新生代表现最为强烈的一次,野外观测时发现在红石山—雅干—珠斯楞—杭乌拉一带发育大范围的推覆构造(飞来峰),主要表现为中元古界地层推覆在 T_3 、 S_1 之上(图 4) (和政军等,1998;郑亚东等,1990;董树文等,2007)。此外,还造成侏罗系与白垩系之间广泛的不整合接触(图 5),并在前人与新做地震剖面中得到印证,与靳久强等研究结果一致(卢进才等,2011b;卫平生等,2006;王廷印等,1988、1993;韩伟等,2014;靳久强等,2000)。

本次样品主要记录的 129~159 Ma 这一时间段与燕山 III 幕构造运动相符,说明研究区受本期构造运动影响显著。李明杰等(2004)对北山—阿拉善

地区侏罗—白垩纪盆地的叠合演化开展研究,认为研究区侏罗系与白垩系之间为不整合接触,白垩系研究区并未经历强烈构造改造,属于白垩纪盆地对侏罗纪盆地叠合保存的披盖式叠合盆地,与本次研究十分吻合。

从热史模拟结果来看,09YCG-L1 在这次快速抬升过程的抬升速率约为 40 m/Ma(取地温梯度 $30^\circ\text{C}/\text{km}$),09YSD-L1、L2 的抬升速率分别约为 43、47 m/Ma,09YSH-L1 抬升速率约为 55 m/Ma,从样品的分布来看,北部山根剖面和尚丹剖面的抬升速率要高于南部查古尔剖面,说明这一期构造运动在研究区北部比南部所受影响更强烈,研究区含油气系统遭受一定程度破坏。

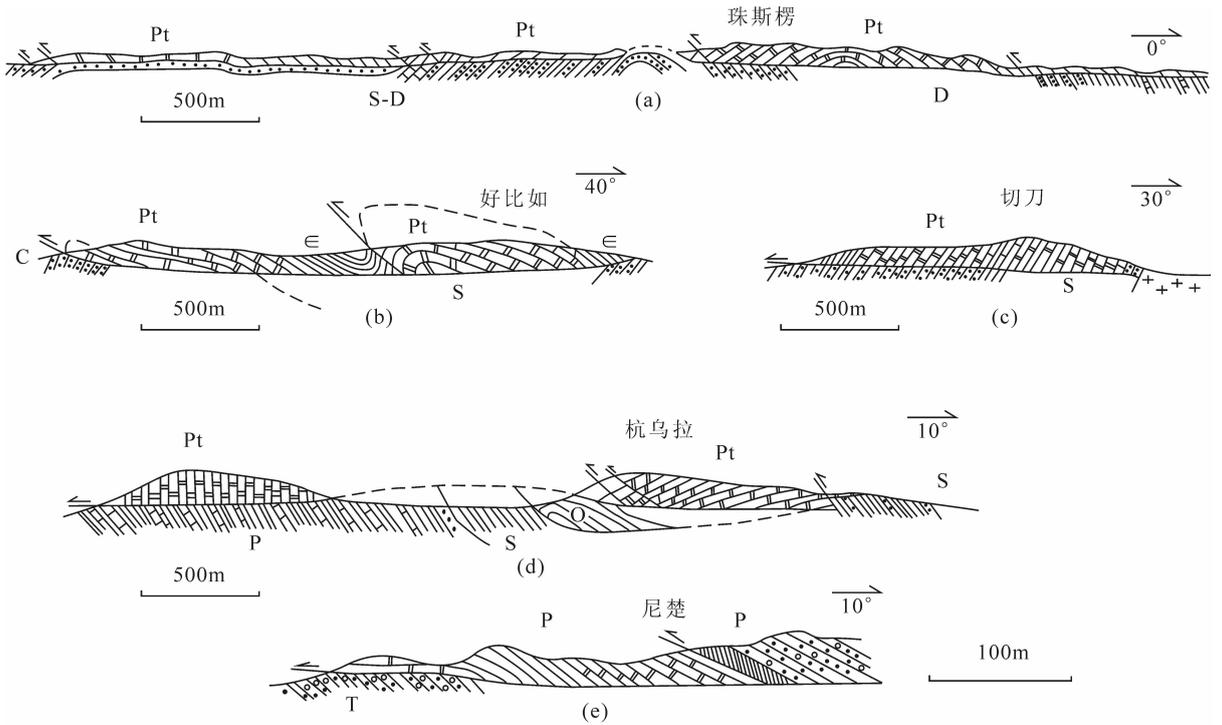


图5 内蒙古银额盆地元古界覆盖在不同时期的地层之上 (S-T) (郑亚东等, 1990)
 Fig.5 Middle Proterozoic strata overlying strata of different epochs in Yin'e Basin, Inner Mongolia (S-T) (Zheng Yadong et al., 1990)

(a) 珠斯楞剖面; (b) 好比如剖面; (c) 切刀剖面; (d) 杭乌拉剖面; (e) 尼楚剖面; Pt—中元古界白云岩; ε—寒武系硅质页岩; S—志留系砂岩及板状粉砂岩; S-D—志留(?)泥盆系砂岩、板状粉砂岩及灰岩; C—上石炭统长石砂岩及安山质凝灰熔岩 P—二叠系板状粉砂岩和生物碎屑灰岩 T—上三叠统砖红色砂岩及砾岩 (a)Zhu si leng section; (b)Hao bi ru section; (c)Qie dao section; (d)Hang wu la section; (e)Ni chu section; Pt—Middle Proterozoic dolomite; ε—Cambrian siliceous shales; S—Silurian sandstone and siltstone; S-D—Silurian (?) Devonian sandstone, siltstone and limestone; C—Upper Carboniferous feldspathic sandstones and andesitic tuff lava; P—Permian siltstone and bioclastic limestone; T—Upper Triassic red sandstone and conglomerate.

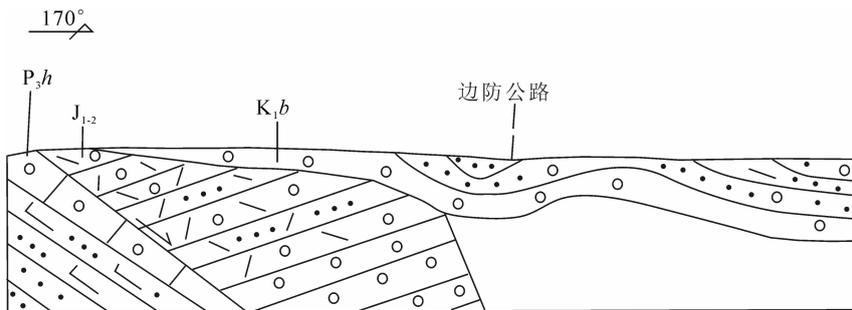


图 6 内蒙古银额盆地侏罗系与上、下地层之间接触关系

Fig. 6 Schematic diagram of contact relationship of Jurassic, underlying and overlying strata in Yin'e Basin, Inner Mongolia

早白垩世, 研究区构造背景趋于稳定, 重新接受沉积, 陆内断陷盆地发育达到鼎盛, 这是研究区油气生成的重要时期, 孕育了一系列生油盆地和凹陷。本次热史模拟显示, 在经历了燕山 III 幕构造抬升之后, 研究区阿木山组长时间停留在生烃门限温度内, 直至白垩纪末 (60 Ma 左右)。这段时间内, 研究区构造背景稳定, 有利于油气生成。

晚白垩世末, 银额盆地经历了一次由北向南的

强烈推覆作用, 加大了盆地北部的构造变形, 但是由于构造应力由北向南逐渐减弱, 位于盆地东南缘的尚丹凹陷受影响不大。本次研究仅有样品 09YSD-L3 的高斯拟合年龄记录了这一期 (65 Ma ±) 构造事件。考虑到上白垩统在银额盆地广泛、稳定的分布, 笔者认为本次研究所显示的该期年龄不具备构造事件的代表意义, 可能是由于磷灰石成分耐退火程度不同所致。

此外,笔者曾对盆地北部凹陷带的杭乌拉、哈尔滨海剖面进行过磷灰石裂变径迹研究(韩伟等,2014),与位于银额盆地东南缘的尚丹凹陷不同,其主要记录了90~113Ma的构造运动。与本次研究对比,可以发现由于所处构造位置不同,磷灰石裂变径迹所记录的构造抬升时间也不同。说明研究区在中生代存在差异隆升,不同构造位置受不同期次构造运动的影响也存在差异。

5 结论

与尚丹凹陷具有相同构造背景的查干凹陷目前已经获得工业油流,尚丹凹陷也被前人视为有利远景区,本文利用磷灰石裂变径迹热年代学研究其构造演化过程,取得了一些初步的认识。

(1)对银额盆地尚丹凹陷3条剖面上5个样品的磷灰石裂变径迹开展研究,其年龄在129~159Ma(晚侏罗世—早白垩世初)之间,且为冷却年龄,主要记录了研究区受燕山III幕构造运动影响。银额盆地受西伯利亚板块由北纬70°向南快速移动影响,在野外形成大范围的推覆构造,还造成侏罗系与白垩系之间广泛的不整合接触,尚丹凹陷也遭受抬升、剥蚀的构造事件,该时期不利于研究区油气形成。

(2)样品的热演化模拟显示,在晚侏罗世—早白垩世初,研究区的抬升速率在40~55 m/Ma,并且由北往南抬升速率降低,证明该时期研究区经历的构造改造最为强烈,且北部相对南部所受影响更为剧烈。本次抬升后,直至白垩纪末(60Ma左右)研究区阿木山组始终处于生烃门限之内,且构造背景稳定,是油气形成的关键期。

(3)结合与北部凹陷带所开展工作(磷灰石裂变径迹记录年龄为90~113 Ma),可发现研究区在中生代存在差异隆升,不同构造位置受不同期次构造运动的影响也存在差异。

致谢:文章写作过程中得到浙江大学肖安成教授及另一位老师悉心指导,两位审稿老师也给出了提高本文质量的宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

注释

① 党彝,赵虹. 2012. 额济纳旗及其邻区石炭—二叠纪盆地演化与构造改造研究 2012年工作进展.

参考文献

董树文,张岳桥,龙长兴,杨振宇,季强,王涛,胡建民,陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. 地质学报,81(11):

1449~1461.

- 丁超,陈刚,李振华,毛小妮,杨甫. 2011. 鄂尔多斯盆地东北部构造热演化史的磷灰石裂变径迹分析. 现代地质,25(3):581~588.
- 和政军,李锦铁,牛宝贵,任纪舜. 1998. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应. 地质论评,44(4):407~418.
- 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.
- 靳久强,孟庆任,张研,许大丰. 2000. 额济纳旗地区侏罗—白垩纪盆地演化与油气特征. 石油学报,21(4):13~19.
- 康铁笙,王世成. 1991. 用磷灰石封闭裂变径迹长度研究热历史. 核技术,14(7):419~422.
- 李明杰,郑孟林,曹春潮,张军勇. 北山—阿拉善地区侏罗—白垩纪盆地的叠合演化. 2004. 石油与天然气地质,25(1):54~57.
- 卢进才,陈高潮,魏仙祥,李玉宏,魏建设. 2011a. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭—二叠系沉积建造与生烃条件研究——油气地质条件研究之一. 地质通报,30(6):811~826.
- 卢进才,陈高潮,魏仙祥,李玉宏,魏建设. 2011b. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭—二叠系沉积后的构造演化、盖层条件与油气信息——油气地质条件研究之三. 地质通报,30(6):838~849.
- 卢进才,陈高潮,李玉宏,魏仙祥,魏建设,姜亨,史冀忠,党彝,赵省民,刘建利,杨高印,陈践发,卜建军,韩伟,李渭. 2012. 银额盆地及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件与资源前景. 北京:地质出版社,337~339.
- 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.
- 宋高,袁万明,赵文菊,刘海涛. 2013. 磷灰石裂变径迹研究新疆阿尔泰山南缘露露历史及古地形再造. 地质学报,87(7):967~978.
- 王廷印,高军平,王金荣,吴家弘. 1988. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用. 地质学报,72(2):126~136.
- 王廷印,吴茂炳. 1993. 阿拉善地区华北板块北部陆缘区成矿作用的研究. 兰州大学学报(自然科学报),29(4):252~256.
- 吴少波,白玉宝. 2003. 银根盆地地下白垩统石油地质特征及含油气远景评价. 石油勘探与开发,30(6):17~19.
- 卫平生,张虎权,陈启林. 2006. 银根—额济纳旗盆地油气地质特征及勘探前景. 北京:石油工业出版社.
- 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地构造—热演化史. 地学前缘,18(3):33~41.
- 袁万明,董金泉,保增宽. 2004. 新疆阿尔泰山带构造活动的磷灰石裂变径迹证据. 地学前缘,11(7):461~468.
- 袁万明,杜杨松,杨立强,李胜荣,董金泉. 2007. 西藏冈底斯带南木林地区构造活动的磷灰石裂变径迹分析. 岩石学报,23(11):2911~2917.
- 郑亚东,王廷印,王玉芳. 1990. 中蒙边界区新发现的特大型推覆构造及伸展变质核杂岩. 中国科学(B辑),12:1299~1305.
- 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.
- 左国朝,刘义科,刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化. 甘肃地质学报,12(1):1~15.
- 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.
- Green P F. 1986. On the thermo-tectonic evolution of northern England: Evidence from fission track analysis. *Geology*, 5:493~506.
- 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, 94:405~415.
- 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.

Apatite Fission Track Constraints on the Mesozoic Tectonic Activities in Shangdan Depression, Yin'e Basin, Inner Mongolia

HAN Wei^{1,2)}, LU Jincal¹⁾, WEI Jianshe¹⁾, ZHANG Yunpeng¹⁾, LI Yuhong¹⁾, LI Yan¹⁾

1) *Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an, 710054;*

2) *State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069*

Abstract

Using to the apatite fission track of the three sections in the Shangdan depression, the southeastern margin of the Yin'e basin, the Mesozoic tectonic evolution history in the study area has been studied. The fission track ages of 5 samples range from 129 ± 10 Ma to 159 ± 11 Ma, and the track length range from $12.5 \pm 2.0 \mu\text{m}$ to $13.3 \pm 1.7 \mu\text{m}$. The track length in these samples is characterized by a wide range, and a unimodal pattern. The results show that the study area has undergone uplift-erosion events in the Late Jurassic-Early Cretaceous, which have been affected greatly by curtain III of the Yanshan movement. Specifically, the depression has experienced a uplifting process at a uplift rate of $40 \sim 55\text{m/Ma}$ with decreasing from north to south. It was the major uplifting period of the study area, and the petroleum system was eventually damaged. Since then, to late Cretaceous the Amushan Formation in the study area came into hydrocarbon threshold, which made great contributions to hydrocarbon generation. Combined with the work undertaken in the northern depression belt (Apatite fission track age is 90-113Ma), it is recognized that there are some different uplifts in the Yin'e basin during the Mesozoic era, and different tectonic sites have been affected significantly by different tectonic movements in varied periods. The results provide a solid basis for tectonic evolution of the Yin'e basin.

Key words: Yin'e Basin, Inner Mongolia; Mesozoic; apatite fission track; tectonic evolution, hydrocarbon generation