

文章编号: 0253-9985(2009)03-0255-05

江汉盆地周缘中、新生代构造隆升裂变径迹记录

王韶华^{1,2}, 罗开平³, 刘光祥³

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

(2. 中国石油化工股份有限公司 江汉油田分公司 勘探开发研究院, 湖北 潜江 433124)

(3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 裂变径迹的热史模拟能再现样品的温度历史, 反映盆地因构造、沉积因素所致的沉降-隆升作用过程。江汉盆地周缘宜昌和通山两地侵入岩样品的磷灰石裂变径迹热史模拟分析结果表明, 中生代以来样品经历了冷却速率不同的 4 个冷却降温阶段, 表明江汉盆地周缘印支期后持续的构造隆升。两个快速冷却降温段分别对应于燕山期和晚喜马拉雅期江汉盆地周缘的两次快速隆升。这种过程与印支期以来江汉盆地的构造环境、构造-沉积作用及构造变形相耦合。

关键词: 裂变径迹; 热史模拟; 构造隆升; 中、新生代; 江汉盆地周缘

中图分类号: TE121.2 文献标识码: A

Fission track records of tectonic uplift during the Cenozoic and Mesozoic in the periphery of the Jianghan Basin

Wang Shaohua^{1,2}, Luo Kaiping³, Liu Guangxiang³

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Exploration & Development Research Institute,

SINOPEC Jianghan Oilfield Company, Qianjiang, Hubei 433124, China; 3. Wuxi Branch of SINOPEC Petroleum

Exploration and Production Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract Thermal history modeling of fission track can be used to reconstruct time-temperature histories of a sample and reflect subsidence-uplifting process resulted from tectonic activity and sedimentation in a basin. On the basis of apatite fission track thermal history modeling results of intrusive rock samples from Yichang and Tongshan in the periphery of Jianghan Basin, we think that the samples have come through four stages of cooling with different cooling rates since Mesozoic, indicating the constant uplifting since the Indosinian period in the periphery of Jianghan Basin. Two rapid cooling stages respectively correspond to two quick uplifting in the Yanshan and Late-Himalayan Periods in the periphery of Jianghan Basin. This kind of process is coupled with the tectonic setting, tectonism-sedimentation and tectonic deformation since the Indosinian period in Jianghan Basin.

Key words fission track; thermal history modeling; uplifting; Cenozoic and Mesozoic; periphery of the Jianghan Basin

1 地质背景

沉降-隆升是地壳构造运动最常见和直观的表现形式。它是构造环境及其变化的物质记录和体现。

中扬子地块上的江汉盆地在中三叠世末印支运动结束了海相盆地历史之后, 在秦岭-大别造山和江南雪峰“基底拆离”所共同营造的新的山-盆体制下, 经历了晚期中、新生代盆地和多期构造运动的叠加-复合改造。现今盆地范围内, 纵向上表现为中、古生界(海相)和中、新生界(陆相)两大

收稿日期: 2008-11-26。

第一作者简介: 王韶华(1967-), 男, 高级工程师, 石油地质学与油气成藏分析。

盆地系统;横向上,受制于从盆缘向盆内的递进形变,海相层系的变形程度和保存状况存在显著的差别。正确的分析这种过程和结果,是认识烃源岩埋藏-生烃-成藏-改造-调整等油气成烃-成藏过程的基础,也是评价有效油气保存单元和确定勘探目标的前提^[1~7]。

裂变径迹的热史模拟能再现样品的温度历史,反映盆地因构造、沉积因素所致的沉降或隆升作用过程,在盆地构造分析、热史研究及其他很多领域中得到了越来越广泛的应用^[8~12]。基于这点,文章对采自于江汉盆地周缘两地的花岗岩样品进行了裂变径迹分析和热史反演,通过热史与构造-沉积史的耦合,探讨了江汉盆地周缘印支运动以来的构造隆升作用过程。

2 采样与样品分析

文章中样品分别采自于宜昌三斗坪长江北岸(样品 Zq07-1, Zq07-2, Zq07-3)和咸宁通山九宫山(样品 Zq07-4, Zq07-5),均是晋宁-澄江期的侵入岩,围岩都为震旦系。野外采样采用便携式 GPS 逐样定位,单个样品的重量大于 2.5 kg。

裂变径迹测年实验在中国科学院高能物理所实验室完成。样品经碎样、过筛(一般为 60~80 目),将采用不同比重液和 Frantz 磁选仪选出的磷灰石或锆石颗粒以环氧树脂固化后,用低铀含量白云母作外探测样品进行裂变径迹分析。实验条件为:自发裂变径迹蚀刻条件为 7% HNO₃, 室温 25℃, 30 s;白云母诱发裂变蚀刻条件为 40% HF, 室温 25℃, 20 s。中子注量利用 CN5(锆石中子注量用 CN2)铀玻璃标定^[13]。选择平行 *c* 轴的柱面测出自发径迹和诱发径迹密度,水平封闭径迹长度^[14]按照 Green^[15] 建议的程序测定。根据 IUGS 推荐的 ξ 常数法和标准裂变径迹年龄方程^[16] 计算年龄值。磷灰石裂变径迹的部分退火带(Partial Annealing Zone)温度为 60~110℃, 锆石裂变径迹的退火带温度最高为 250℃。

样品的磷灰石和锆石裂变径迹分析数据分别列于表 1 和表 2 中。

3 裂变径迹热史模拟

研究中所使用的 AFTSolve(1.3.0 版)是常用

的热史模拟软件之一,它既可以进行正演模拟也可以进行反演模拟。选用其中的 Laslett 退火模型,输入 FT 颗粒年龄和径迹长度,设定 $T-t$ 曲线模拟数目(15 000 条)和模拟搜寻法则(Monte Carlo 法)及地表温度(18℃)等参数后,程序通过阶梯式近似法生成若干条 $T-t$ 热史模拟曲线(包迹),并将模拟结果划分为“可以接受的”(图 1a 中的绿色区域)、“好的”(图 1a 中的红色区域)与“最佳的”(图 1a 中的黑色曲线)3 类,最后给出 AFT 颗粒年龄与径迹长度的模拟值以及 $K-S$ 与 GOF 检验值, $K-S$ 检验值表示径迹长度模拟值与观测值的吻合程度, GOF 检验值表示径迹年龄模拟值与观测值的吻合程度,当 $K-S$ 与 GOF 检验值都大于 0.05 表示模拟热史“可以接受”,当检验值超过 0.50 时,表示模拟结果是“高质量的”。

模拟中磷灰石裂变径迹的最早年龄及对应的温度用对应锆石的裂变径迹年龄和温度(一般为 250℃)来进行控制。热史模拟所得到的 $T-t$ 曲线反映了样品地质时期中的温度变化,如果不考虑异常热源的影响,样品的温度仅仅取决于地温背景和埋藏深度,在获取地温梯度的情况下,热史模拟 $T-t$ 曲线可以提供样品所经历的沉积埋藏和隆升剥蚀(量)的信息。

对于宜昌三斗坪样品 Zq07-01, Zq07-02 和通山九宫山 Zq07-04 的磷灰石裂变径迹热史模拟的结果是高质量的,其 $K-S$ 检验值分别为 0.77, 0.60, 0.74; GOF 检验值分别为 0.73, 0.84, 0.93。

样品 Zq07-01 的 AFT 模拟热史可以分为 4 段(图 1a): 240~116 Ma(A-B)样品温度从 221℃降为 168℃,冷却速率为 0.427 4℃/Ma; 116~72 Ma(B-C)样品温度从 168℃降为 83℃,冷却速率为 1.931 8℃/Ma; 72~11 Ma(C-D)样品温度从 83℃降为 72℃,冷却速率为 0.180 3℃/Ma; 11 Ma 至今(D-E)样品温度从 72℃降为 18℃,冷却速率为 4.909 0℃/Ma。

样品 Zq07-02 的 AFT 模拟热史同样可以分为 4 段(图 2a): 185~100 Ma(A-B)样品温度从 232℃降为 173℃,冷却速率为 0.694℃/Ma; 100~77 Ma(B-C)样品温度从 173℃降为 84℃,冷却速率为 3.87℃/Ma; 77~9 Ma(C-D)样品温度从 84℃降为 72℃,冷却速率为 0.176℃/Ma; 9 Ma 至今(D-E)样品温度从 72℃降为 18℃,冷却速率为 6℃/Ma。

表 1 江汉盆地周缘侵入岩磷灰石裂变径迹分析数据
Table 1 Apatite fission track analytical results of the intrusive rock samples from the periphery of the Jiangnan Basin

样品	颗粒数/ 个	自发径迹			诱发径迹			玻璃监测器			封闭径迹长度	
		$\rho_s/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_s/\text{条}$	$\rho_i/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_i/\text{条}$	$P\chi^2, \%$	N_s/N_i	ρ_s/ρ_i	$\rho_d/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_d/\text{条}$	平均年龄/Ma	径迹/条 平均长度/ μm
Zq07-01	28	3.949	1 402	9.897	3 514	45.2	0.398 9	0.399 0	8.465	10 322	64.5 $\pm$ 2.1	105 11.8 $\pm$ 1.7
Zq07-02	28	4.840	1 728	11.083	3 957	59.9	0.436 6	0.436 7	8.241	10 322	68.4 $\pm$ 2.1	105 11.8 $\pm$ 1.6
Zq07-03	28	2.560	1 043	7.487	3 050	85.2	0.341 9	0.341 9	7.794	10 322	47.3 $\pm$ 2.0	114 11.0 $\pm$ 2.0
Zq07-04	28	6.819	1 058	25.324	3 708	21.8	0.285 3	0.269 2	8.130	10 322	42.4 $\pm$ 2.3	112 12.3 $\pm$ 2.2
Zq07-05	28	7.613	1 519	26.767	5 539	24.7	0.274 2	0.284 4	8.241	10 322	42.5 $\pm$ 1.8	114 12.4 $\pm$ 2.1

注:待测年龄 $T = (1/\lambda_\alpha) \ln(1 + \lambda_\alpha \rho_{\text{ratio}} \rho_d G \xi)$; $\lambda_\alpha = 1.551 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 为 ^{238}U 总衰变常数; $\rho_{\text{ratio}} = \Sigma N_s / \Sigma N_i$ (池年龄), 或 $\rho_{\text{ratio}} = (1/n) (\Sigma \rho_s / \rho_i)$ (平均年龄); ρ_d 为标准径迹密度; $G = 0.5$, 为几何因子; $\xi = 227.2 \pm 3.3$, 为 Zeta 常数; N_s 为自发径迹数目, 条; N_i 为诱发径迹数目, 条; N_d 为标准玻璃径迹数目, 条; $P\chi^2$ 为 χ^2 的检验几率; ρ_s 为自发径迹密度; ρ_i 为自发径迹密度。

表 2 江汉盆地周缘侵入岩锆石裂变径迹分析数据
Table 2 Zircon fission track analytical results of the intrusive rock samples from the periphery of the Jiangnan Basin

样品	颗粒数/个	自发径迹			诱发径迹			玻璃监测器			平均年龄/Ma	
		$\rho_s/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_s/\text{条}$	$\rho_i/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_i/\text{条}$	$P\chi^2, \%$	N_s/N_i	ρ_s/ρ_i	$\rho_d/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$	$N_d/\text{条}$	平均年龄/Ma	池年龄/Ma
Zq07-01	25	147.367	3 665	12.425	309	100.0	11.860 8	11.860 5	3.123	5 933	241 $\pm$ 18	241 $\pm$ 18
Zq07-02	11	136.755	1 062	15.195	118	99.4	9	9.001 3	3.123	5 933	184 $\pm$ 20	184 $\pm$ 20
Zq07-04	12	126.597	2 128	23.082	388	29.8	5.484 5	5.484 6	3.123	5 933	111.4 $\pm$ 8.2	112.7 $\pm$ 7.9
Zq07-05	22	172.855	6 134	32.125	1 140	46.9	5.380 7	5.380 7	3.197	5 933	113 $\pm$ 6	113 $\pm$ 6

注:待测年龄 $T = (1/\lambda_\alpha) \ln(1 + \lambda_\alpha \rho_{\text{ratio}} \rho_d G \xi)$; $\lambda_\alpha = 1.551 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 为 ^{238}U 总衰变常数; $\rho_{\text{ratio}} = \Sigma N_s / \Sigma N_i$ (池年龄), 或 $\rho_{\text{ratio}} = (1/n) (\Sigma \rho_s / \rho_i)$ (平均年龄); ρ_d 为标准径迹密度; $G = 0.5$, 为几何因子; $\xi = 227.2 \pm 3.3$, 为 Zeta 常数; N_s 为自发径迹数目, 条; N_i 为诱发径迹数目, 条; N_d 为标准玻璃径迹数目, 条; $P\chi^2$ 为 χ^2 的检验几率; ρ_s 为自发径迹密度; ρ_i 为自发径迹密度。

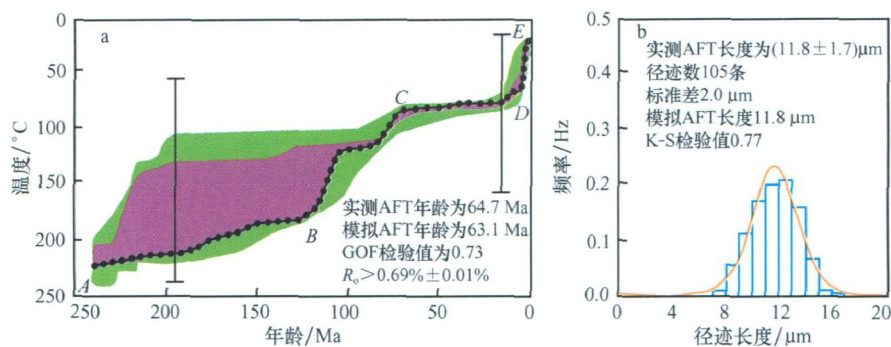


图 1 样品 Zq07-1 AFT 热史模拟曲线

Fig. 1 Curves of thermal history simulation of apatite from Sample Zq07-1

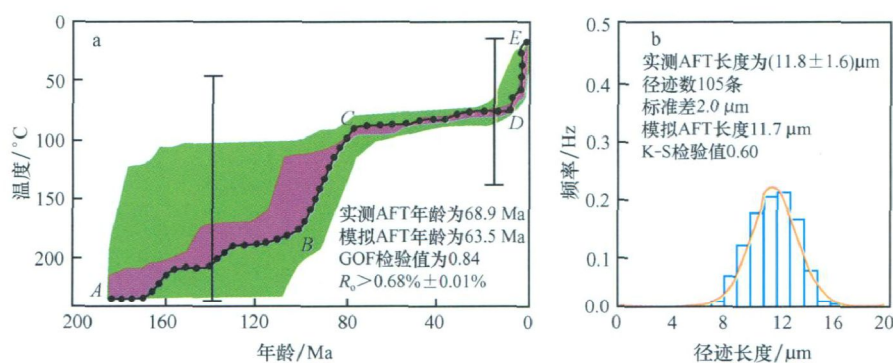


图 2 样品 Zq07-2 AFT 热史模拟曲线

Fig. 2 Curves of thermal history simulation of apatite from Sample Zq07-2

两个来自于同一个地点的样品的模拟热史具有很高的相似性,反映模拟结果具有很好的重现性和可信度。

样品 Zq07-04 的 AFT 模拟热史则包括了两个快速冷却 ($B-C$, $D-E$) 和一个缓慢冷却阶段 ($C-D$), 其中 120~55 Ma ($B-C$) 和 9 Ma 至今 ($D-E$) 两个阶段的冷却速率分别为 1.92°C Ma 和 5.50°C Ma (图 3a)。

4 构造隆升与裂变径迹热史响应

根据前人对中扬子及江汉盆地中生代以来构造运动的认识^[17~19], 印支期构造运动主要受北部秦岭海槽闭合造山的影响, 中扬子地块腹部主要表现为地层的轻微褶皱和隆升, 变形程度相对较弱; T_3 -J 前陆-裂陷盆地期后的燕山期是江汉盆

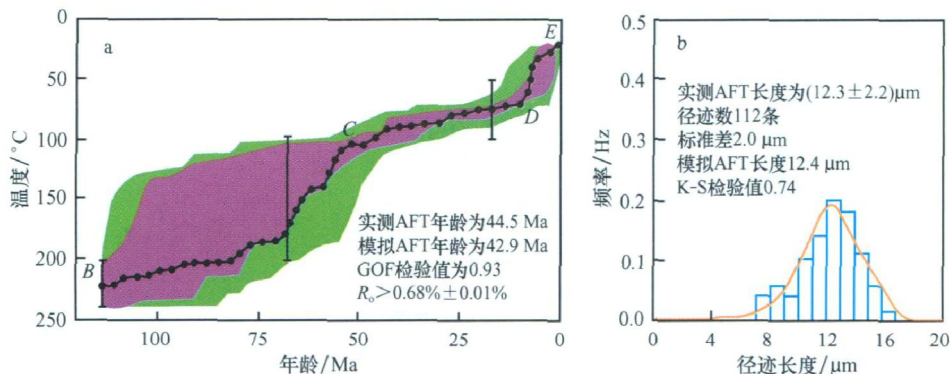


图 3 样品 Zq07-4 AFT 热史模拟曲线

Fig. 3 Curves of thermal history simulation of apatite from Sample Zq07-4

地海相层系主要的变形改造和构造形成时期,江南隆起基底拆离所导致的强烈褶皱、冲断由盆地边缘向盆地腹部扩展,造成盆地边缘快速隆升和剥蚀;晚燕山-喜马拉雅早期,受中国大陆向东蠕散所形成的伸展环境的影响,江汉盆地前期的挤压、走滑断裂发生张性反转,导致了 E_1 盐湖断陷盆地的发育;喜马拉雅晚期(E末),随着断陷盆地的回返,江汉盆地再次整体褶皱隆升。因此,裂变径迹热史模拟曲线(图1a 2a 3a)上的A-B和C-D两个缓慢的降温段对应于印支期后 T_3-J 前陆盆地发育阶段和晚燕山-喜马拉雅早期的伸展环境断陷盆地发育阶段,而B-C和D-E两个快速冷却段则对应于燕山期的强烈挤压变形和晚喜山盆地的回返。

如果能建立地温梯度-时间模型,可以把热史模拟曲线转换为样品点的隆升-沉降轨迹曲线,从而实现对样品点构造运动过程的连续刻画。取印支期以来每百米 2.8°C 的地温梯度^[20 21]近似计算,宜昌三斗坪地区印支期的隆升幅度达1 900 m,燕山期的隆升幅度达3 000 m,晚喜马拉雅期以来的隆升幅度达1 900 m;通山九宫山地区燕山期的隆升幅度达4 200 m,晚喜马拉雅期以来的隆升幅度达1 800 m。

5 结论

裂变径迹热史模拟能定时定量、连续的反映样品点的温度变化和沉降-隆升的作用过程。模拟结果表明了江汉盆地周缘缘印支期以来持续的构造隆升-剥蚀过程,冷却速率的快慢变化与每个时期的构造环境、构造-沉积作用、构造变形特点相对应。燕山期和晚喜马拉雅期是江汉盆地周缘的两次快速隆升期。

参 考 文 献

- 1 马永生,楼章华,郭彤楼,等.中国南方海相地层油气保存条件综合评价体系探讨[J].地质学报,2006 80(3): 406~417
- 2 郭彤楼,楼章华,马永生.南方海相油气保存条件评价和勘探决策中应注意的几个问题[J].石油实验地质,2003 25(1): 3~9
- 3 郭旭升,梅廉夫,汤济广,等.扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J].石油与天然气地质,2006 27(3): 295~305
- 4 郭彤楼,田海芹.南方中生界油气勘探的若干地质问题及对策[J].石油与天然气地质,2002 23(3): 244~247
- 5 肖开华,沃玉进,周雁,等.中国南方海相层系油气成藏特点与勘探方向[J].石油与天然气地质,2006 27(3): 316~325
- 6 沃玉进,肖开华,周雁,等.中国南方海相层系油气成藏组合类型与勘探前景[J].石油与天然气地质,2006 27(1): 11~16
- 7 戴少武,贺自爱,王津义.中国南方中、古生界油气勘探的思路[J].石油与天然气地质,2001 22(3): 195~202
- 8 陈波,韩定坤,罗明霞,等.江汉盆地西南缘二次生烃及其对油气成藏的影响[J].石油与天然气地质,2006 27(4): 557~562
- 9 许长海,周祖翼,Haute P V D,等.合肥盆地构造演化的磷灰石裂变径迹分析[J].石油学报,2006 27(6): 5~13
- 10 刘德明,李德威,杨巍然,等.喜马拉雅造山带晚新生代构造隆升的裂变径迹证据[J].地球科学——中国地质大学学报,2005 30(2): 147~152
- 11 施小斌,邱学林,刘海龄,等.滇西临沧花岗岩基新生代剥蚀冷却的裂变径迹证据[J].地球物理学报,2006 49(1): 135~142
- 12 杜治利,王清晨,周血慧.中新生代库车-南天山盆地隆升历史的裂变径迹证据[J].岩石矿物学杂志,2007 26(5): 399~408
- 13 Bellemans F, De Corte F, Van Den Haute P. Composition of SRM and CN U-doped glasses: significance for their use as thermal neutron fluence monitors in fission track dating[J]. Radiation Measurements, 1994 24(2): 153~160
- 14 Gleadow A J W, Duddy I R, Lovering J F, et al. Confined fission track lengths in apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis[J]. Contributions Mineralogy Petrology, 1986 94 405~415
- 15 Green P F. On the thermo-tectonic evolution of northern England: evidence from fission track analysis[J]. Geology, 1986 5 493~506
- 16 Hurford A J, Green P F. A user's guide to fission-track dating calibration[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1982 59 343~354
- 17 戴少武.江汉盆地印支期以来区域构造特征探讨[J].地质力学学报,1996 2(4): 80~84
- 18 王必金,林畅松,陈莹,等.江汉盆地幕式构造运动及其演化特征[J].石油地球物理勘探,2006 41(2): 226~230
- 19 徐政语.中扬子地区显生宙构造演化及其对油气系统的影响[J].大地构造与成矿学,2001 25(1): 1~8
- 20 袁玉松,朱传庆,胡圣标.江汉盆地热流史、沉积构造演化与热事件[J].地球物理学进展,2007 22(3): 934~939
- 21 袁玉松,马永生,胡圣标,等.中国南方现今地热特征[J].地球物理学报,2006 49(4): 1 118~1 126

(编辑 高 岩)