

南川区块断层精细解释研究

金晓波

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院,江苏 南京 210011)

摘要:为进一步落实南川区块断层展布特征,针对南川构造特征,采用“三层楼”构造模式进行该区块的构造精细解释,结合分频融合技术、倾角相干技术、曲率技术、构造熵技术、AFE技术、倾角曲率等技术预测断层分布范围和展布方向,应用多属性体进行断层解释,实施三维空间断层断面解释质量控制,提高了断层解释的精度。在全区解释闭合了大小断层96条,为油气的勘探开发提供了理论依据。

关键词:断层精细解释;构造模式;多属性体

中图分类号:TE31 **文献标识码:**A

Study on the fine fault interpretation in Nanchuan district

Jin Xiaobo

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, East China Company, SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 210011, China)

Abstract: In order to further determine the distribution characteristics of the faults in Nanchuan district, we adopted the "three stories" structure for the fine structure interpretation, and combined with the technology such as the frequency division fusion, inclination of coherent, curvature, structure entropy, AFE and dip angle of curvature to predict the distribution of the fault. The application of the multiple attributes for the fault interpretation and the quality control of the fault section interpretation in 3D space improved the accuracy of the fault interpretation. There were 96 faults interpreted and closed in the district. It provides theoretical basis for oil and gas exploration and development.

Key words: fine fault interpretation, structure model, multiple attribute block

南川区块主体位于武陵褶皱带。该区构造演化经历了多期构造运动,其中以加里东—海西期、印支期、燕山—喜山期构造作用影响最大^[1]。在加里东—海西期,构造活动方式以升降、拉张为主,区域上呈现隆坳相间的古构造格局,沉积特点表现为被动大陆边缘稳定的旋回性坳陷沉积,发育广布的海相碳酸盐岩夹碎屑岩为主的沉积建造^[2];印支期大陆碰撞,由张性环境转向挤压,四川盆地由被动大陆边缘转入前陆盆地沉积;晚燕山—喜山期,川东南地区受SE—NW向应力作用,在持续挤压和走滑的作用方式下,形成背、向斜相间的“槽—挡”式构造特征,平面上呈“S”形或弧形复式背、向斜褶皱^[3]。

1 构造模式

纵向上,存在四套滑脱层相互叠置,分别是中下三叠统嘉陵江组至雷口坡组的膏岩层、志留系泥页岩和砂质泥岩层、中下寒武统中的泥质岩和膏岩层、基底变质岩,边界断层控制局部构造格局,其余断层多数以滑脱层为界,隐伏其中,形成了“三层楼”的构造模式^[4](图1)。上构造层表现为对、背冲构造样式,中构造层表现为断展褶皱;下构造层表现为叠瓦状单冲构造样式。

志留系—寒武系断裂系统与二叠系及以上地层

收稿日期:2017-11-09。

作者简介:金晓波(1990—),女,助理工程师,构造精细解释研究。

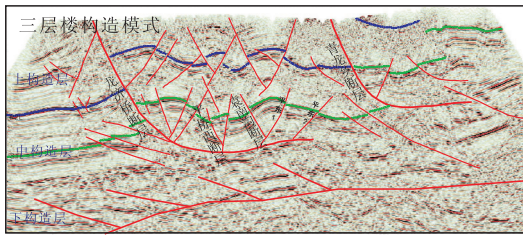


图1 过“JY194-3井”剖面解释
Fig. 1 Profile interpretation including well JY194-3

断裂系统主要发育北北东向逆断裂,局部地区受应力影响,偶见断裂往北北西向扭转。北北东向断裂如龙济桥、青龙乡及大千等断层为南东—北西向挤压伴生断裂,断距大、延伸长,断开层位多,控制研究区的局部构造格局,后期演化过程中,其周缘亦逐步衍生出相关伴生和反冲断层,断距相对较小,延伸相对较短;北北西向的断层受川东弧形构造带影响,主要是东西向区域构造应力挤压形成。

寒武系以下地层断裂系统断层发育,从地震剖面上依据同相轴的错断易于识别,断裂性质为逆断层,一般为上陡下缓。多为早期形成,向上终止于寒武系滑脱层系,所以对工区志留系页岩气保存没有影响。

结合构造模式及典型剖面分析(图2),综合认为研究区构造样式自西往东具有分区分带、隆凹相间的分布模式,分别发育逆冲叠瓦断层、背冲式逆断层、对冲式逆断层、Y字型逆断层以及单条逆冲断层,东部靠近齐岳山断裂以冲断裂为主,西部多以盖层滑脱断裂、“Y”字型及反Y字型断裂组合为主。受断裂组合的影响,研究区平桥、东胜等主体构造带多呈现对称型背斜、陡倾背斜、复式背斜等样式,而靠近齐岳山断裂的东部地区则表现出了陡前带的特征,形成凸—凹结构和反背背斜。

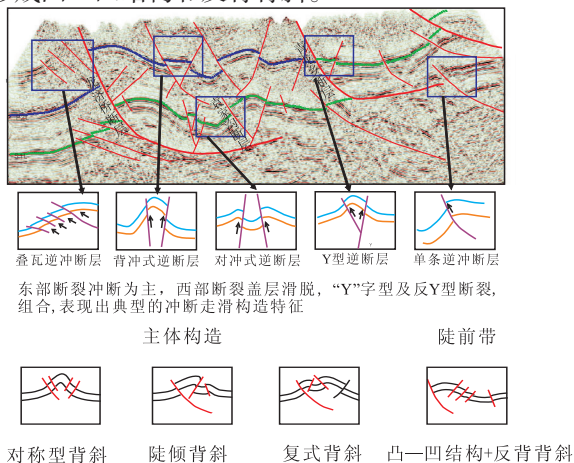


图2 南川工区构造样式
Fig. 2 Structure style of Nanchuan work area

2 叠后地震正演模拟

根据南川地区不同构造变形特征(断层、扭曲、褶皱)进行实际环境下波动方程模拟正演,研究地震几何属性技术(相干、不同尺度曲率)对地层不同程度变形的预测能力,指导不同尺度裂缝的分级及半定量预测。

根据目标页岩层段的纵向分布特征及主要过井剖面的构造特征,设计了正演地质剖面,在其基础上计算高精度几何属性并进行优选,得到最大曲率属性可以比较好地显示断层及断裂。

对于较为陡立的褶皱,曲率属性可以清楚地揭示,且随着褶皱变得宽缓,曲率异常有逐渐变弱的趋势(图3);

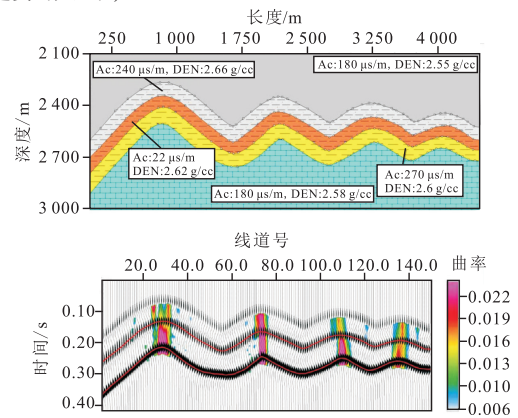


图3 陡立褶皱正演曲率属性正演模拟
Fig. 3 Forward modeling of positive curvature properties of vertical fold

对于断距大于10 m以上断层,曲率属性有较好的识别能力,且随着断距的增大,曲率异常更加明显(图4)。

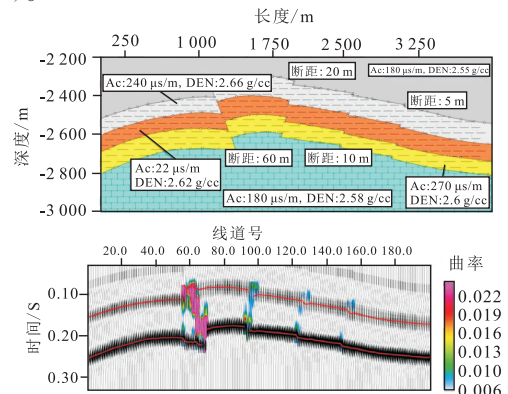


图4 不同断距断层曲率正演模拟
Fig. 4 Forward modeling of fault curvature of different fault displacement

3 叠后地震属性优选

随着地震几何属性的发展,地震几何属性以应用效果好、使用简单、计算速度快、受资料条件限制小等特点,很快受到业界的追捧,成为裂缝预测的主流技术^[5]。在地震几何属性方面,采用全局优化扫描算法计算的地震曲率属性进行裂缝定性表征。地震几何属性有十几种可以进行断裂成像,这些属性克服了常规几何属性精度低,倾角方位角扫描不准确的缺点,不仅能实现高精度的大断裂成像,对于小断裂和微断裂同样能得到高精度的成像结果。

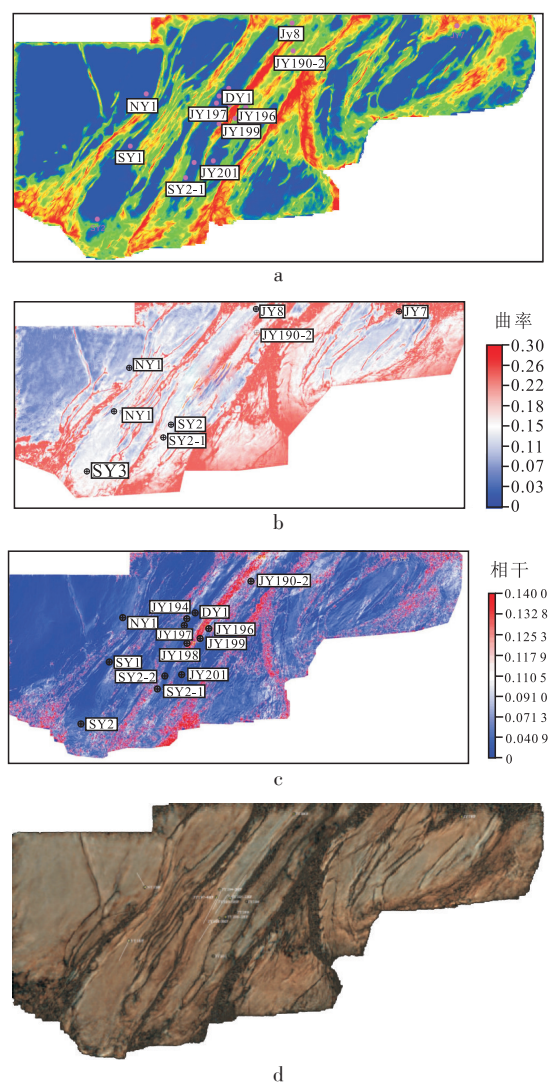
根据利用叠后地震数据计算的几何属性可以看出:宏观上,多种不同的几何类属性可以从不同角度反应地震轴错动或弯曲的程度,多个属性均可以较好地显示断层的发育位置^[6]。南川区块目的层龙马溪组页岩底(S11)断层沿层预测结果(图5),主要利用的叠后断层预测技术包括 AFE 断层加强技术(图5a)、曲率技术(图5b)、相干技术(图5c)、分频融合技术(图5d)等技术。

从图5中可以看出,该区断层较发育,其中主要控制构造单元的断层有:龙济桥断层、袁家沟断层、平桥西断层、平桥东断层、白沙断层等,走向以北东向为主,这些断层主要是受到燕山期自南东向北西的挤压应力而形成。个别断层走向是北北西(大千断层),这组断层的形成一方面是受南东—北西向的挤压应力作用,另一方面则是在川东南的帚状构造带形成过程中受到南北向的次应力作用,南东—北西应力与南北向应力在该地区相互影响形成左旋挤压应力,使得部分断层形成左旋滑脱断层。应用多属性体进行断层解释,实施三维空间断层断面解释质量控制,提高了断层解释的精度,在全区解释闭合了大小断层96条。

4 应用效果分析

在“三层楼”构造模式的基础上,应用叠后正演模拟和属性优选对南川区块开展了断层精细解释研究,断裂特征如下。

南川地区共解释断层96条,其中上断裂(T1f)20条,下断裂(寒武系 ϵ)10条,中断裂(S11)解释断层66条。上断裂断层都是后期形成的,主要断开地层是



a. AFE 技术预测结果; b. 曲率技术预测结果; c. 相干技术预测结果; d. 分频融合技术预测结果

图5 五峰—龙马溪组页岩底(S11)断层沿层预测结果
Fig. 5 Prediction results of the bedrock along the fault layer in Wufeng-Longmaxi formation (S11)

嘉陵江组—韩家店组,没有断至志留系龙马溪组,对工区油气保存没有影响。下断裂断层是早期形成的,主要断开地层是寒武系—震旦系,没有断至志留系龙马溪组,所以对工区油气保存没有影响。中断裂主要断开地层是小河坝组—上寒武系,对油气运移和成藏起到了不同程度的控制作用,根据前人研究成果,同时参考其它地区断层对油气破坏性评价结果,建立了南川地区断层分级、分类标准,对工区内的断层进行了分类(共分为四级),并对 A 级、B 级、C 级、D 级断层进行了统计分析(表1),断层基本要素表见表2。工区内目的层龙马溪组的断裂系统如图6所示。

表1 南川三维工区断层分类标准
Table 1 Classification standard of 3D fault in Nanchuan area

断层分类	断开地层	平均断距/m	油气保存条件影响
A级	断开多套地层	>500	保存条件差
B级	断穿志留系	200~500	不利于油气保存
C级	断穿志留系	100~200	保存条件有一定影响
D级	未断穿志留系	<100	保存条件无影响

A级断层:最大垂直断距大于500 m,区域延伸距离大于8 km,断开多套层位且断穿志留系,这类断层8条;

B级断层:最大垂直断距200~500 m,区域延伸距离大于5 km,断开多套层位且断穿志留系,这类断层13条;

C级断层:最大垂直断距100~200 m,区域延伸距离大于3 km,断穿志留系,这类断层共16条;

D级断层:最大垂直断距小于100 m,区域延伸距离小于3 km,未断穿志留系,多为层间断层,这类断层共15条。

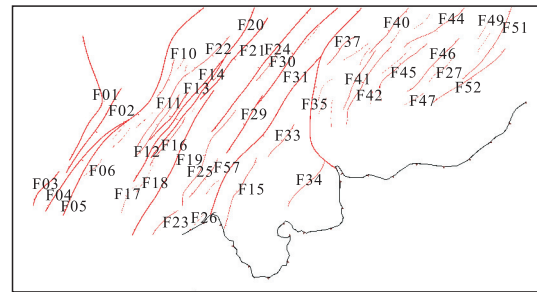


图6 南川地区TS11反射层断裂系统分布

Fig. 6 Fault distribution of the reflection layer TS11 of Nanchuan area

5 结语

1) 综合正演模拟结果,曲率属性主要用来识别断距大于10 m的断层,对地震同相轴的错断、弯曲、

表2 断层基本要素
Table 2 Basic element of fault

序 断层号	断层名称	性质	走向	倾向	最大垂直断距/m	延伸距离/km	断开地层	序 断层号	断层名称	性质	走向	倾向	最大垂直断距/m	延伸距离/km	断开地层
1	F01	逆断层	NE转NW	SE转NE	300	13.8	小河坝组—上寒武	27	F27	逆断层	NE	SE	150	3.1	韩家店组—上寒武
2	F02	逆断层	NE	SE	160	9.2	小河坝组—上寒武	28	F28	逆断层	NE	SE	50	1.3	小河坝组—奥陶
3	F03	逆断层	NE	SE	100	4.5	小河坝组—上寒武	29	F29	逆断层	NE	SE	330	6	韩家店组—上寒武
4	F04	逆断层	NE	SE	510	13.1	小河坝组—中寒武	30	F30	逆断层	NE	SE	150	4	韩家店组—上寒武
5	F05	逆断层	NE	SE	700	24.1	嘉陵江组—中寒武	31	F31	逆断层	NE	SE	320	11.5	韩家店组—上寒武
6	F06	逆断层	NE	SE	100	2.6	小河坝组—上寒武	32	F32	逆断层	NE	SE	2 600	18.3	嘉陵江组—中寒武
7	F07	逆断层	NE	SE	10	1.8	小河坝组—奥陶	33	F33	逆断层	NE	SE	40	3.5	小河坝组—上寒武
8	F08	逆断层	NE	SE	50	2	韩家店组—上寒武	34	F34	逆断层	NE	SE	100	5	龙马溪组—上寒武
9	F09	逆断层	NE	SE	50	2.1	韩家店组—上寒武	35	F35	逆断层	NW转NE	NE转SE	1 050	19	嘉陵江组—中寒武
10	F10	逆断层	NE	SE	160	3.5	龙马溪组—奥陶	36	F36	逆断层	NE	SE	20	2	小河坝组—上寒武
11	F11	逆断层	NE	SE	170	8	小河坝组—上寒武	37	F37	逆断层	NE	SE	30	4	龙马溪组—上寒武
12	F12	逆断层	NE	SE	370	6.5	龙马溪组—上寒武	38	F38	逆断层	NE	SE	30	3	龙马溪组—上寒武
13	F13	逆断层	NE	SE	280	5.6	小河坝组—上寒武	39	F39	逆断层	NE	SE	80	2	龙马溪组—上寒武
14	F14	逆断层	NE	SE	250	14	小河坝组—上寒武	40	F40	逆断层	NE	SE	240	6	小河坝组—上寒武
15	F15	逆断层	NE	SE	30	5.2	韩家店组—奥陶	41	F41	逆断层	NE	SE	200	4	龙马溪组—上寒武
16	F16	逆断层	NE	SE	280	5.3	韩家店组—奥陶	42	F42	逆断层	NE	SE	160	8	龙马溪组—上寒武
17	F17	逆断层	NE	SE	450	3.5	韩家店组—上寒武	43	F43	逆断层	NE	SE	80	4	小河坝组—奥陶
18	F18	逆断层	NE	SE	150	3.2	小河坝组—上寒武	44	F44	逆断层	NE	SE	440	6	韩家店组—上寒武
19	F19	逆断层	NE	SE	780	16.3	韩家店组—上寒武	45	F45	逆断层	NE	SE	240	6	小河坝组—上寒武
20	F20	逆断层	NE	SE	550	17	小河坝组—中寒武	46	F46	逆断层	NE	SE	160	7	小河坝组—上寒武
21	F21	逆断层	NE	SE	270	10	小河坝组—中寒武	47	F47	逆断层	NE	SE	190	2.2	龙马溪组—中寒武
22	F22	逆断层	NE	SE	170	5	小河坝组—上寒武	48	F49	逆断层	NE	SE	120	2	小河坝组—上寒武
23	F23	逆断层	NE	SE	240	3.5	韩家店组—上寒武	49	F50	逆断层	NE	SE	70	2	小河坝组—上寒武
24	F24	逆断层	NE	SE	580	14.5	韩家店组—上寒武	50	F51	逆断层	NE	SE	700	8.3	嘉陵江组—下寒武
25	F25	逆断层	NE	SE	400	10	小河坝组—上寒武	51	F52	逆断层	NE	SE	300	8.4	嘉陵江组—下寒武
26	F26	逆断层	NE	SE	180	3	韩家店组—上寒武	52	F57	逆断层	NE	SE	100	4.2	小河坝组—奥陶

扭动有比较好的识别,但对大范围的宽缓褶皱识别程度较低。

2) 应用多属性体进行断层解释,实施三维空间断层断面解释质量控制,提高了断层解释的精度。

3) 南川区块上断裂断层都是后期形成的,主要断开地层是嘉陵江组—韩家店组,下断裂断层是早期形成的,主要断开地层是寒武系—震旦系,均没有断至志留系龙马溪组,对工区油气保存没有影响。中断裂主要断开地层是小河坝组—上寒武系,对油气运移和成藏起到了不同程度的控制作用。

参考文献

[1] 李伦炯,杨飞,孙传敏,等.渝东南—湘鄂西地区构造运动与志留统页岩气勘探[J].石油天然气学报,2013,35(10):68-71.

[2] 李丰渝,张军,冯兆伟,等. Depth Team Express 速度场建立在不井区的应用[J].内江科技,2012,33(7):152.
 [3] 张文起,徐海霞,李静.孤东垦东地区储层精细构造解释及构造特征分析[J].内蒙古石油化工,2009,19(4):99-101.
 [4] 王明飞,陈超,屈大鹏,等.涪陵页岩气田焦石坝区块五峰组—龙马溪组一段页岩气储层地球物理特征分析[J].石油物探,2015,54(5):613-626.
 [5] 胡伟光,刘珠江,范春华,等.四川盆地J地区志留系龙马溪组页岩裂缝地震预测与评价[J].海相油气地质,2014,19(4):25-29.
 [6] 陆明华,骆璞,姜传芳,等.地震属性技术在页岩裂缝预测中的应用[J].石油天然气学报,2013,35(8):62-64.

(编辑 常燕)

(上接第5页)

合,通过少量地质模型的随机模拟涵盖储量的分布范围,可以定量评价不确定性变量对储量产生的影响,并得到储量的概率累积分布曲线及悲观的(P90)、期望的(P50)和乐观的(P10)储量值,预测储层储量存在的风险及潜力。

3) 渤海Q油田影响地质模型储量的不确定性变量有:平面变差函数、沉积微相百分含量、有效储层下限值、体积系数、油水界面和束缚水饱和度。对储量影响较大的不确定性变量依次为油水界面、束缚水饱和度、变差函数和体积系数。概率储量P90为 $1.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,P50为 $1.19 \times 10^8 \text{ m}^3$,P10为 $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。说明在油田开发的中后期,储层储量不确定风险较小,仍有一定的潜力可以挖掘。

参考文献

[1] 戴危艳,李少华,譙嘉翼,等.储层不确定性建模研究进展[J].岩性油气藏,2015,27(4):127-133.
 [2] 张淑娟,班彦红,熊东方,等.储层随机模拟过程中水道微相几何参数敏感性分析——以二连盆地XX断块为例[J].石油地质与工程,2010,24(5):70-72.
 [3] 段新明,肖红平,李阳,等.随机建模在油气储量计算中的应用[J].油气地质与采收率,2003,10(6):6-8.
 [4] 胡望水,李松泽,曹春,等.应用Petrel进行储量计算的实践与认识[J].复杂油气藏,2012,5(4):5-8.
 [5] 霍春亮,刘松,古莉,等.一种定量评价储集层地质模型不确定性的方法[J].石油勘探与开发,2007,34(5):574-579.
 [6] 王根久,赵丽敏,李薇,等.随机建模中变差函数的敏感性研究[J].石油勘探与开发,2005,32(1):72-75.
 [7] 周游,程时清,张敏.储层建模中变差函数参数的设置[J].西安石油大学学报(自然科学版),2010,25(5):25-32.

[8] 赵斌.地震属性约束定量预测储层参数——以渤海D油田4号砂体为例[J].石油地质与工程,2012,26(3):31-34.
 [9] 魏冬,王宏语,杜羽书,等.地震多属性储层预测技术在辽河滩海东部凹陷的应用[J].油气藏评价与开发,2012,2(2):6-11.
 [10] 高华,高楚桥,胡向阳.莺歌海盆地束缚水饱和度影响因素研究[J].石油物探,2005,44(2):158-159.
 [11] 居宇龙,唐辉,刘伟新,等.珠江口盆地高束水饱和度成因低阻油层地质控制因素及分布规律差异[J].中国海上油气,2016,28(1):60-68.
 [12] 崔永斌.有效储层物性下限值的确定方法[J].国外测井技术,2007,22(3):32-35.
 [13] 李文浩,张枝焕,管灵,等.渤海洼陷北部陡坡带沙河街组砂砾岩有效储层物性下限及其主控因素[J].石油与天然气地质,2012,33(5):766-777.
 [14] 郭睿.储集层物性下限值确定方法及其补充[J].石油勘探与开发,2004,31(5):140-144.
 [15] 付金华,罗安湘,张妮妮,等.鄂尔多斯盆地长7油层组有效储层物性下限的确定[J].中国石油勘探,2014,19(6):82-88.
 [16] 邵长新,王艳忠,操应长.确定有效储层物性下限的两种新方法及应用——以东营凹陷古近系深部碎屑岩储层为例[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(2):414-416.
 [17] 林景晔,童英,王新江.大庆长垣砂岩储层构造油藏油水界面控制因素研究[J].中国石油勘探,2007,12(3):13-16.
 [18] 杨海军,孙龙德,朱光有,等.塔里木盆地非稳态油藏特征与形成机制[J].石油学报,2012,33(6):1103-1112.
 [19] 杜洋,衣英杰,辛军,等.伊朗SA油田Sarvak油藏大幅度倾斜油水界面成因探讨[J].石油实验地质,2015,37(2):187-193.
 [20] 周家胜,谢景彬,林健.鲁迈拉油田Nahr Umr组油藏倾斜油水界面成因[J].新疆石油地质,2016,37(5):620-623.

(编辑 黄颖)