

The Evolution Characteristics of Sanweishan Area and Their Influence on the Hydrocarbon Accumulation in Wudun Depression

Liwei Cao¹, Min Zhang¹, Zhongkai Lin¹, Guohong Liu¹, Wei Li²

¹Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

²Department of Geology, Northwest University, Xi'an Shaanxi

Email: 285452979@qq.com

Received: Mar. 24th, 2018; accepted: Apr. 24th, 2018; published: Aug. 15th, 2018

Abstract

The Sanweishan Area in the east-north strike was located in the middle of the Dunhuang Basin, by which the basin was divided into two parts from the south to north, and its formation and development had a direct impact on the structural characteristics and sedimentary filling of the sag on both sides of the basin. Therefore, the research on the evolution characteristics of Sanwei Area was of great significance for oil and gas exploration on both sides of it, especially for the exploration in Wudun Depression. Through the apatite fission-track dating and thermal history simulation analysis of thirteen samples collected from different positions and different strata in Sanweishan Area, the result showed that the Sanweishan Uplift was started since Silurian, and experienced six stages, including the rapid cooling uplift from the Silurian to the Early Devonian, the slow cooling evolution from the Late Devonian to the Permian, the rapid cooling uplift in the Triassic, the slow cooling in the Jurassic, the slow-rapid cooling uplift in the Early Cretaceous, the slow cooling in the Late Cretaceous-Cenozoic. The development characteristics of each stage and the sedimentary filling of the peripheral depressions were supplemented each other. The two rapid uplifts before the early Jurassic had an important influence on the Jurassic paleogeomorphology and provenance system. The slow cooling up to Jurassic indicated that the regional tectonic activity tended to moderate, which brought the development of Jurassic faulted basin. The rapid cooling uplift after the Late Cretaceous indicated that the area was in a compressional uplift background, so that the strata of the Upper Jurassic, Cretaceous and Paleogene were eroded, hydrocarbon generating and expelling stopped in the source rocks. This has an important influence on the generation of oil and gas and the formation and preservation of the reservoirs in Wudun Depression.

Keywords

Fission-track Dating, Thermal Evolution, Tectonic Activity, Sanweishan Area, Sedimentary Filling, Hydrocarbon Reservoir

三危山演化特征及其对五墩凹陷的油气影响

曹力伟¹, 张 敏¹, 林中凯¹, 刘国宏¹, 李 玮²

¹中石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东 东营

²西北大学地质学系, 陕西 西安

作者简介: 曹力伟(1982-), 男, 工程师, 现主要从事地质综合研究工作。

Email: 285452979@qq.com

收稿日期: 2018年3月24日; 录用日期: 2018年4月24日; 发布日期: 2018年8月15日

摘 要

北偏东走向的三危山横亘于敦煌盆地中部, 将盆地分成了南、北2个部分, 其生成与发育对两侧诸凹陷的构造特征及沉积充填有着直接的影响。因此, 开展三危山演化特征的研究对其两侧, 尤其是五墩凹陷油气勘探具有重要的指导意义。通过对采自三危山不同位置和不同地层的13个样品进行磷灰石裂变径迹测年及热史模拟分析, 三危山自志留纪开始隆升, 经历了志留纪-早泥盆世快速冷却隆升、晚泥盆世-二叠纪缓慢冷却演化、三叠纪快速冷却隆升、侏罗纪缓慢冷却、白垩纪缓慢-快速冷却隆升与晚白垩世-新生代缓慢冷却共6个阶段。各阶段的发育特点与周边凹陷的沉积充填相辅相成, 早侏罗世之前的2次快速隆升, 对侏罗纪古地貌及物源体系有着重要的影响; 侏罗纪时期缓慢冷却, 表明区域构造活动趋于缓和, 导致侏罗系断陷盆地开始发育; 早白垩世晚期快速冷却隆升, 表明区域处于挤压抬升背景, 以至五墩凹陷上侏罗统、白垩系、古近系被剥蚀, 烃源岩停止生排烃, 对五墩凹陷洼陷带油气的生成及油气藏的形成与保存都有着重要影响。

关键词

裂变径迹测年, 热演化, 构造活动, 三危山, 沉积充填, 油气藏

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

三危山位于敦煌盆地中部, 把敦煌盆地分割成南、北2大坳陷, 北部为安墩坳陷, 南部为阿克赛坳陷, 五墩凹陷为北部安墩坳陷的次级凹陷, 由于其处于特殊的构造位置, 影响南北两侧次级凹陷构造特征及沉积充填。前人对三危山花岗岩及侵入岩开展过锆石原位 U-Pb 定年及 Hf 同位素分析, 党河水库花岗岩和沙枣园二长花岗岩体为 I 型花岗岩, 是中亚造山阶段碰撞期花岗岩, 形成于 462~434 Ma [1], 在三危山敦煌群中侵入大量斜长花岗岩脉体, 敦煌南侧火焰山斜长花岗岩脉体形成于 360~370 Ma, 为古亚洲

洋南缘弧后盆地扩张形成的花岗岩[2]。在三危山内部可见大量的形成于 136~99 Ma 的基性岩墙群, 指示敦煌地区白垩纪的伸展构造环境[3]。从上述已经发表的测年数据来看, 三危山发育多期侵入岩, 经历多期次构造运动。目前, 还缺少关于敦煌群变质岩、花岗岩、侏罗系砂岩的锆石、磷灰石裂变径迹及其热史模拟研究, 通过系统取样, 运用锆石、磷灰石裂变径迹及其热史模拟分析技术, 对三危山造山隆升过程进行研究, 为全面认识敦煌盆地的演化提供重要的参考依据。同时, 三危山断裂带北侧的五墩凹陷是敦煌盆地油气勘探的重点地区, 在中下侏罗统已获得油气勘探突破, 表明其具有较大的勘探潜力。三危山多期次构造活动控制了凹陷形成及改造, 影响沉积充填及生烃演化, 导致油藏预测困难。研究三危山构造演化过程对正确认识五墩凹陷盆地耦合关系、沉积充填、烃源岩演化及指导油气勘探具有重要意义。

笔者利用裂变径迹热年代学方法, 分析三危山 13 块不同时代岩石样品的裂变径迹数据, 并基于镜质体反射率测试和地质背景分析对裂变径迹测试数据进行时间 - 温度热史模拟, 分析三危山隆升过程, 结合地震及钻井资料, 分析三危山演化过程及其对五墩凹陷沉积充填和烃源岩演化的影响。

2. 地质背景及样品特征

三危山呈北东走向, 是一条狭长的隆起带, 出露前震旦系敦煌群片麻岩、片岩、混合岩、变质凝灰岩和侵入其中的早古生代、元古代花岗岩, 白垩纪基性岩墙群, 在三危山南北两侧侏罗系露头有零星出露, 主要位于多坝沟、南湖、芦苇沟一带(图 1), 山前凹陷内发育侏罗系、新近系、第四系。由于受阿尔金山走滑断裂多期构造运动的影响[4]-[9], 三危山断裂带内主要发育北东、北西 2 个方向的次级断裂; 北东向断裂形成时间早于北西向; 次级断裂具有逆冲、压扭、走滑性质, 逆断层形成时间早于走滑断层。裂变径迹热年代学样品采自三危山不同时代、不同位置的各类岩石(表 1)。

样品分析测试由北京泽康恩科技有限公司完成。试验中先将样品粉碎, 用重液、磁选等常规方法分离出磷灰石和锆石单矿物。利用环氧树脂将磷灰石制成光薄片, 在 25℃ 恒温的 7% HNO₃ 溶液中蚀刻 30 s;

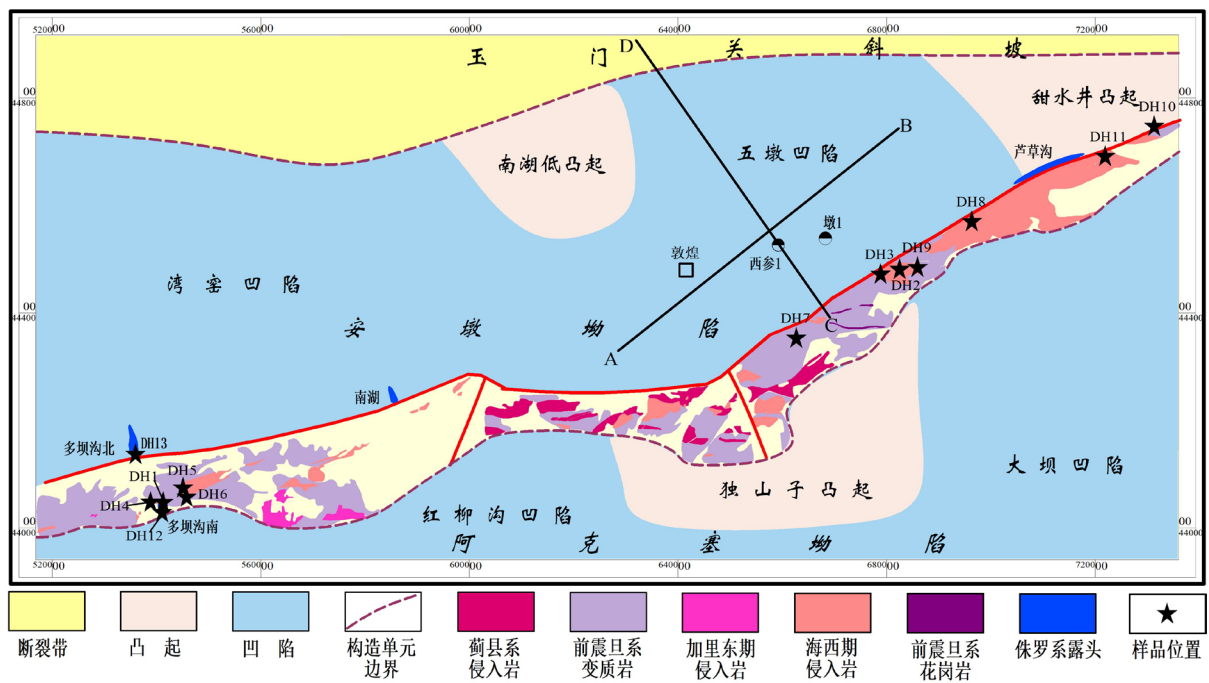


Figure 1. The locations of the study area and samples

图 1. 研究区位置简图及样品位置图

Table 1. The determination of fission track of apatite and zircon in Sanweishan Area
表 1. 三危山磷灰石和锆石裂变径迹测定结果表

样品号	分析矿物	样品位置	高程/m	时代\岩性	颗粒数/n	自发径迹	云母中诱发	外部探测器	检验概率 /%	中值年龄 /Ma	组合年龄 /Ma	裂变径迹
						密度 /(10 ⁵ ·cm ⁻²)	径迹密度 /(10 ⁵ ·cm ⁻²)	中的诱发径 迹密度 /(10 ⁵ ·cm ⁻²)				长度 L/μm
						(Ns)	(Ni)	(N)	(%)	(±1σ)	(±1σ)	(N)
DH1	磷灰石	N39°46.281' E93°29.249'	1627	元古宙 片岩	40	7.275 (1456)	16.164 (3235)	12.3795 (5858)	85.2	113±6	113±6	13.2±1.6 (118)
	锆石		1627	元古宙 片岩	31	140.982 (7054)	21.885 (1095)	7.8955 (5835)	1.1	225±12	227±11	
DH2	磷灰石	N40°08.284' E95°06.291'	1404	元古宙 云母石英片岩	40	2.048 (636)	5.178 (1608)	9.1675 (5858)	57.1	73±5	74±5	13.6±1.9 (108)
	锆石		1404	元古宙 云母石英片岩	37	145.853 (9606)	35.514 (2339)	8.3305 (5835)	27	154 ±6	154±6	
DH3	磷灰石	N40°08.352' E95°06.273'	1410	元古宙 斜长角闪片岩	36	9.869 (2859)	31.965 (9260)	12.078 (5858)	0.9	76±4	76±4	12.8±2.2 (196)
	磷灰石	N39°46.465' E93°27.901'	1589	二叠纪 钾长花岗岩	40	4.972 (121)	14.665 (3675)	12.078 (5858)	19.5	84±5	83±5	12.7±2.0 (106)
DH4	锆石		1589	二叠纪 钾长花岗岩	31	146.053 (6274)	40.04 (1720)	8.766 (5835)	70.9	144±6	144±6	
	磷灰石	N39°47.120' E93°27.901'	1665	二叠纪 钾长花岗岩	40	3.472 (710)	9.297 (1901)	10.5715 (5858)	68.7	80±5	80±5	12.2±1.9 (103)
DH5	锆石		1665	二叠纪 钾长花岗岩	11	96.498 (1660)	25.636 (441)	9.6365 (5835)	33.6	163±11	163±10	
	磷灰石	N39°48.043' E93°31.577'	1732	二叠纪 钾长花岗岩	40	2.37 (1495)	5.48 (3457)	9.4685 (5858)	25.4	83±5	83±5	13.0±1.9 (108)
DH6	锆石		1732	二叠纪 钾长花岗岩	40	118.679 (7898)	32.758 (2180)	9.4185 (5835)	79.3	153±6	153±6	
	磷灰石	N40°02.258' E94°54.367'	1672	二云母花岗岩	35	8.232 (2452)	21.88 (6517)	10.8725 (5858)	0.3	83±5	83±4	12.8±2.1 (132)
DH7	锆石		1672	二云母花岗岩	4	137.602 (514)	39.621 (148)	8.766 (5835)	92.7	137±14	137±14	
	磷灰石	N40°14.629' E95°17.012'	1135	石炭纪 钾长花岗岩	40	3.177 (1419)	12.75 (5695)	10.8725 (5858)	0.1	57±4	55±3	12.9±1.9 (111)
DH8	锆石		1135	石炭纪 钾长花岗岩	11	175.483 (1725)	32.35 (318)	8.3305 (5835)	0.3	193±20	202±14	
	磷灰石	N40°09.308' E95°09.048'	1280	石炭纪 二长花岗岩	40	2.249 (1128)	15.181 (7615)	12.6805 (5858)	34	38±2	38±2	12.6±1.8 (109)
DH9	锆石		1280	石炭纪 二长花岗岩	8	211.637 (2122)	58.145 (583)	9.2015 (5835)	1.7	146±11	150±9	
	磷灰石	N40°24.233' E95°47.275'	1232	花岗岩	35	3.71 (3240)	16.66 (14551)	11.4755 (5858)	0	51±3	52±3	12.8±1.7 (180)
DH10	磷灰石	N40°21.769' E95°36.408'	1154	早侏罗世 细砂岩	40	5.151 (997)	16.931 (3277)	10.27 (5858)	0	63±5	64±4	13.2±1.6 (144)
	锆石		1154	早侏罗世 细砂岩	8	176.921 (1200)	41.724 (283)	8.1135 (5835)	45	155±12	155±11	
DH11	磷灰石	N39°46.264' E93°29.109'	1603	早侏罗世 含砾粗砂岩	32	8.283 (1030)	30.27 (3764)	12.831 (5858)	12.3	72±5	72±4	12.6±1.6 (115)
	锆石		1603	早侏罗世 含砾粗砂岩	20	132.34 (4345)	26.803 (880)	8.1135 (5835)	19.1	179±10	180±9	
DH12	磷灰石	N39°51.443' E93°25.219'	1281	早侏罗世 含砾砂岩	40	5.013 (2158)	17.073 (7349)	10.27 (5858)	22.3	62±3	62±3	12.7±1.6 (174)
	锆石		1281	早侏罗世 含砾山岩	40	110.742 (8970)	26.432 (2141)	8.5485 (5835)	0	160±8	161±7	

挑选晶形完整的透明锆石置于载玻片上, 让其 C 轴平行于水平面分布, 利用一定的高温使之镶入聚四氟乙烯片, 通过研磨和抛光露出内表面, 利用 KOH + NaOH 溶液在 210℃ 下蚀刻约 25 h 揭示自发径迹。采用外探测器法定年, 将低铀白云母贴在光薄片上, 与 CN₅ 标准铀玻璃一起构成定年组件。样品均置于反应堆内辐照, 照射的中子注量为 1 × 10¹⁵ n/cm²。之后将云母外探测器置于 25℃ 的 40% HF 中蚀刻 20 s, 揭示诱发裂变径迹。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[10][11]。

3. 裂变径迹测试结果

裂变径迹测试结果显示, 样品的裂变径迹年龄小于花岗岩样品年龄, 反映了后期的冷却、热事件, 表明样品形成后均遭受了构造热事件的影响[12]-[18]。表明三危山敦煌群片岩、花岗岩、侏罗系大山口组砂岩样品记录了晚二叠世、晚三叠世、中侏罗世、晚侏罗世、早白垩世、晚白垩世、古近纪冷却事件。

3.1. 敦煌群片岩样品裂变径迹测试结果

在三危山地区采集 3 件敦煌群片岩样品(DH1、DH2、DH3), 磷灰石裂变径迹中值年龄为 $73 \pm 5 \sim 113 \pm 6$ Ma, 锆石裂变径迹中值年龄为 $154 \pm 6 \sim 225 \pm 12$ Ma (表 1, 图 2)。根据 Binomfit 软件计算磷灰石裂变径迹混合年龄, 敦煌群变质岩获得了多个峰值年龄。磷灰石获得了 113.4 ± 6 Ma、 82.9 ± 5 Ma、 78 ± 6 Ma、 48.1 ± 12 Ma、 66 ± 5 Ma 多个峰值年龄, 显示了后期经历了早白垩世晚期、晚白垩世晚期和古近纪的隆升事件。锆石获得了 265 ± 18 Ma、 189.4 ± 13 Ma、 171.1 ± 16 Ma、 145.7 ± 9 Ma 的峰值年龄, 记录了晚二叠世、晚三叠世、中侏罗世、晚侏罗世多次隆升事件。

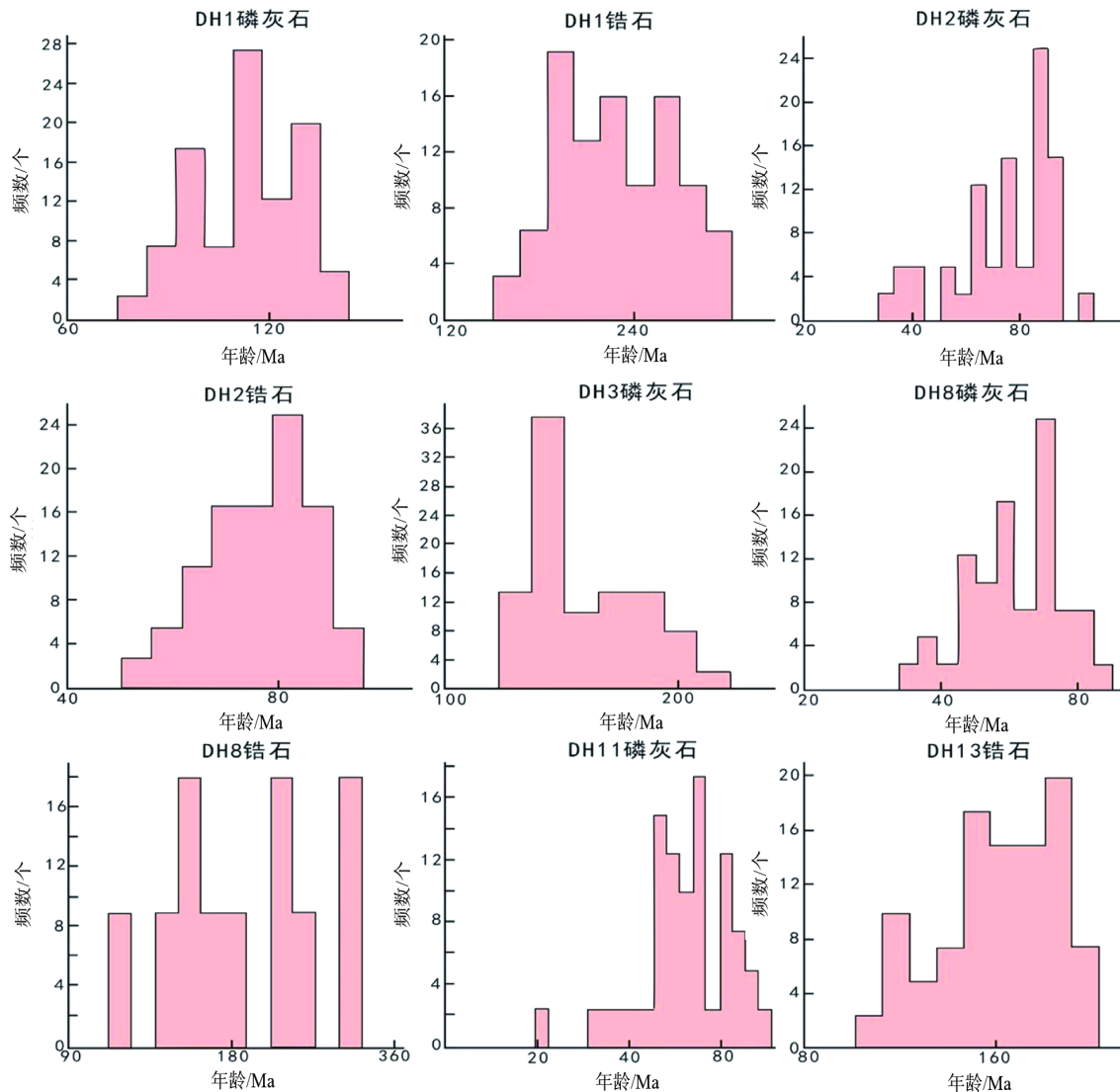


Figure 2. The distribution of fission track of apatite and zircon in Sanweishan Area
图 2. 三危山磷灰石和锆石裂变径迹年龄分布图

3.2. 花岗岩样品裂变径迹测试结果

对三危山 7 件花岗岩样品进行锆石、磷灰石裂变径迹测年分析, 其中多坝沟剖面 3 件(DH11、DH5、DH6), 莫高窟以东 4 件(DH7、DH8、DH9、DH10)。分析结果(表 1, 图 2)显示, 磷灰石裂变径迹中值年

龄为 $38 \pm 5 \sim 84 \pm 5$ Ma, 锆石裂变径迹中值年龄为 $137 \pm 14 \sim 193 \pm 20$ Ma。磷灰石和锆石裂变径迹年龄记录了早三叠世、晚侏罗世、白垩纪和古近纪多期次的冷却隆升事件。

多坝沟地区 3 件样品的磷灰石裂变径迹年龄为 80 ± 5 Ma~ 84 ± 5 Ma, 反映晚白垩世的冷却事件。锆石裂变径迹年龄为 144 ± 6 Ma~ 163 ± 11 Ma, 反映中-晚侏罗世、早白垩世的冷却事件(表 1, 图 2)。三危山莫高窟以东 4 件样品裂变径迹年龄为 $38 \pm 2 \sim 83 \pm 5$ Ma (表 1, 图 2), 记录了晚白垩世 - 古近纪的冷却事件。DH8 花岗岩样品锆石裂变径迹年龄为 137 ± 14 Ma、 146 ± 11 Ma、 193 ± 20 Ma (图 2), 记录了早 - 晚三叠世、晚侏罗世、早白垩世、早侏罗世 4 次冷却事件。

4. 热史模拟结果

造山带岩体的冷却过程可以直接反映造山带演化历史, 通过不同的热测年计算其有效的封闭温度, 确定岩体冷却到不同温度的时间, 得到一条温度 - 时间曲线, 从而描绘造山带演化热历史。

磷灰石裂变径迹具有较低的封闭温度, 为说明造山带低温热演化过程拓展了空间。为了进一步了解三危山热历史演化过程, 对封闭径迹测量数大于 75 条的样品进行了热历史模拟, 记录最适合的曲线。热史模拟以五墩凹陷地质演化为基础, 利用锆石裂变径迹年龄、封闭温度和该地区钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其封闭温度作为模拟的边界条件, 对不同地区不同样品进行热史模拟。结果表明, 三危山敦煌群片岩、花岗岩、侏罗系大山口组砂岩样品记录了志留纪至古近纪多期冷却事件: 志留纪 - 早泥盆世(440~400 Ma)快速冷却隆升阶段; 晚泥盆世 - 二叠纪(400~250 Ma)缓慢冷却演化阶段; 三叠纪(250~200 Ma)快速冷却隆升阶段; 侏罗纪(200~145 Ma)缓慢冷却阶段; 白垩纪(145~90 Ma)早期缓慢隆升、晚期快速冷却隆升阶段; 晚白垩世 - 新生代(66 Ma~现今)缓慢冷却阶段, 总体表现为持续的隆升过程。

4.1. 变质岩和花岗岩样品热史模拟测试结果

针对不同岩性的样品, 对三危山花岗岩和敦煌群变质岩分别进行热史模拟, 探讨三危山的隆升演化过程。在三危山利用 2 件敦煌群变质岩样品 DH1、DH2 进行磷灰石裂变径迹热史模拟(图 3)。样品 DH1 经历了 4 期冷却演化过程, 第 1 期为志留纪 - 早泥盆世(440~400 Ma)的快速冷却隆升阶段; 第 2 期为早泥盆世 - 侏罗纪(400~145 Ma)缓慢冷却演化阶段, 第 3 期为早白垩世(145~120 Ma)快速冷却演化阶段; 第 4 期为晚白垩世 - 新生代(120Ma~至今)缓慢冷却阶段。样品 DH2 经历了 4 期冷却演化过程, 早志留世 - 泥盆纪(440~360 Ma)快速冷却演化阶段; 早石炭世 - 晚侏罗世(360~150 Ma)缓慢冷却阶段; 晚侏罗世 - 晚白垩世(150~70 Ma)快速冷却阶段和新生代(70~40 Ma)缓慢冷却阶段。

为了进一步厘定三危山中生代构造隆升演化过程, 对三危山西段多坝沟地区的 2 件样品 DH4、DH5 进行了磷灰石裂变径迹热史模拟研究(图 4)。由模拟可以看出, 2 件样品具有较为一致的演化历史, 显示花岗岩形成后经历了三叠纪(250~200 Ma)的快速冷却阶段; 侏罗纪(200~145 Ma)的缓慢冷却阶段; 早白垩世(145~90 Ma)的快速冷却阶段; 晚白垩世 - 古近纪(90~40 Ma)缓慢冷却阶段。

在三危山东部地区样品 DH7、DH8 获得了较为接近的演化历史(图 3)。早期均经历了晚石炭世 - 晚三叠世(310~200 Ma)快速冷却阶段, 之后的演化略有差异。样品 DH7 在侏罗纪(200~140 Ma)经历了缓慢冷却阶段; 在早白垩世(140~90 Ma)经历了快速冷却阶段; 晚白垩世之后经历了缓慢冷却阶段。样品 DH8 在侏罗纪 - 早白垩世经历了缓慢冷却阶段, 在晚白垩世 - 古近纪经历了快速冷却阶段。

4.2. 侏罗系砂岩样品热史模拟测试结果

侏罗系砂岩样品的边界条件限定如下: 一是沉积时的地表温度设定为 $5 \sim 30^\circ\text{C}$; 二是现今地表温度设定为 $20 \pm 10^\circ\text{C}$ 。并用砂岩样品的锆石裂变径迹年龄和封闭温度作为模拟约束条件。锆石裂变径迹有效封闭温度采用 $210 \pm 40^\circ\text{C}$ 。

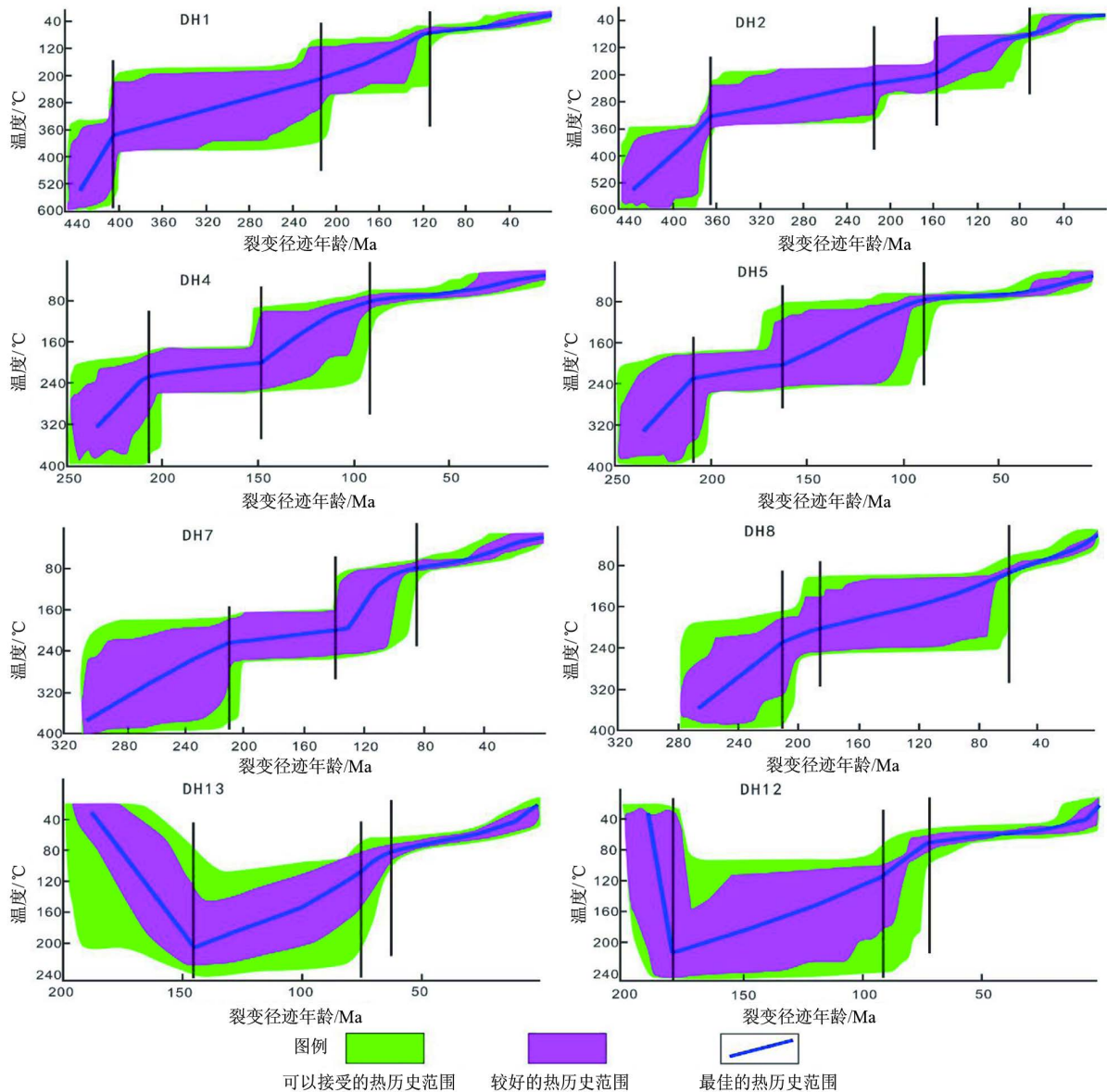


Figure 3. The simulation diagram of metamorphic rock, granite and Jurassic sandstones of Dunhuang Group in Sanweishan Area

图 3. 三危山敦煌群变质岩、花岗岩，侏罗系砂岩样品温度 - 年龄模拟图(采用 Lasslett 等退火模型)

芦苇沟样品 DH13 及多坝沟样品 DH12 砂岩样品模拟结果(图 3)表明, 中生代以来均经历了 3 个阶段的热史演化。第 1 阶段为侏罗纪(200~145 Ma)快速沉降埋藏过程; 第 2 阶段为白垩纪抬升阶段, 始于 145 Ma; 第 3 阶段为古近纪缓慢抬升阶段, 始于 66 Ma。多坝沟样品 DH12 在早侏罗世晚期已达到最大埋深, 芦苇沟样品 DH13 在晚侏罗世才达到最大埋深。模拟结果与已钻井结果一致, 多坝沟北侧的湾窑凹陷内敦参 1 井只揭示 153 m 上侏罗统, 缺失中 - 下侏罗统, 芦苇沟露头西北部五墩凹陷内西参 1 井完整揭示了 2000 m 厚侏罗系。

5. 三危山演化特征对于五墩凹陷油气影响

裂变径迹、热史模拟及地震资料解释结果表明, 三危山经历志留纪 - 早泥盆世、三叠纪 2 个快速隆

升阶段，在早侏罗世之前隆升成山，控制五墩凹陷侏罗系古地貌及物源体系；侏罗纪处于松弛拉张期，山前箕状断陷盆地开始发育，白垩纪快速抬升，影响侏罗系烃源岩生烃演化及盆地改造，五墩凹陷早侏罗世以来的构造演化可划分为伸展断陷早、中、晚期及拗陷期 4 个主要演化时期，不同时期的沉积充填既有继承性也有差异性。

5.1. 影响五墩凹陷早侏罗世古地貌及物源体系

五墩凹陷是由于三危山断裂在早侏罗世发生伸展活动而形成的山前箕状断陷盆地，一侧为控凹的三危山隆起，另一侧为受北山控制的玉门关斜坡带，五墩凹陷古地貌可划分南部断阶带、中央洼陷带、北部斜坡带，侏罗纪 - 白垩纪沉积充填就是在该构造背景下完成的(图 4)。

山前箕状断陷湖盆物源体系具有多方向、多类型特点[19] [20]。五墩凹陷在侏罗纪已形成南东向的南湖低凸起、北东向的甜水井凸起、三危山构造带。依据古水流双向性、重矿物对应性、边缘相指示性，认为五墩凹陷发育 3 个方向物源，南部为近源三危山物源区，北部和东部为北山及甜水井凸起远源区。南部三危山物源区距山前洼陷中心近，在断阶带及洼陷带发育冲积扇 - 扇三角洲 - 湖相沉积体系；北部及东部物源区坡度缓，距洼陷带远，为辫状河三角洲沉积体系，物源交汇在山前洼陷带(图 4)。

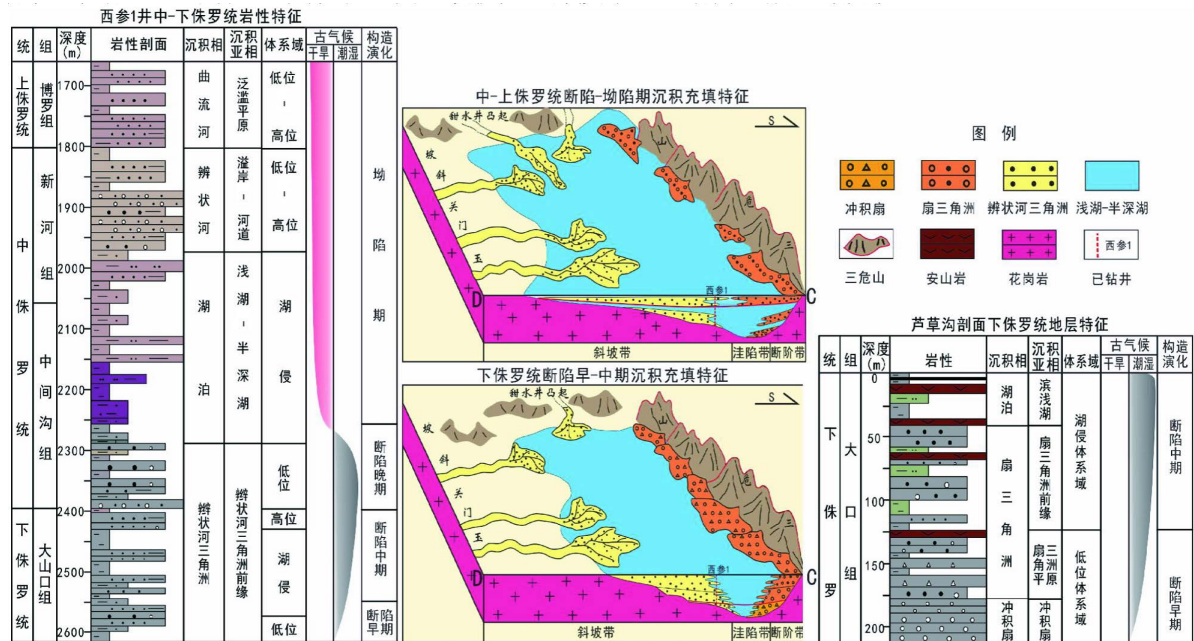


Figure 4. The sedimentary evolution history of Middle-Lower Jurassic in Wudun Depression

图 4. 五墩凹陷中 - 下侏罗统沉积演化史图

5.2. 影响五墩凹陷断阶带及洼陷带的沉积充填

三危山构造活动控制五墩凹陷沉降及抬升，影响湖平面垂向及纵向变化，进而控制五墩凹陷断陷及拗陷期沉积充填，导致不同演化阶段其岩性序列及沉积相类型具有明显差异(图 4)。

1) 伸展断陷早期。三危山在三叠纪快速隆升之后，侏罗纪时期断裂处于拉张伸展阶段，早侏罗世山前断陷盆地已经形成，该时期凹陷规模较小，洼陷带内湖泊开始发育，在断阶带及洼陷带发育了温暖湿润气候下的冲积扇相沉积，沉降中心位于三危山前，随着凹陷不断稳定下沉，湖水加深，湖面扩大，发育扇三角洲 - 滨浅湖相、辫状河三角洲相沉积。

2) 伸展断陷中期。断陷湖盆继续稳定下沉,三危山依然控制着断阶带及洼陷带沉积,洼陷带内扇三角洲平原低位体系域沉积沿三危山北断层分布;在中央洼陷带内发育滨浅湖-半深湖相高位体系域沉积,发育大山口组烃源岩及储层。

3) 伸展断陷晚期。随着湖盆不断扩张,中侏罗世早期,五墩凹陷湖盆范围达到最大,水体达到最深,断阶带及洼陷带发育扇三角洲前缘,斜坡带发育辫状河三角洲前缘,南北物源交汇在洼陷带内半深湖区,在西参1井2260~2300 m段,顶部见大套黑色水平层理泥岩夹有灰绿色粉砂岩条带,主要为湖泥沉积。该时期五墩凹陷湖盆水体最深,发育24 m厚的优质烃源岩,为油藏的形成奠定了良好的油源基础。

4) 拗陷期。中侏罗世晚期-晚侏罗世,三危山断裂伸展拉张活动减弱,五墩凹陷由断陷转为拗陷,湖水变浅,气候由温暖潮湿向干旱转变;晚侏罗世凹陷开始抬升,湖水进一步变浅,沉积中心逐渐远离三危山断层,向凹陷北部移动[21][22][23]。受干旱气候条件的影响,西参1井中间沟组中上部为厚层深紫色泥岩夹薄层泥岩,向上泥岩变厚,为厚层棕色、棕红色泥岩夹砂质泥岩和砂岩,为五墩凹陷最重要的区域性盖层;晚侏罗世博罗组沉积时期发育氧化环境下的冲积扇-湖泊-河流相沉积,推测三危山前洼陷带发育冲积扇相沉积,滨浅湖相沉积不发育。西参1井显示,北部斜坡带为红色砂岩与泥岩互层的曲流河沉积。

依据五墩凹陷地质结构,将其划分为山前南部断阶带、中央洼陷带、北部斜坡带,具有南断北超、南厚北薄的构造特征。五墩凹陷的沉积、沉降中心受边界断层的控制,地层逐渐向北超覆,厚度呈现向北逐渐减薄的趋势。早侏罗世地形分异明显,凹陷内古地形凹凸不平,局部会出现次级沉积中心,处于断陷初期的填平补齐阶段。中侏罗世时期五墩凹陷继续以断陷为主,随着早侏罗世填平补齐作用的进行,凹陷内低凸起消失,沉积范围较早侏罗世明显扩大,早-中侏罗世时期地层厚度中心位于三危山前中央洼陷带。晚侏罗世时期,地层沉积范围继续扩大,厚度中心逐渐向凹陷北部偏移。

5.3. 影响五墩凹陷烃源岩演化

墩1井埋藏史及热演化史分析表明:五墩凹陷在早-中侏罗世发育大山口组及中间沟组2套烃源岩及储层,晚侏罗世烃源岩开始生烃,五墩凹陷“上生下储”型油藏开始形成;早白垩世开始大量生排烃,早白垩世末期达到生烃高峰;晚白垩世由于盆地抬升,地温降低,烃源岩停止生烃,后期地层埋深再也没有达到或者超过早白垩世末期的最大埋深[24]。

5.4. 影响五墩凹陷后期改造

多坝沟花岗岩、芦草沟侏罗系砂岩样品热史模拟结果表明:白垩纪(145~66Ma)为快速冷却阶段,三危山在晚白垩世-古新世为快速挤压抬升阶段,造成白垩纪及古近纪被剥蚀,在五墩凹陷新近系疏勒河组与下伏侏罗系呈角度不整合接触,凹陷东西两侧发育逆冲断层,构成现今凹陷边界;芦草沟侏罗系砂岩样品热史模拟结果显示,新生代为缓慢抬升阶段,三危山在新近世-第四纪为走滑挤压拗陷阶段,盆地形成了现今南断北超、南深北浅、东西抬升的构造格局。

6. 结论

1) 三危山的持续隆升过程经历了6个阶段,志留纪-早泥盆世快速冷却隆升阶段、晚泥盆世-二叠纪缓慢冷却演化阶段、三叠纪快速冷却隆升阶段、侏罗纪缓慢冷却阶段、白垩纪缓慢-快速冷却隆升阶段、晚白垩世-新生代缓慢冷却阶段。三危山在早侏罗世之前已经隆升成山,侏罗纪以伸展-拉张为主,白垩纪至渐新世以挤压抬升为主,新近纪具有左旋走滑特征,不同时期具有不同运动特征。

2) 五墩凹陷发育多方向物源,洼陷带是南部扇三角洲与北部、东部辫状河三角洲交汇区。五墩凹陷

划分为伸展断陷早、中、晚期及拗陷期 4 个演化时期, 不同时期沉积充填既有继承性也有差异性; 中、晚断陷和拗陷期是五墩凹陷中-下侏罗统烃源岩、储集、盖层发育时期, 在上述 3 个阶段洼陷带及斜坡带附近发育的岩性、构造-岩性、构造油藏是五墩凹陷油气勘探有利目标。

参考文献

- [1] 王楠, 吴才来, 马昌前, 等. 敦煌地块三危山地区花岗岩体地球化学、锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素特征[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2681-2705.
- [2] 赵燕, 第五春荣, 朱涛, 等. 敦煌三危山地区晚泥盆世斜长花岗岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 2015, 31(7): 1855-1869.
- [3] 冯志硕, 张志诚, 李建锋, 等. 敦煌三危山地区白垩纪 OIB 型基性岩墙的特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 607-616.
- [4] 葛肖虹, 张梅生, 刘永江, 等. 阿尔金断裂研究的科学问题和研究思路[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 295-301.
- [5] 龚正, 李海兵, 孙知明, 等. 阿尔金断裂带中侏罗世走滑活动及其断裂规模的探讨——来自软沉积物变形的证据[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 2233-2250.
- [6] 郭召杰, 张志诚. 阿尔金盆地群构造类型与演化[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 357-364.
- [7] 李海兵, 杨经绥, 许志琴, 等. 阿尔金断裂带对青藏高原北部生长、隆升的制约[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 59-79.
- [8] 刘永江, 葛肖虹, Genser, J., 等. 阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(12): 1335-1341.
- [9] 汤文豪, 张志诚, 李建锋, 等. 阿尔金断裂东端白垩纪火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 51-62.
- [10] 袁万明, 董金泉, 保增宽, 等. 新疆阿尔泰造山带构造作用的锆石裂变径迹分析[J]. 地球科学, 2005, 26(s1): 239-243.
- [11] 袁万明, 杨志强, 张招崇, 等. 安徽省黄山山体的隆升与剥露[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(10): 1435-1443.
- [12] Parrish, R.P. (1983) Cenozoic Thermal Evolution and Tectonics of the Coast Mountains of British Columbia: Fission Track Dating, Apparent Uplift Rates, and Pattern of Uplift. *Tectonics*, 2, 601-631. <https://doi.org/10.1029/TC002i006p00601>
- [13] 沈传波, 梅廉夫, 徐振平, 等. 大巴山中一新生代隆升的裂变径迹证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2901-2907.
- [14] 沈传波, 梅廉夫, 张士万. 依连哈比尔尕山和博格达山中新生代隆升的时空分异: 裂变径迹热年代学的证据[J]. 矿物岩石, 2008, 28(2): 63-68.
- [15] 沈传波, 梅廉夫, 刘昭茜, 等. 黄陵隆起中-新生代隆升作用的裂变径迹证据[J]. 矿物岩石, 2008, 29(2): 54-60.
- [16] 梅廉夫, 邓大飞, 沈传波, 等. 江南-雪峰隆起构造动力学与海相油气成藏演化[J]. 地质科技情报, 2012, 31(5): 85-91.
- [17] 周祖翼, 廖宗廷, 杨凤丽, 等. 裂变径迹分析及其在沉积盆地研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 333-335.
- [18] 周成礼, 冯石, 康铁笙, 等. 磷灰石裂变径迹长度分布数值模拟及地质应用[J]. 石油实验地质, 1994, 16(4): 410-415.
- [19] 廖宗廷, 江兴歌, 李冉, 等. 广西百色盆地构造-热演化初步研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 555-558.
- [20] 吴亚军. 东部地区箕状断陷盆地构造演化与沉积充填特征[J]. 天然气工业, 2004, 24(3): 28-31.
- [21] 宋国奇, 郝雪峰, 刘克奇. 箕状断陷盆地形成机制、沉积体系与成藏规律——以济阳拗陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 304-308.
- [22] 王崇孝, 马国福, 周在华. 酒泉盆地中-新生代构造演化及沉积充填特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 33-36.
- [23] 张志杰, 于兴河, 侯国伟, 等. 张性边缘海的成因演化特征及沉积充填模式——以珠江口盆地为例[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 285-289.
- [24] 赵伟卫, 金强, 王伟锋. 华北盆地济源凹陷古地温梯度的研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 19-22.

[编辑] 邓磊

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2471-7185，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org