

文章编号: 1006-6616(2004)02-0179-09

川北阆中地区大安寨段构造应力场 与油气成藏预测

操成杰¹, 周新桂¹, 舒能益², 鄢彬², 罗国仕², 邢振辉³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中石化西南分公司, 四川 阆中 637400; 3. 石油大学(北京), 北京 102249)

摘要: 在构造分析的基础上, 对川北阆中地区大安寨段中生代以来构造应力场基本特征进行研究, 利用构造应力场驱油理论和方法, 进行大安寨段油气成藏预测的尝试, 进而指明了现今有利的油气分布地区, 为川北阆中地区油气滚动勘探提供参考依据。

关键词: 构造应力场; 有限元; 油气成藏预测

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

0 前言

川北阆中地区(图1)大安寨油气藏是中薄层状生物介屑灰岩裂缝性油气藏, 其局部构造位于川中隆起向川北拗陷延伸的一个低幅度的鼻状隆起带上。区内构造是在印支期后的川北NEE向隆起背景上经多期构造应力场作用, 形成的一系列走向呈EW、SW~NE和SE~NW向的短轴状、鼻状和箱状平缓褶皱(图2)。

区内地层自下而上沉积了下侏罗统自流井组、中侏罗统千佛崖组、下沙溪庙组、上沙溪庙组、上侏罗统遂宁组、蓬莱镇组、下白垩统剑门关组等。

川北阆中地区紧临川北拗陷, 是川中隆起向川北拗陷延伸的斜坡部位, 因此是油气运移的有利指向区。同时, 区内大安寨段黑色页岩也是有利的烃源岩, 油气在上沙溪庙后期开始成熟, 到蓬莱镇期末进入最大成油期^[1]; 构造继承性发育, 圈闭形成较早, 后期构造破坏弱, 盖层条件好, 因此生储盖相匹配有利于油气成藏。

1 构造运动与构造应力场基本特征

关于区内构造运动时期的划分, 前人认为侏罗纪沉积以来四川盆地经历了四次较大的构

收稿日期: 2004-05-26

基金项目: 中石化西南分公司科技攻关项目(编号: GJ-22-0309)

作者简介: 操成杰(1967—), 男, 高级工程师, 构造地质学专业博士研究生, 从事石油地质、构造地质及构造应力场研究。地址: 北京市海淀区民族大学南路11号地质力学研究所; 邮编: 100081; 电话: (010) 82324127; E-mail: caocj@sina.com。

造运动^[1-4]，一般可分为燕山旋回、喜马拉雅早期旋回、喜马拉雅晚期旋回和新构造期间歇性上升运动。

晚侏罗世的燕山运动在四川盆地表现明显，使盆地再次上隆，这是中生代陆相盆地形成以来，继晚印支运动之后的又一次比较重要的构造变动。喜马拉雅旋回至少有两次重要的构造运动。早喜马拉雅运动发生在新近纪以前，这是一次影响极其深远的构造运动，是四川构造盆地和局部构造形成的主要时期，使南华纪至古近纪以来的沉积盖层全面褶皱，从此盆地的构造格局基本定型。晚喜马拉雅运动发生在新近纪以后、第四纪以前，这在川西表现得十分清楚，大邑砾岩有很强烈的构造变动就是这次运动的证据。经过这次运动，早喜马拉雅期形成的构造进一步得到加强和改造，最终定型构成现今盆地的构造面貌。第四纪以来，新构造运动仍在发展，除龙门山前以沉降为主外，其余均为间歇性上升运动，接受新的剥蚀夷平。

从区域构造形迹也可以看出，四川盆地主要发育三组构造（图3）：一组为集中发育于盆地东部和西部的 NNE 向构造（褶皱和断层），一组为主要分布于盆地中部的近 EW 向构造，一组为主要分布于盆地南部和北部的 NW 向构造。盆地东北部的 NW 向构造发育，主要受大巴山逆冲、相对挤压，从而形成了由 SN ~ NW ~ EW 向组成的大巴山弧形构造。从构造相互关系来看，NNE 向构造分为早、晚两期，早期的 NNE 向构造形成最早；NW 向构造为晚期 NNE 向和近 EW 向构造所切割，因此形成居次；而近 EW 向构造又早于晚期 NNE 向构造。

从阆中地区大安寨段局部构造形迹来看，其分布规律几与区域构造形迹展布规律相一致（图2）。一系列走向呈 EW、SW ~ NE 和 SE ~ NW 向的短轴状、鼻状和箱状平缓褶皱，表明侏罗纪沉积以来区内亦经历了四次较大的构造运动。

(1) 侏罗纪燕山构造运动。依据构造形迹分析，区域应力场最大应力方向约为 SEE，形成了早期 NNE 向褶皱。

(2) 白垩纪末至古近纪四川构造运动^[5,6]。依据构造形迹分析，区域应力场最大主压应力方向约为 SWW，新形成的 NW 向逆断层和褶皱，复合、叠加在早期形成的 NNE 向构造之上。

(3) 新近纪喜马拉雅构造运动。依据构造形迹分析，区域应力场最大主压应力方向为近 SN 向，形成的近 EW 向构造复合、叠加在早期形成的 NNE 向和 NW 向构造之上。

(4) 第四纪以来新构造运动。依据震源机制解^[7,8]等资料，川北地区区域应力场最大主

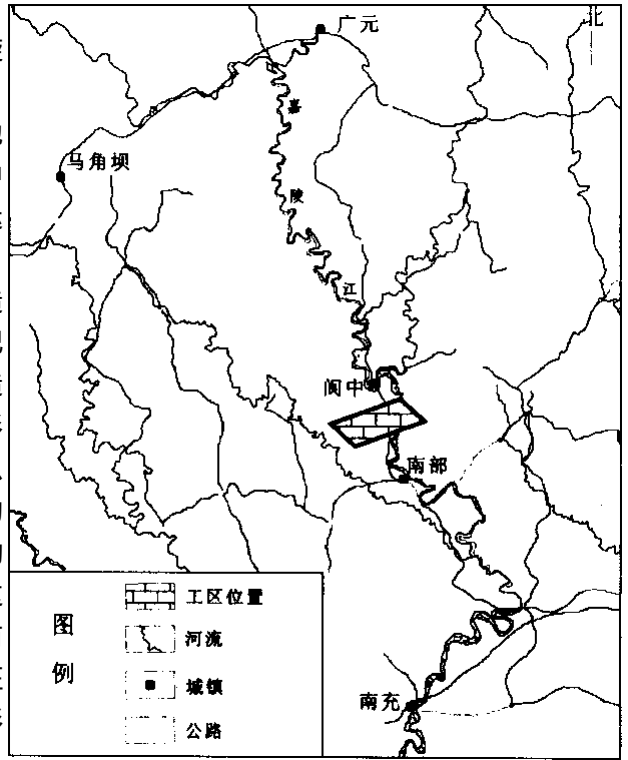


图1 工区位置示意图

Fig.1 Work area Location map

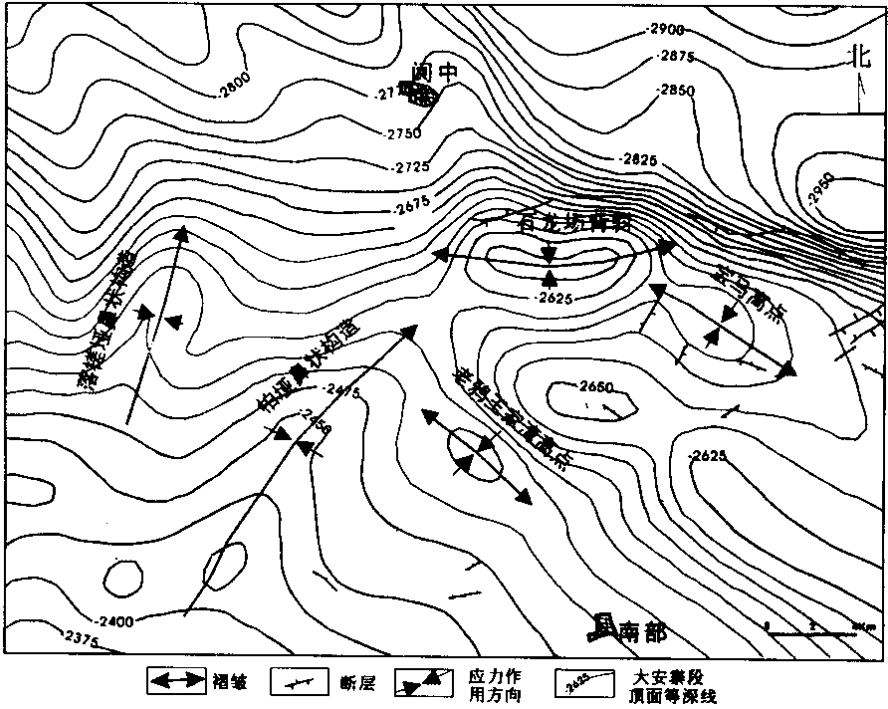


图 2 川北阆中地区大安寨段构造形迹分析图

Fig.2 Analysis of the Da'anzhai tectonic features in Langzhong , Sichuan

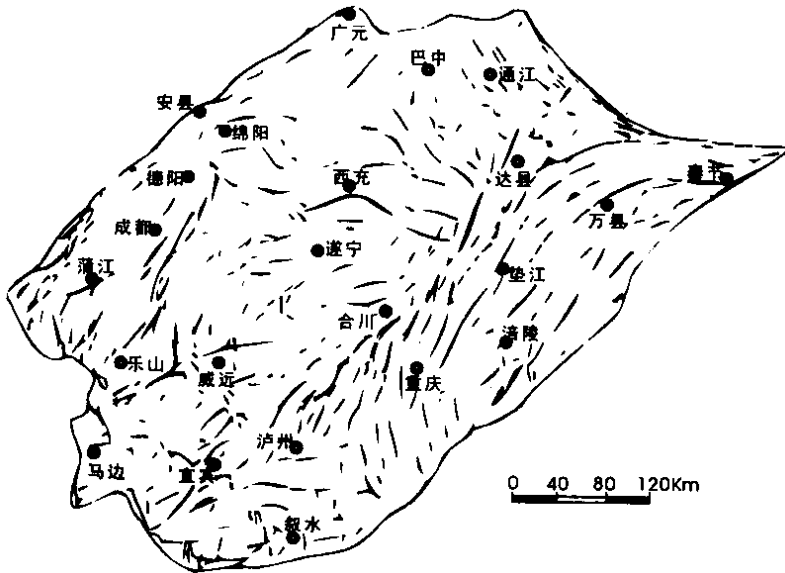


图 3 四川盆地构造展布特征图 (郭正吾改编, 1996)

Fig.3 Features of tectonic distribution in the Sichuan basin (modified from Guo Zhengwu , 1996)

压应力方向约为 NWW 向, 形成了晚期 NNE 向断层和褶皱, 复合、叠加在早期形成构造之上。

3 油气成藏预测

油气成藏与构造应力场的作用密切相关, 油气成藏的有利区域与平均应力的分布有较好的拟合关系^[9]。本文采用二维线弹性有限元^[10~15]模型来计算区内不同地质时期构造应力场平均应力参数; 模型及有限单元网格剖分如图 4; 区域应力大小自声发射实验^[16]测取(表 1); 岩石力学参数通过样品测试综合取值(表 2)。

表 1 声发射实验结果表*

Table 1 Experimental results of the rock acoustic emission

井号	地层时代	试样岩性	试件数	深度	现今地应力 σ_1 (有效)	各期古构造应力最大 主应力有效值 (MPa)	记忆的主要古 构造运动期次
ch60	凉高山组一段	灰色岩屑粉砂岩	8 件	2921.93	43.9	63.9, 124.1, 135.7	3

续表 1 (原始数据之一)

试样编号	古今应力记忆值测值 (MPa)									
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 70	70 ~ 80	80 ~ 90	90 ~ 100
S1-1zf	—	—	20.2	—	40.4	53.1	—	—	—	—
S1-1zz	—	19.7	—	—	42.9	53.1	60.6*	73.8	—	99.5
S1-2zc	—	15.2	—	30.3	46.5	58.1	—	—	—	—
S1-2zf	—	—	21.2	35.4	41.4	55.6	60.6	78.8	—	93.5
S1-3zc	—	—	—	—	—	—	—	75.8*	—	93.0
S1-3zf	—	—	—	—	42.4*	—	—	—	—	—
S1-4zc	—	—	23.2	—	44.5	—	65.7	—	83.9	98.0
S1-5zc	—	—	—	—	44.0	50.5*	60.1	—	—	—
S1-5zf	—	—	—	—	—	—	—	—	88.9*	—
S1-6zc	—	—	—	30.3	—	—	66.2	79.8	—	—
S1-6zf	—	15.2	—	32.3	45.0	—	—	79.8	—	91.4
S1-7zc	—	16.7*	—	—	43.5*	—	62.7	—	88.9	—
S1-7zf	—	11.6	25.3	—	46.0	56.1	68.2*	73.3*	89.9	—
S1-8zc	—	—	24.8	—	41.4*	—	65.2*	71.2	86.9	—
S1-8zf	—	14.1	—	—	49.0*	—	65.7	—	—	94.0
可出现记忆应力值个数	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
实测得记忆应力值个数	0	6	5	4	12	6	9	7	5	6
记忆出现率					80%					
平均值					43.9					

* 地质力学研究所声发射实验室丁原辰研究员测取, 2003 年 7 月。

续表 1 (原始数据之二)

试样编号	古今应力记忆值测值 (MPa)								σ_c /MPa
	100 ~ 110	110 ~ 120	120 ~ 130	130 ~ 140	140 ~ 150	150 ~ 160	160 ~ 170	170 ~ 180	
S1-1zf	—	114.2*	—	133.4	145	—	163.2*	—	221.3
S1-1zz	—	—	120.2*	134.4	—	—	—	—	
S1-2zc	—	110.1	—	135.4*	—	—	—	/	211.7
S1-2zf	—	110.1	122.8	137.9*	141.5	—	—	—	
S1-3zc	—	110.6	—	138.4	—	—	168.8	/	216.2
S1-3zf	102.1*	116.2	127.3*	136.9	147.0	153.1	160.2	/	
S1-4zc	—	—	122.3*	132.4	141.0	—	—	178.9	222.3
S1-5zc	—	—	121.3	136.9*	—	—	169.3*	—	
S1-5zf	—	—	128.3	—	—	154.6	164.7	—	216.2
S1-6zc	—	—	—	—	148.0	155.6*	165.7	/	
S1-6zf	—	—	—	136.4	143.0*	—	—	170.8	218.3
S1-7zc	105.1	—	123.3	—	—	—	167.7	/	
S1-7zf	109.6	—	121.8	133.4	149.0	—	166.7	—	219.3
S1-8zc	—	117.7	127.8	—	—	—	168.8	178.9	
S1-8zf	103.6	—	126.3	137.4*	—	—	164.2	174.3	237.5
可出现记忆 应力值个数	15	15	15	15	15	15	15	10	
实测得记忆 应力值个数	4	6	10	11	7	3	10	4	
记忆出现率			67%	73%			67%		
平均值			124.1	135.7			165.9		

*地质力学研究所声发射实验室丁原辰研究员测取, 2003 年 7 月。

表 2 川北阆中地区大安寨段岩石力学参数表***
Table 2 Parameters of rock dynamics in Langzhong, Sichuan

岩石类型	密度 (g/cm^3)	弹性模量 (MPa)	泊松比
I 类介屑灰岩 (灰岩含量 > 80%)	2.66	22000	0.22
II 类介屑灰岩 (灰岩含量 > 60%)	2.67	18000	0.24
III 类介屑灰岩 (灰岩含量 > 50%)	2.74	14800	0.26
IV 类介屑灰岩 (灰岩含量 > 40%)	2.79	12000	0.28
泥页岩 (灰岩含量 < 40%)	2.83	8800	0.29

***岩石力学实验由中科院地质与地球物理所开放实验室完成, 2003 年 8 月。

根据区内现今平均主应力与油气藏的拟合结果来看, 平均应力相对集中的地方利于油气成藏; 因为生物灰岩相对泥质岩较硬而脆, 一旦应力集中, 达到破裂极限时导致岩层破裂, 应力释放后油气汇聚形成裂缝性油气藏。依图 5 可以推测, 燕山期形成的油气主要聚集于 NW 向展布的介屑滩上, 向 ch46—sh15 井和 sh16—ch47 井两个高带上聚集。按图 6 推测, 四川期油气继续向介屑滩高处汇聚, 主要集中于 NE 向柏垭—石龙场一带, 宝马和老

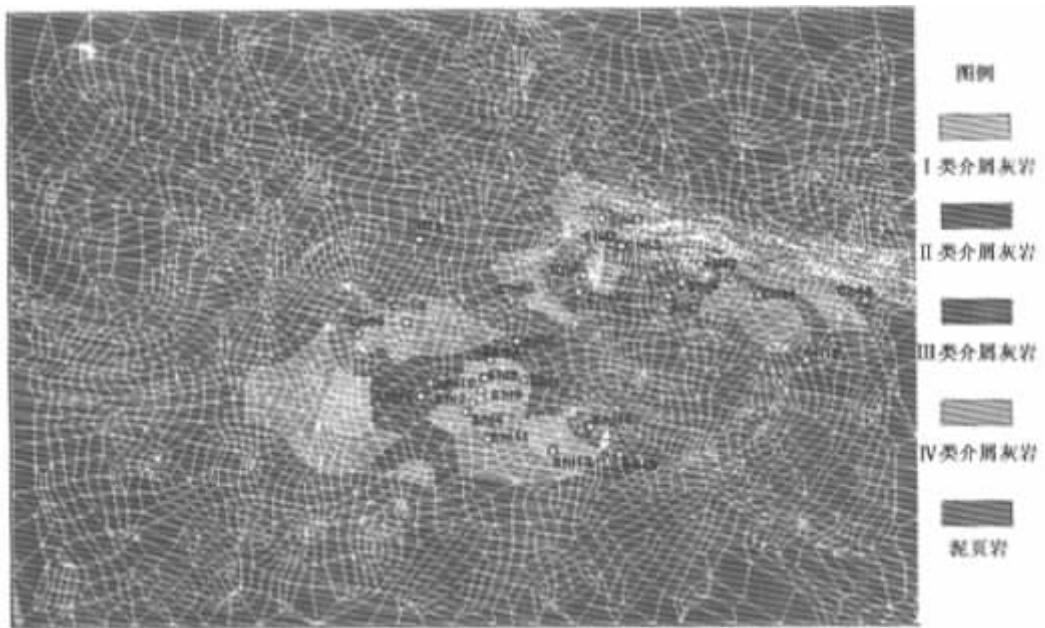


图 4 川北阆中地区大安寨段构造模型及网格化

Fig.4 Tectonic model and meshing of the Da'anzhai Member in Langzhong , Sichuan

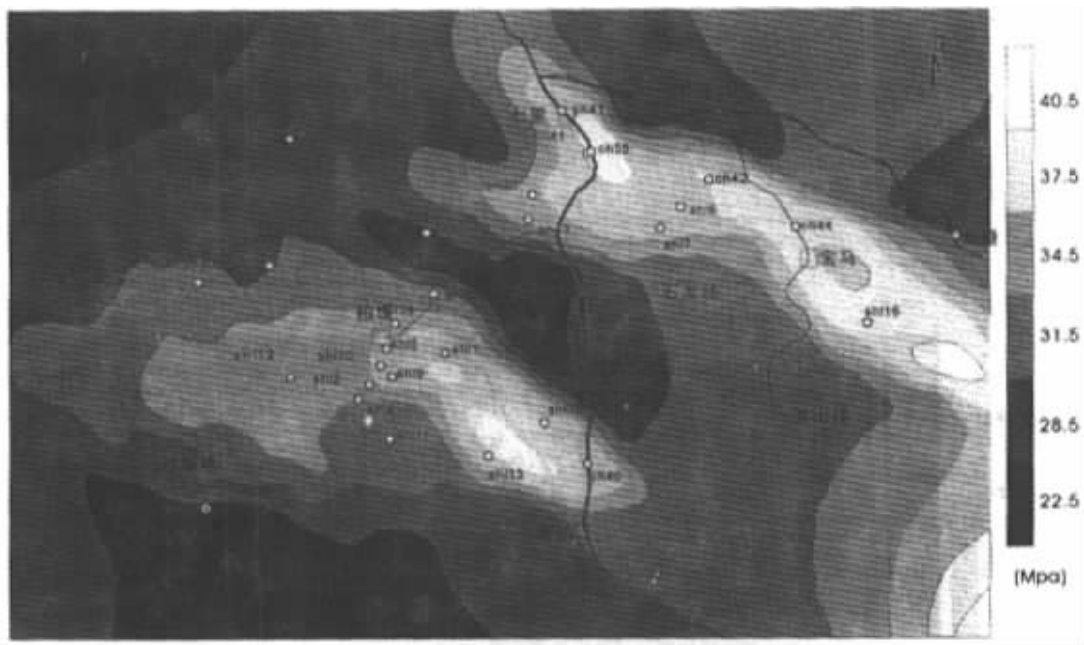


图 5 川北阆中地区燕山期大安寨段平均应力等值线与油气聚集趋势图

Fig.5 Isoline map of Yanshanian average stress in the Da'anzhai Member in Langzhong ,

Sichuan and trend map of oil-gas accumulation (average stress unit : MPa)

(平均应力单位 : MPa。施加最大主应力方向为 SE120°, 应力大小依区域构造运动强度^[1], 选取声发射试验结果有效值中的 63.9MPa)

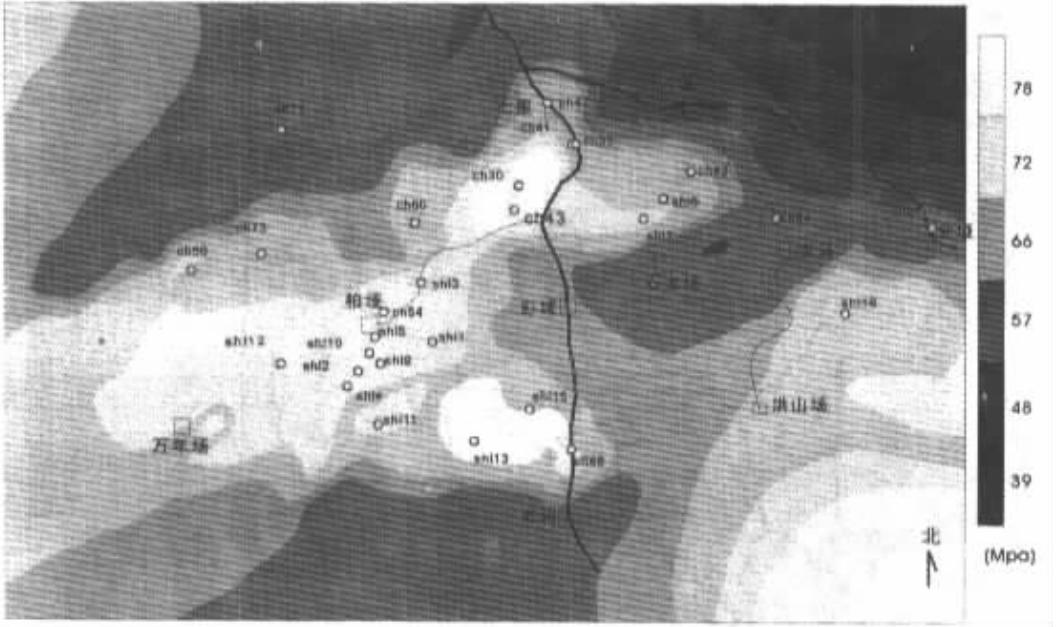


图 6 川北阆中地区四川期大安寨段平均应力等值线与油气聚集趋势图

Fig.6 Isoline map of the Sichuanian average stress of the Da'anzhai Member in Langzhong , Sichuan and trend map of oil-gas accumulation (average stress unit : MPa) (平均应力单位 : MPa。施加最大主应力方向为 SW235° , 应力大小依区域构造运动强度^[1] , 选取声发射试验结果有效值中的 135.7MPa)

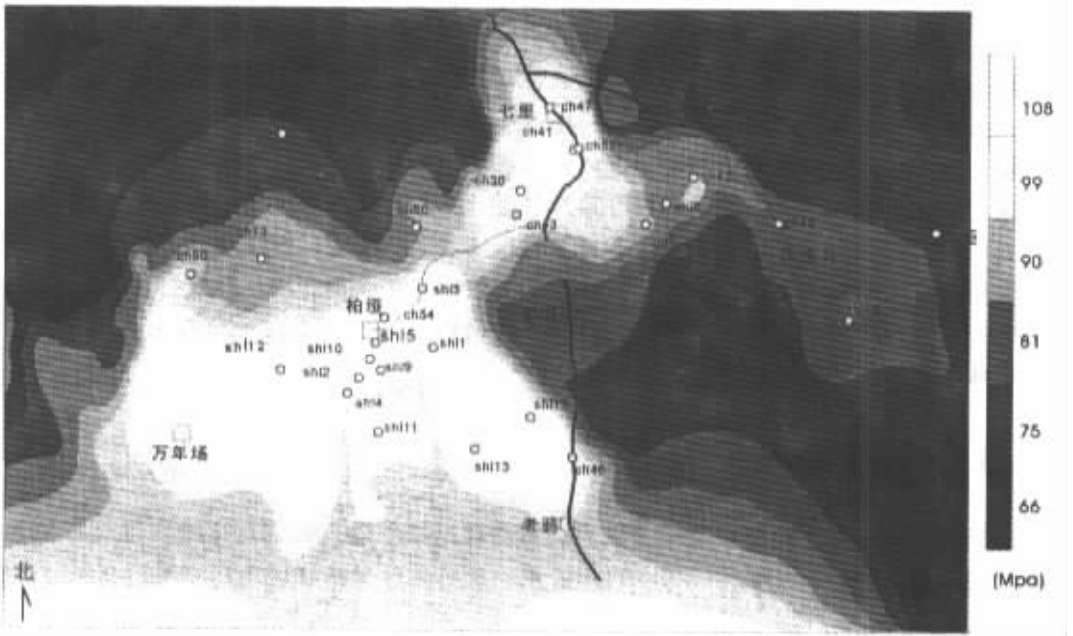


图 7 川北阆中地区喜马拉雅期大安寨段平均应力等值线与油气聚集趋势图

Fig.7 Isoline map of the Himalayan average stress of the Da'anzhai Member in Langzhong , Sichuan and trend map of oil-gas accumulation (average stress unit : MPa) (平均应力单位 : MPa。施加最大主应力方向为 SN 向 , 应力大小依区域构造运动强度^[1] , 选取声发射试验结果有效值中的 124.1MPa)

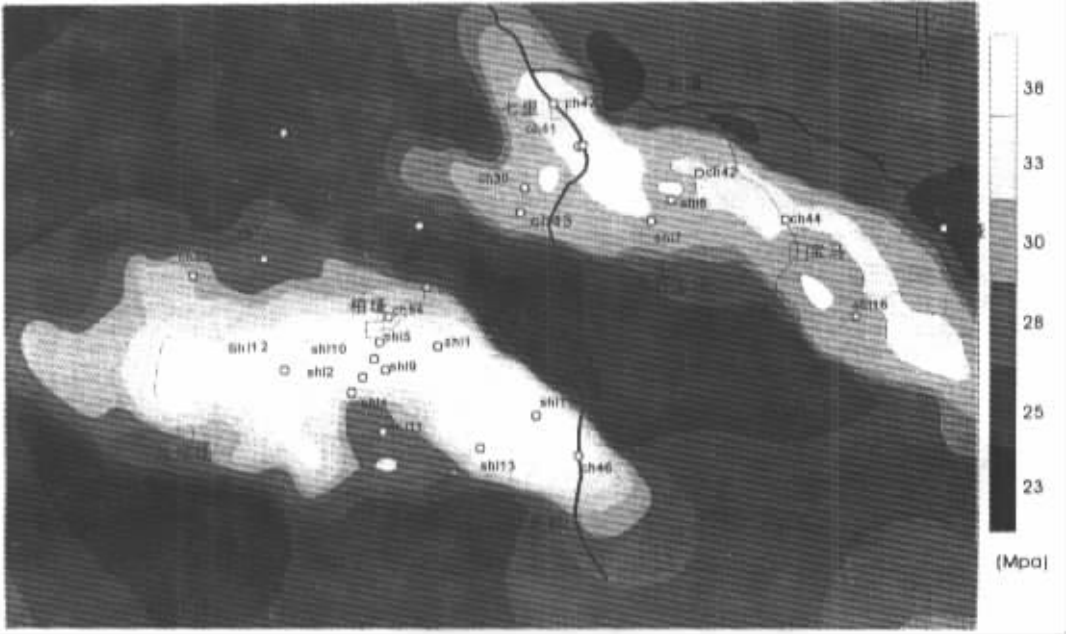


图 8 川北阆中地区现今大安寨段平均应力等值线与油气富集区预测图

Fig.8 Isoline map of the present average stress of the Da'anzhai Member in Langzhong, Sichuan and trend map of oil-gas accumulation (average stress unit :MPa)
(平均应力单位 : MPa。施加最大主应力方向为 NW 向, 应力大小依区域构造运动强度^[1], 选取声发射试验结果有效值中的 43.9MPa)

鸦等也是油气聚集的有利部位。据图 7 推测, 喜马拉雅期油气再次向介屑滩高处汇聚, 主要集中于柏垭、石龙场、老鸦一带。图 8 与图 5 十分相似, 现今油气主要分布在柏垭、老鸦、石龙场、宝马一带。该期构造运动强度较弱, 在 NW 向主压应力作用下, 走向与最大主压应力方向呈小角度相交的断裂及裂缝开启性较好, 为油气运移和聚集提供了良好的通道及空间。因此, 生物介屑滩相沉积和断裂构造双重控制着油气聚集, 继承性发育的局部构造高点也是生物滩发育的有利部位, 后期成岩作用和构造应力场叠加作用, 在生物灰岩相中形成相对集中的裂缝系统, 成为油气成藏的良好条件。而构造应力场不仅是裂缝系统形成的主因, 也是驱动油气聚集的主要动力。

3 结论与建议

通过现有油气井来检验, 用构造应力场驱油理论指导进行川北阆中地区油气成藏预测, 其拟合结果较为理想。从预测结果上可以看出, 宝马地区和落槎垭地区 (见图 2) 仍有较大的滚动勘探潜力。

致谢: 在课题研究过程中, 得到了王小凤老师、邓乃恭老师和武红岭研究员的热情指导和帮助, 在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 中国石油地质志 (卷十) 四川油气区 [M]. 石油工业出版社, 1989.
- [2] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集 [M]. 地质出版社, 1992.
- [3] 汪泽成, 赵文智, 张林, 等. 四川盆地构造层序与天然气勘探 [M]. 地质出版社, 2002.
- [4] 刘德良, 宋岩, 薛爱民, 等. 四川盆地构造与天然气聚集区综合研究 [M]. 石油工业出版社, 2000.
- [5] 李春昱. 四川运动及其在中国之分布 [J]. 地质论评, 1950, 15 (4 - 6): 135 ~ 156.
- [6] 万天丰. 中国中生代板内变形与构造应力场 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (3): 13.
- [7] 杜兴信, 邵辉成. 由震源机制解反演中国大陆现代构造应力场 [J]. 地震学报, 199, 21 (4): 354 ~ 360.
- [8] 崔效锋, 谢富仁. 利用震源机制解对中国西南及邻区进行应力分区的初步研究 [J]. 地震学报, 199, 21 (5): 513 ~ 522.
- [9] 武红岭, 王小凤, 马寅生, 等. 油田构造应力场驱动油气运移的理论和方法研究 [J]. 石油学报, 1999, 20 (5): 7 ~ 12.
- [10] J. FINE 著, 辛洪波译, 有限元法在岩石力学中的应用 [M]. 冶金工业出版社, 1979.
- [11] 曾联波, 肖淑蓉, 罗安湘. 陕甘宁盆地中部靖安地区现今应力场三维有限元数值模拟及其在油田开发中的意义 [J]. 地质力学学报, 1998, 4 (3): 58 ~ 63.
- [12] 邓军, 方云, 周显强, 等. 山东胶西北金矿带成矿构造应力场反演及其控矿作用 [J]. 中国区域地质, 1995, 3 总 54 : 252 ~ 260.
- [13] 王成金, 王义强. 构造应力场控矿原理及控矿规律的实验研究 [J]. 地质力学学报, 1995, 1 (2): 28 ~ 34.
- [14] 万天丰著, 古构造应力场 [M]. 地质出版社, 1988.
- [15] 陈忠, 张吉昌, 罗玉庆, 等. 有限元数值模拟在构造裂缝定量预测中的应用 [J]. 特种油气藏, 2001, 8 (1 总 26): 64 ~ 67.
- [16] 孙宝珊, 丁原辰, 邵兆刚等. 声发射法测量古今应力在油田的应用 [J]. 地质力学学报, 1996, 6 (2): 11 ~ 17.

TECTONIC STRESS FIELD IN THE DA'ANZHAI MEMBER OF THE LANGZHONG AREA , NORTHERN SICHUAN , AND FORECAST OF PETROLEUM ACCUMULATIONS

CAO Cheng-jie¹, ZHOU Xin-gui¹, SHU Neng-yi², YAN Bin², LUO Guo-shi², XING Zhen-hui³

(1. Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 ;

2. Southwest Branch , SINOPEC , Langzhong 637400 , Sichuan ; 3. University of Petroleum , Beijing 102249)

Abstract : On the basis of a tectonic analysis , the authors have studied the basic characteristics of the tectonic field since the Mesozoic in the Da'anzhai Member of the Langzhong area , northern Sichuan . An attempt has been made to forecast petroleum accumulations in the Da'anzhai Member using the theory and method of oil expulsion , and present favorable areas of petroleum occurrence have been suggested . These provide reference for rolling petroleum exploration in the Langzhong area , northern Sichuan .

Key words : tectonic stress field ; finite element ; forecast of petroleum accumulation