

文章编号: 0253-9985(2005)04-0505-07

黄骅坳陷歧口凹陷热史和油气成藏史

张 杰^{1,2}, 邱楠生^{1,2}, 王 昕³, 段健康³

(1. 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

3. 大港油田勘探开发研究院, 天津大港 300280)

摘要: 利用镜质体反射率数据模拟计算了歧口凹陷 24 口井的热历史, 模拟结果表明, 沙河街时期的地温梯度高, 每百米大约为 5.0~5.6℃, 东营时期每百米大约为 4.5~5.0℃, 馆陶时期每百米大约为 3.5~4.5℃, 现今的地温梯度每百米大约为 3.1~3.2℃。利用包裹体均一温度和恢复样品的埋藏史、源岩的热演化史及生烃史, 确定该区有两期油气充注期: 第一期发生在东营末期; 第二期为馆陶末期至现今。歧口凹陷的油气充注以第二期为主。利用 PRA 二维模拟软件对地质剖面进行油气运聚模拟, 也得出歧口凹陷有两次油气聚集高峰, 第一次为东营末期; 第二次为馆陶末期至现今。

关键词: 热演化史; 油气成藏史; 歧口凹陷; 黄骅坳陷

中图分类号: TE112.11 **文献标识码:** A

Thermal evolution and reservoiring history in Qikou sag Huanghua depression

Zhang Jie^{1,2}, Qiu Nansheng^{1,2}, Wang Xin³, Duan Jiankang³

(1. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing;

2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing;

3. Exploration and Development Research Institute, Dagang Oilfield Company, Dagang, Tianjin)

Abstract Thermal histories of 24 wells in Qikou sag are simulated by using vitrinite reflectance data. The simulation results show that the geothermal gradients are about 5.0~5.6℃/100m during the deposition of Shahejie Fm, 4.5~5.0℃/100m during the deposition of Dongying Fm, and 3.5~4.5℃/100m during the deposition of Guantao Fm, respectively. The current geothermal gradient is measured to be about 3.1~3.2℃/100m. Based on the homogenization temperatures of fluid inclusions, the restored burial history of core samples and the thermal evolution and hydrocarbon generation histories of source rocks, there are two hydrocarbon charging stages in the study area. The first charging stage occurs at the end of deposition of Dongying Fm; the second charging stage extends from the end of deposition of Guantao Fm to present time, and is the main charging stage of hydrocarbons in Qikou sag. Hydrocarbon migration and accumulation modeling with PRA 2D simulation software also show that there are two hydrocarbon accumulation peaks in Qikou sag with the first one at the end of deposition of Dongying Fm and the second one from the end of deposition of Guantao Fm to present time.

Key words Qikou sag; thermal history; hydrocarbon entrapment; fluid inclusion; basin modeling

准确分析含油气盆地的油气成藏期次有助于更好地了解油气藏形成条件和分布规律。前人对成藏期次的研究方法进行了很多探讨^[1~8]。传统的分析方法有: 根据圈闭形成期确定油气藏形成

的最早时间; 根据烃类流体主要形成期确定成藏期; 根据油藏饱和压力确定成藏时间。目前普遍采用的是利用流体包裹体均一温度来确定油气成藏的期次。由于流体包裹体捕获了油气运聚时期

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目 (G1999043302)

第一作者简介: 张杰, 女, 28 岁, 硕士生, 沉积盆地热演化及隐蔽油气藏

收稿日期: 2005-05-27

的流体,保存了当时油气流体的物理状况,因而通过测定储层中与油气流体包裹体共生的盐水包裹体的均一温度,结合样品的沉积埋藏史、热演化史和源岩的生烃史资料,就可以确定流体充注的次数。盆地数值模拟可以恢复盆地生排运聚史,可以确定油气充注的大致时期。

1 概况

歧口凹陷位于黄骅拗陷中部,是渐新世以来长期发育的沉积凹陷。歧口凹陷被南大港低隆起分割成歧南、歧北两大次级凹陷(图 1)。两凹陷均呈西北侧陡且深,东南侧缓而浅的箕状不对称凹陷。概括起来,区内构造格架为一隆(南大港水下低隆起)、两凹(歧南、歧北凹陷)、两斜坡(歧北凹陷西斜坡、歧南凹陷羊三木—黄骅扣村—埕北斜坡带),并且具有凹深(下第三系厚约 2 500~3 000 m)、坡广(占凹陷区面积的二分之一)、断裂不整合多(分布区域性的 4 个不整合面)的地质构造特征。

歧口凹陷以第三系沉积为主,早第三纪主要沉积了沙河街组,沙河街组中有沙一段、沙二段和沙三段(以下简称沙一段、沙二段、沙三段),其中以沙一段和沙三段分布最广。沙三段沉积末期,盆地部分抬升,遭受剥蚀,因而歧口凹陷沙河街组二段大部分缺失,沙一段、沙二段与沙三段间为不整合接触。受渐新世末期构造运动的影响,盆地整体抬升,使得东营组部分地区遭受剥蚀。晚第

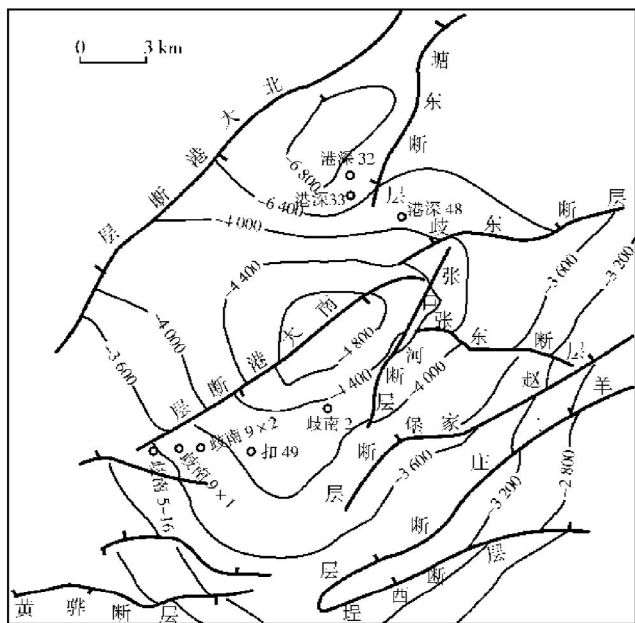


图 1 歧口凹陷主干断裂和模拟井位分布图

Fig. 1 Map showing the main structural units and simulated well locations in Qikou sag

三纪随着区域性沉降,凹陷又沉积了上第三系馆陶组、明化镇组和第四系。歧口凹陷的储集层位主要为沙河街组的暗色湖相砂泥岩。

2 热历史

沉积盆地热历史恢复的方法很多,常用的方法主要有两种:一是利用各种古温标来模拟盆地的热历史,主要包括镜质体反射率、包裹体及磷灰石裂变径迹等;二是用盆地演化的地球物理模型来研究古温度。本文采用的是镜质体反射率热降解的化学动力学方法^[9]。

根据歧南 2、港深 33、港深 48 和港深 32 等 24 口井实测的镜质体反射率值(表 1)模拟了歧口凹陷地温随地质历史演化的情况。总体上,该区地温梯度随地质历史演化逐渐降低。根据模拟得到的平均地温梯度,其具体的演化过程为:在沙河街时期的地温梯度比较高,每百米大约为 5.0~5.6℃,东营时期每百米大约为 4.5~5.0℃,馆陶时期每百米大约为 3.5~4.5℃,现今的地温梯度每百米大约为 3.1~3.2℃(图 2)。

3 成藏期次

储层中的流体包裹体是在储层成岩过程中被自生矿物晶格所捕获而形成的油气水包裹体,它们记录了油气水充注储层时的组成性质以及物理化学条件。目前用流体包裹体确定油气充注期次有两种方法:1)根据流体包裹体在储集层中的种类、含量、分布等常规特征以及它们与成岩矿物的结构关系,分析油气运移及圈闭充注模式;2)根据包裹体的均一温度,结合盆地的古地温模式和储集层埋藏历史,来确定包裹体形成时的地层埋深

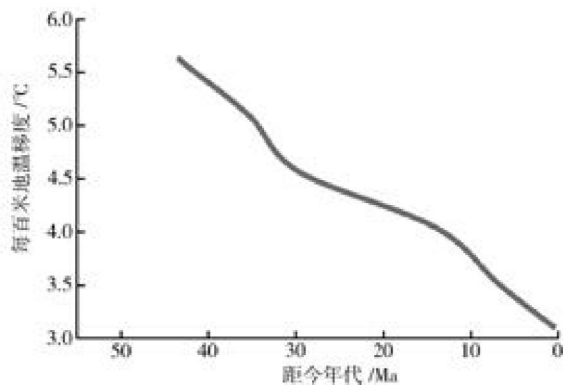


图 2 歧口凹陷古地温梯度随地质历史演化的模拟结果

Fig. 2 Paleogeothermal gradients vs geological evolution in Qikou sag

表 1 热史模拟中所用的镜质体反射率

Table 1 Vitrinite reflectance data used in geothermal history modeling

井号	深度 /m	层位	R _o /%	井号	深度 /m	层位	R _o /%	井号	深度 /m	层位	R _o /%	井号	深度 /m	层位	R _o /%
歧南 2	2 574.0	Ed ²	0.33	歧南 8	2 965.9	Es ^{1(上)}	0.40	港深 47	3 586.5	Es ^{1(上)}	0.40	港深 39	3 853.8	Es ^{1(下)}	0.85
	2 840.0	Ed ²	0.44		3 005.3	Es ^{1(上)}	0.36		3 685.0	Es ^{1(下)}	0.38		3 973.1	Es ^{1(下)}	0.82
	3 350.0	Es ^{1(上)}	0.48		3 147.4	Es ^{1(上)}	0.55	港深 32	3 656.0	Es ^{1(上)}	0.54		3 974.0	Es ^{1(下)}	1.00
	3 425.3	Es ^{1(中)}	0.49	歧北 3	3 036.0	Es ³	0.40		3 657.8	Es ^{1(上)}	0.53		3 974.0	Es ^{1(下)}	1.14
	3 425.7	Es ^{1(中)}	0.33		3 048.4	Es ³	0.39		3 964.0	Es ^{1(中)}	0.43	港深 40	4 107.3	Es ^{1(下)}	0.78
	3 427.7	Es ^{1(中)}	0.47	歧北 11	2 624.7	Es ²	1.38	3 964.5	Es ^{1(中)}	0.50	4 116.4		Es ^{1(下)}	1.22	
	3 625.0	Es ^{1(中)}	0.46	歧 74	2 658.1	Es ³	0.62	3 966.5	Es ^{1(中)}	0.65	4 119.1		Es ^{1(下)}	0.76	
	3 665.0	Es ^{1(下)}	0.58	歧 129	2 852.1	Ed	0.52	3 967.0	Es ^{1(中)}	0.68	4 197.0		Es ^{1(下)}	1.12	
	3 735.0	Es ²	0.58		2 863.5	Ed	0.44	4 154.2	Es ^{1(下)}	0.72	港深 48	3 640.2	Es ^{1(上)}	0.59	
	3 738.0	Es ²	0.59	歧 472	2 588.8	Es ^{1(下)}	0.21	3 643.7	Es ^{1(上)}	0.47		4 072.7	Es ^{1(上)}	0.63	
	4 061.1	Es ³	0.72		2 620.9	Es ²	0.88	港深 33	3 656.0	Es ^{1(上)}		0.71	4 208.0	Es ^{1(下)}	0.80
	4 300.0	Es ³	0.61	港深 1	3 470.8	Es ^{1(下)}	0.91		4 120.2	Es ^{1(下)}		0.67	4 379.0	Es ^{1(下)}	1.03
4 378.0	Es ³	0.65	港深 3	2 900~	Es ^{1(上)}	0.51	4 120.8	Es ^{1(上)}	0.48	4 408.0		Es ^{1(下)}	1.00		
4 460.0	Es ³	0.83		3 044			港深 34	3 460.3	Es ^{1(下)}	0.42	4 451.0	Es ²	1.06		
4 680.0	Es ³	1.02	港深 4	3 142.9	Es ³	0.76	港深 35	3 901.5	Es ^{1(下)}	0.51	4 561.0	Es ²	1.30		
歧南 6	3 126.9	Es ^{1(中)}		0.37	3 212.4	Es ³		0.70	3 898.5	Es ^{1(下)}	0.60	4 587.0	Es ²	1.11	
	3 310.7	Es ^{1(中)}		0.44	3 250.5	Es ³		0.47	3 858.5	Es ^{1(下)}	0.61	4 661.0	Es ²	1.39	
	3 366.1	Es ^{1(中)}		0.44	3 251.1	Es ³	0.60	3 854.5	Es ^{1(中)}	0.62	4 685.0	Es ²	1.57		
	3 513.6	Es ^{1(中)}		0.31	3 262.6	Es ³	0.50	3 851.5	Es ^{1(中)}	0.57	港深 67	3 130.0	Ed ³	0.48	
	3 514.0	Es ^{1(中)}		0.44	3 264.8	Es ³	0.80	3 849.5	Es ^{1(中)}	0.59		3 402.5	Es ^{1(上)}	0.48	
歧南 7	3 065.5	Es ^{1(上)}		0.34	3 265.1	Es ³	0.72	3 847.5	Es ^{1(中)}	0.59	3 841.5	Es ^{1(下)}	0.75		
	3 070.1	Es ^{1(上)}		0.65	3 453.4	Es ³	0.90	港深 37	4 086.0	Es ^{1(下)}	0.69	港深 72	3 962.3	Es ^{1(下)}	0.60

及对应的地质时代, 依此可以确定油气藏形成时间。利用流体包裹体的均一温度确定油气成藏的时期, 必须有准确的沉积埋藏史和热演化史的资料。通过对样品所在地层的埋藏史和热史的恢复, 在沉积埋藏史和热史图上读出由均一温度值所对应的时间, 即认为是油气充注成藏的开始时间; 所对应的深度为该储集体接受油气流体充注时的深度。根据流体包裹体均一温度和埋藏-热演化史的数据研究成藏时期的可靠性取决于流体包裹体均一温度测试的精度和埋藏-热史恢复的准确性^[11]。均一温度测试对象应是与烃类包裹体共生的盐水包裹体。

本文在歧口凹陷采集了 7 口井的储集层样品并进行了包裹体测试(表 2)。依据上述原理对研究区的油气充注成藏期次进行了分析。

研究区流体包裹体的均一温度主要分布在 60~ 190℃, 大部分在 90~ 150℃(图 3)。大部分样品均有两个峰值, 说明油气流体具有两期充注的特征, 如歧南 2 井区(图 4)。根据已测定的流体包裹体数据, 结合沉积埋藏史、热史资料, 初步认为油气充注有两期: 第一期为东营末期, 对应的流体包裹体均一温度为 103~ 105℃; 第二期为馆陶

末期至现今, 对应的包裹体均一温度为 119~ 135.6℃。结合烃源岩的成熟演化特征, 第二期油气充注是本区油气成藏的主要时期。

歧南 2 井和港深 32 井分别位于歧北凹陷与歧南凹陷深凹中, 因此这两口井的生烃史可以代表歧口凹陷的生烃史(图 5)。从歧南 2 井的生烃史可以看出, 在沙二段开始沉积时, 沙三段底开始

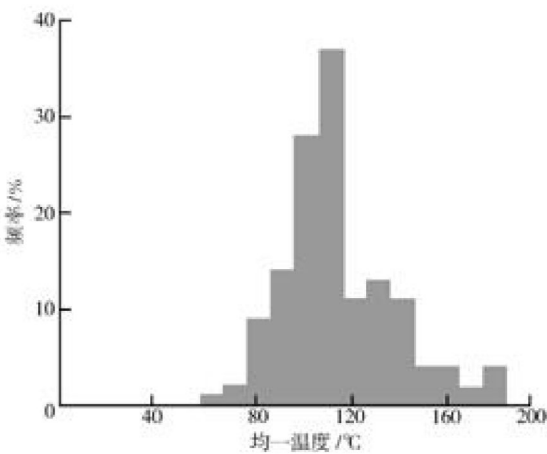


图 3 歧口凹陷沙河街组储层流体包裹体均一温度分布情况

Fig. 3 Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions in Shahejie Fm in Qikou sag

表 2 歧口凹陷沙河街组储层流体包裹体测定结果

Table 2 Results of fluid inclusion measurements in Shahejie Fm in Qikou sag

井号	深度/m	层位	大小/ μm	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
歧南 2	3 423.8	Es^1	$3\sim 6\times 5\sim 8$	$5\sim 10$	103, 105, 119, 122, 124, 124, 126, 130, 132, 136
歧南 5-16	2 679.2	Es^3	6×8	$6\sim 10$	65, 91, 102, 103, 105, 113, 150, 170, 170, 201
歧南 5-16	2 682.8	Es^3	$3\sim 10\times 3\sim 8$	$5\sim 10$	87, 93, 95, 95, 104, 107, 112, 185, 185, 205
歧南 5-16	2 694.1	Es^3	$3\sim 6\times 4\sim 10$	$5\sim 6$	82, 104, 106, 108, 112, 114, 124
庄 65	2 742.7	Es^1	$2\sim 5\times 4\sim 10$	$5\sim 6$	85, 101, 106, 106, 108, 115, 115, 136, 139, 185
庄 65	3 002.7	Es^3	$2\sim 6\times 4\sim 9$	$5\sim 8$	87, 99, 100, 101, 105, 106, 111, 148, 156, 185
港深 32	4 153.6	Es^1	$2\sim 4\times 3\sim 21$	$5\sim 8$	131, 132, 132, 136, 143
歧 649	2 285.9	Es^1	$2\sim 5\times 4\sim 8$	5	101, 110, 114, 118
歧南 6	3 301.2	Es^1	$3\times 4\sim 6$	5	120, 123
歧 85	3 028.3	Es^3	2×4	5	105

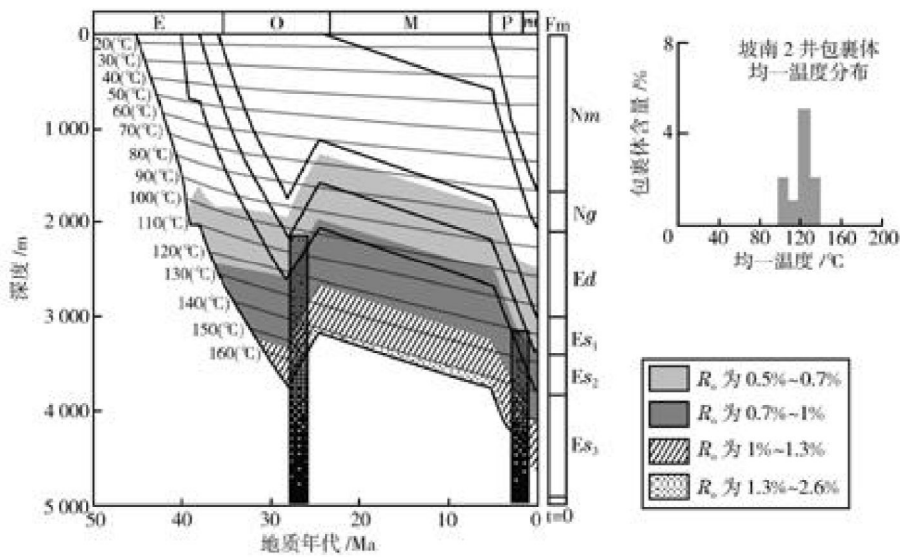


图 4 歧南 2 井沙一段充注期次

Fig. 4 Hydrocarbon charging stages in the 1st member of Shahejie Fm in Qinan 2 well

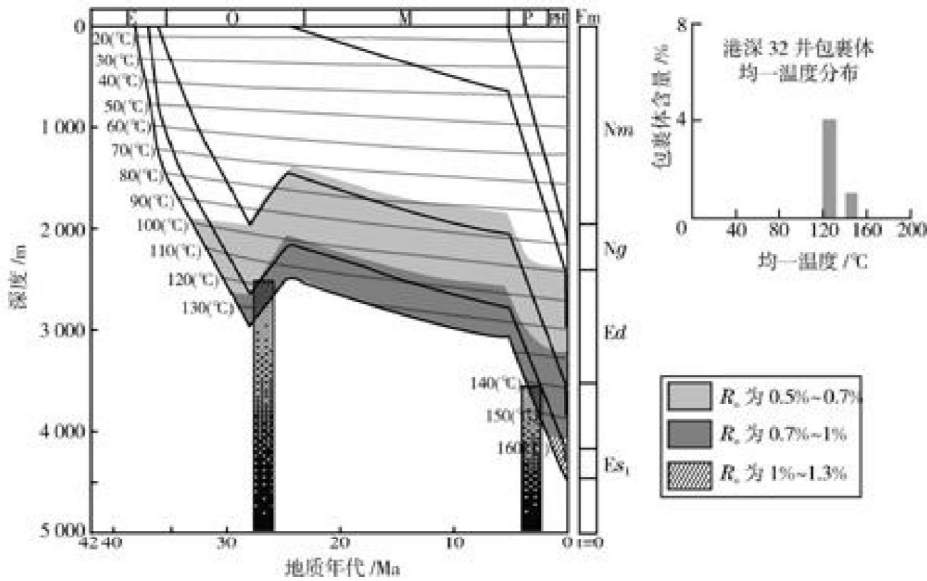


图 5 港深 32 井沙一段充注期次

Fig. 5 Hydrocarbon charging stages in the 1st member of Shahejie Fm in Gangshen 32 well

进入生烃门限 ($R_o = 0.5\%$), 沙一段开始沉积时沙三段进入中等成熟阶段 ($R_o = 0.7\%$), 在东营组沉积末期, 沙三段进入生油高峰 (R_o 为 $0.7\% \sim 1.3\%$)。受渐新世末期构造运动的影响, 盆地整体抬升, 使得东营组遭受剥蚀, 因而沙三段至今仍在生烃高峰期。沙二段及沙一段底在东营组沉积时期进入生烃门限, 由于此后盆地抬升遭受剥蚀, 因而沙二段及沙一段在现今仍处在早成熟阶段。从港深 32 井的生烃史可以得出, 在东营组开始沉积时, 沙一段底进入生烃门限 ($R_o = 0.5\%$), 在盆地抬升之前, 沙一段进入中等成熟阶段, 此后由于地层抬升遭受剥蚀, 沙一段烃源岩未能继续成熟演化, 因此直至现今沙一段才进入生烃高峰。由以上分析可知, 盆地的生排烃过程受渐新世末期构造运动的影响很大。在东营组末期, 沙一段刚刚进入生烃门限, 沙三段刚刚进入生烃高峰期, 在此之后盆地开始抬升遭受剥蚀, 烃源岩未能继续成熟, 因此该期形成的油气数量有限, 发生的油气充注的时间比较短暂, 充注的量较小, 对成藏的贡献也较小。实际测量过程中所测得的该期包裹体的数量较少, 从另一个侧面反映了该期油气充注的相对量。对歧口凹陷油气成藏贡献最大的是第二次油气充注即馆陶末期至现今的这次油气充注。此时沙三段已开始大量生烃或达到了生烃高峰, 沙一段也已经开始大量生烃。另外, 包裹体的气、液比基本为 5% 左右, 说明大量烃类是液态烃。

这也与生烃史的模拟结果及油气充注时期的分析一致, 即歧口凹陷油气充注以第二期为主。

4 数值模拟

本次数值模拟采用的是美国 PRA 公司二维油气运移模拟软件。该系统以网格化的模拟数据为基础, 以批处理方式进行系列的一维或二维盆地模拟 (包括地史及埋藏史、热史、生烃史、排烃史)。埋藏史模拟在地层骨架体积不变的基础上, 考虑了流体压力演化对孔隙度演化史的影响; 热史模拟根据能量守恒定律, 考虑了岩石及流体热容对热传导的影响; 生烃史模拟主要应用热化学动力学模型计算生油气量; 排烃史模拟采用了饱和度排烃模型。

在使用二维模拟系统进行模拟时, 需要用到的参数有两类: 一类为地层岩性、厚度 (残余厚度和剥蚀厚度)、总有机碳含量、有机质类型等, 这类参数根据实际资料给出; 另一类是不同类型干酪根的化学动力学参数、不同岩性的压实参数与热力学参数等, 这类参数根据实验数据或地质类比给出。本次模拟所需数据 (如烃源岩的厚度、母质丰度、母质类型、剥蚀厚度和热流值等) 均来自于与该区相关的文献资料。本文对图 6 的剖面进行了排烃模拟, 模拟结果见图 7。

从图 7 可以看出, 歧南 5-16-歧南 9×2 -歧南 2 地质剖面明显存在两个油气聚集高峰期, 第

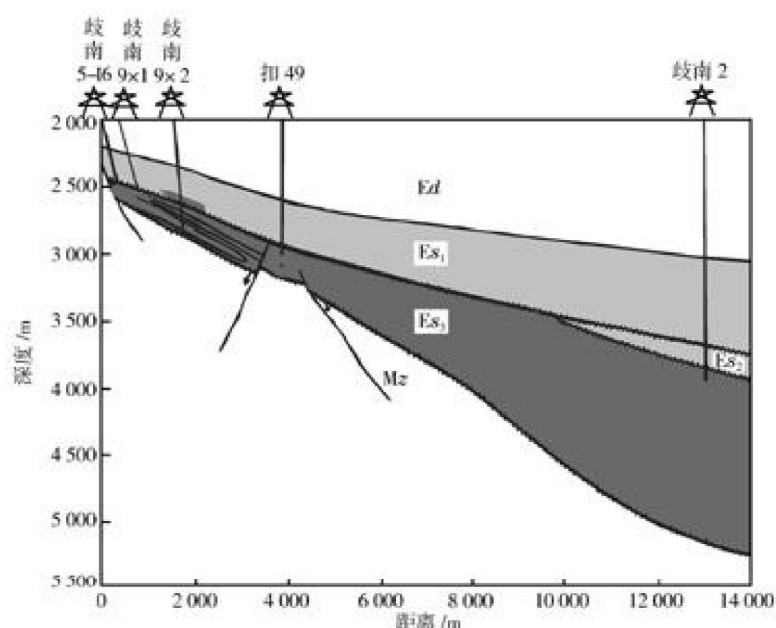


图 6 歧南 5-16-歧南 9×2 -歧南 2 地质剖面 (剖面位置见图 1)

Fig. 6 Geologic section across Qinan 5-16-Qinan 9×2 -Qinan 2 (the location of the cross section is shown in Fig 1)

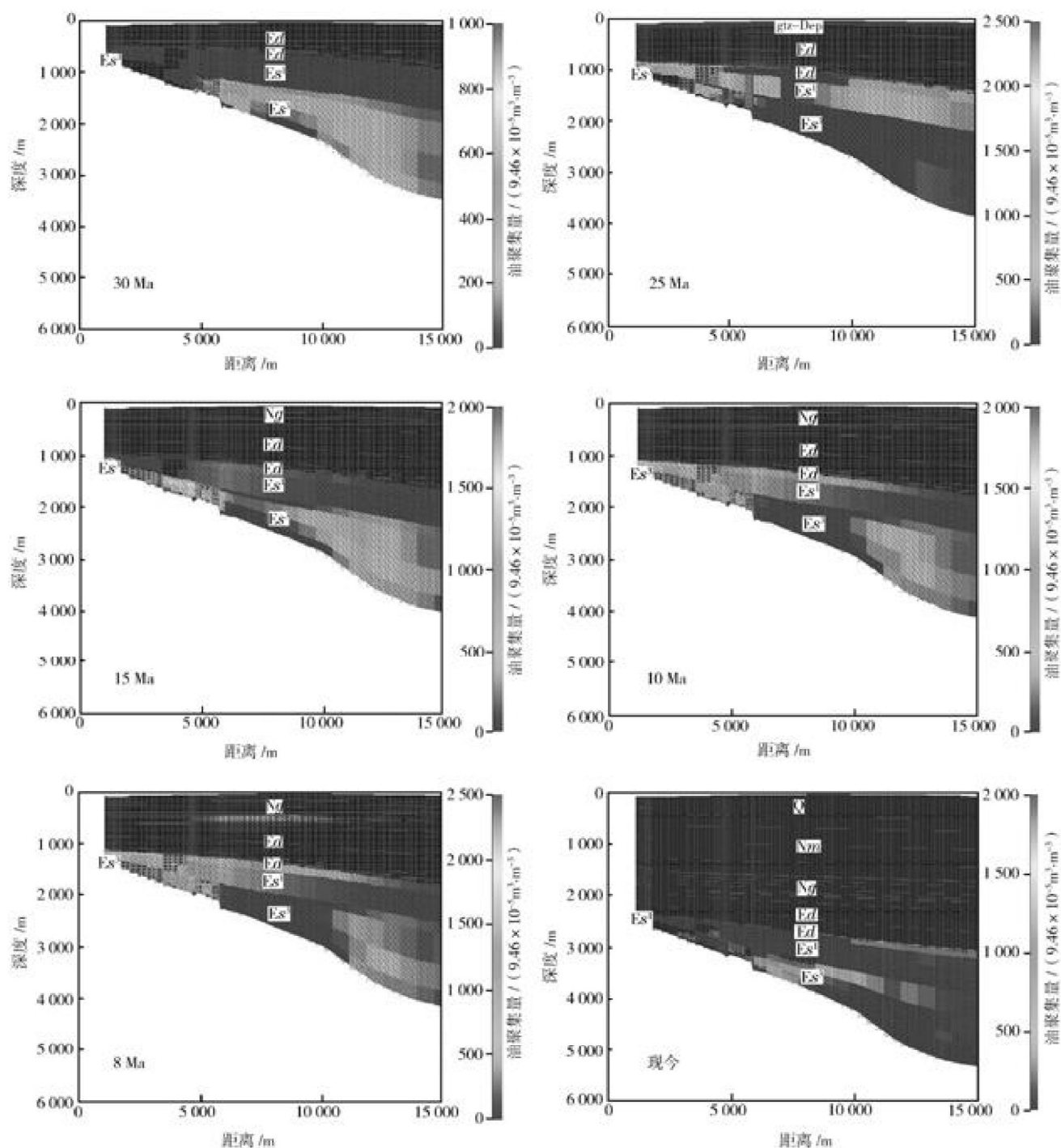


图 7 歧南 5-16-歧南 9×2-歧南 2 地质剖面的聚油情况

Fig. 7 Hydrocarbon accumulation history in the geologic section across Qinan 5-16-Qinan 9×2-Qinan 2

一期为东营末期; 第二期为馆陶末期至现今, 与用包裹体确定的成藏期次相对应。

参 考 文 献

- 1 柳少波, 顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 326~331
Liu Shaobu Gu Jiayu Discussion on the application and questions of the fluid inclusions in the study of petroleum geology [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 326~331
- 2 姜振学, 庞雄奇, 黄志龙. 叠合盆地油气运聚期次研究方法及应用 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 22~28

- Jiang Zhenxue Pang Xiongqi Huang Zhilong A method for studying the oil and gas migration stages in superposed basin and its application [J]. Petroleum Exploration & Development, 2000, 27(4): 22~28
- 3 Roger K M. The application of fluid inclusion to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs [J]. Applied Geochemistry, 1987, 2: 585~603
- 4 任战利, 冯建辉, 崔军, 等. 东濮凹陷杜桥白地区天然气的成藏期次 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 376~381
Ren Zhanli Feng Jianhui Cui Jun, et al Gas reservoir-forming of Duqiaobai area in the Dongpu Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23

- (4): 376~381
- 5 孙玉善,赵孟军,杨帆.由沥青产状及地球化学特征分析碳酸盐岩油藏的成藏期次——以塔中6井为例[J].新疆石油地质, 1995, 20(5): 394~397
Sun Yushan, Zhao Mengjun, Yang Fan. Analysis of reservoir-forming stages of carbonate reservoir from occurrence and geochemistry of asphalt: an example from Tazhong 6 well area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 20(5): 394~397
 - 6 覃建雄,张长俊,李天生,等.西昌盆地流体包裹体及其在油气勘探中的应用[J].石油与天然气地质, 1994, 15(3): 216~225
Qin Jianxiong, Zhang Changjun, Li Tiansheng, et al. The fluid inclusions of Xichang basin and its application in the petroleum exploration[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(3): 216~225
 - 7 王红军,蔡迎春.流体包裹体常规特征在油气成藏研究中的应用[J].石油勘探与开发, 2000, 27(5): 50~56
Wang Hongjun, Cai Yingchun. Applications of general characteristics of fluid inclusions to the study of oil and gas pool formation[J]. Petroleum Exploration & Development, 2000, 27(5): 50~56
 - 8 Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. AAPG Bull, 1990, 74(10): 1559~1570
 - 9 邱楠生,蔡进功,李善朋,等.昌潍坳陷潍北凹陷热历史及油气成藏期次[J].地质科学, 2003, 38(3): 413~424
Qiu Nansheng, Cai Jingong, Li Shanpeng, et al. Thermal evolution and hydrocarbon entrapment in the Weibei sag, Changwei depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 413~424

(编辑 高岩)

(上接第504页)

烃源岩;火石岭组储气层中的天然气,来自火石岭组源岩的占50%,来自沙河子组烃源岩的仍达到43.08%,这可能是由于其他埋藏较深的沙河子组烃源岩产气后侧向运移所致;营城组和火石岭组天然气中,石炭—二叠系烃源岩的贡献比例平均小于5%。

参 考 文 献

- 1 石昕,石宝珩.我国天然气地质理论与天然气工业的发展[J].石油与天然气地质, 1999, 20(3): 263~266
Shi Xin, Shi Baoheng. Development of geological theory and industry for natural gases in China[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(3): 263~266
- 2 李广之.轻烃地球化学场的形成和特征[J].石油与天然气地质, 1999, 20(1): 66~69
Li Guangzhi. Formation and characteristics of light hydrocarbon geochemistry fields[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 66~69
- 3 GB/T 13610-2003 天然气的组成分析气相色谱法[S]
GB/T 13610-2003 Gas chromatography of natural gas component analysis[S]
- 4 张居和,李景坤,冯子辉,等.利用天然气重烃对比松辽盆地北部深层气[J].地质地球化学, 1997, 25(4): 50~56
Zhang Juhe, Li Jingkun, Feng Zihui, et al. Studies of deep-seated gas in northern Songliao basin using analytical results of heavy hydrocarbons in natural gases[J]. Geology Geochemistry, 1997, 25(4): 50~56
- 5 SY 5238-91 天然气中氢碳氧同位素制样方法[S]
SY 5238-91, Sample prescription methods of hydrogen, carbon and oxygen isotopes in natural gas[S]
- 6 SY 5239-91 石油和沉积有机质的氢碳同位素分析方法[S]
SY 5239-91, Analytical methods of hydrogen and carbon isotopes in petroleum and sedimentary organic matter
- 7 戴金星.利用轻烃鉴别煤成气和油型气[J].石油勘探与开发, 1993, 20(5): 26~32
Dai Jinxing. Identification of coal formed gas and oil type gas by light hydrocarbons[J]. Petroleum Exploration & Development, 1993, 20(5): 26~32
- 8 张义纲.天然气的生成聚集和保存[M].南京:河海大学出版社, 1991. 55~65
Zhang Yigang. Formation, accumulation and preservation of natural gas[M]. Nanjing: Hohai University Press, 1991. 55~65
- 9 钱志浩,曹寅,王从凤,等.石油地质实验测试技术新进展[M].北京:地质出版社, 1994. 178~185
Qian Zhihao, Cao Yin, Wang Congfeng, et al. New progress of experimental and testing techniques in petroleum geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 178~185
- 10 戴金星.天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J].天然气地球科学, 1993, 4(2~3): 232~240
Dai Jinxing. Carbon and hydrogen isotope features of natural gas and discrimination of different types of natural gas[J]. Natural Gas Geoscience, 1993, 4(2~3): 232~240
- 11 张义刚.识别天然气的碳同位素方法[A].见:张义刚,编.有机地球化学论文集[C].北京:地质出版社, 1987. 26~59
Zhang Yigang. Discrimination of natural gas by carbon isotope means[A]. In: Zhang Yigang, ed. Organic geochemistry collection[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 26~59
- 12 刘文汇,刘全有,徐永昌,等.天然气地球化学数据的获取及应用[J].天然气地球科学, 2003, 14(1): 21~29
Liu Wenhui, Liu Quanyou, Xu Yongchang, et al. Collection and application of natural gas geochemical data[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(1): 21~29
- 13 卢新卫,金章东.前馈神经网络的岩性识别方法[J].石油与天然气地质, 1999, 20(1): 82~84
Lu Xinwei, Jin Zhangdong. Method of lithologic recognizing based on feedforward neural network[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 82~84

(编辑 李军)