



Seismic Prediction Technology for Channel Sand Body of Fuyu Oil Layer in Xinmin Area, Southern Songliao Basin

Shao Mingli¹, Lian Xiaoliang^{2,*}, Liu Guodong¹, Qu Weiwei¹, Yan Qiaojie², Jiang Chuntao³, Zhao Jia², Wang Lei²

¹Exploration and Development Research Institute, Jilin Oilfield Branch of CNPC, Songyuan, China

²Geological Research Center, BGPinc of CNPC, Zhuozhou, China

³Equipment Service Center, Daqing Geophysical Exploration Company of BGP of CNPC, Songyuan, China

Email address:

119555712@qq.com (Lian Xiaoliang)

*Corresponding author

To cite this article:

Shao Mingli, Lian Xiaoliang, Liu Guodong, Qu Weiwei et al. (2024). Seismic Prediction Technology for Channel Sand Body of Fuyu Oil layer in Xinmin Area, Southern Songliao Basin. *Science Discovery*, 12(4), 78-82. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20241204.11>

Received: 9 May 2024; Accepted: 14 June 2024; Published: 4 July 2024

Abstract: The Fuyu reservoir in Xinmin area is a delta plane-front facies deposit, and the channel sand body in this area is the main reservoir of oil and gas. Due to the complex sedimentary environment, the sand body shows great variation in thickness and distribution. In this study, the method of combining well vibration, model forward modeling and stratum slicing are used to predict the sandstone bodies of different thickness successfully. Especially for the thin sand body with a thickness of less than 5 meters, this study found that the GR curve can effectively distinguish sandstone and mudstone through the intersection analysis of logging curves, and applied the GR curve co-simulation inversion technology to perform fine characterization. In addition, the study also reveals that the northeastward twisting fault zone in Xinmin area is a favorable accumulation area of the reservoir, which provides a new direction for oil and gas exploration. This study not only improves the accuracy of sandstone prediction, but also provides a valuable reference for oil and gas exploration under similar complex geological conditions.

Keywords: Fuyu Oil Layer, Identify Channel Sand Bodies, Seismic Forward Modeling, Stratal Slice, GR Co Simulation Inversion, Torsional Fault Zone

松辽盆地南部新民地区扶余油层河道砂体地震预测技术

邵明礼¹, 连晓亮^{2,*}, 刘国东¹, 屈伟伟¹, 闫巧洁², 姜纯涛³, 赵佳², 王雷²

¹勘探开发研究院, 中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司, 松原, 中国

²地质研究中心, 中国石油集团东方地球物理公司研究院, 涿州, 中国

³装备服务中心, 中国石油集团东方地球物理公司大庆物探公司, 松原, 中国

邮箱

119555712@qq.com (连晓亮)

摘要: 新民地区扶余油层为三角洲平原-前缘相沉积, 河道砂体是油气的主要储集层, 但由于沉积环境复杂, 砂体在厚度和分布上表现出较大的变化。本研究采用井震结合的方法, 结合模型正演、地层切片等技术, 成功预测了不同厚度的砂岩体。特别是针对厚度小于5米的薄层砂体, 本研究通过测井曲线交汇分析, 发现伽马曲线 (GR曲线) 能有效区分砂岩和泥岩, 并应用GR曲线协模拟反演技术进行了精细刻画。此外, 研究还揭示了新民地区北东向扭动断裂带是油藏的有利聚集区, 为油气勘探提供了新的方向。本研究不仅提高了砂岩预测的准确性, 也为类似复杂地质条件下的油气勘探提供了有价值的参考。

关键词：扶余油层，河道砂体识别，模型正演，地层切片，GR协模拟，扭动断裂带

1. 引言

新民地区地理位置位于吉林省松原市境内，地处第一松花江与第二松花江交汇处。区域构造位于松辽盆地南部中央坳陷区扶新隆起带扶余Ⅱ号构造带。区内有满覆盖面积343.034km²三维地震资料（图1）[1-2]。

松辽盆地南部中浅层构造单元划分图



图1 研究区区域位置图。

新民油田北邻三肇凹陷，油源充足，受断层发育的影响，形成了多个断垒带，具有良好的圈闭条件。但是经多年开发，产能效果在逐年变差。其主力勘探开发层系为扶余油层，由于受埋藏普遍较深，地震、地质条件复杂（沉积相带变化快、砂体薄、砂泥速度差异小，地震资料分辨率低）的影响，研究区内河道砂体预测精度低，储量动用升级难度大。为实现研究区二次开发增储上产，储层精细刻画研究是一大关键[3]。

地震反演基于地震数据，以井数据为约束，提取地层波阻抗等信息，预测储层其他参数。通常分为叠前和叠后两类：叠前技术尚处探索阶段，而叠后技术相对成熟。叠前弹性阻抗反演利用叠前地震道和测井资料求解储层弹性参数，受限于资料条件，常用于储层流体识别。叠后反演分为直接反演、测井约束反演和地震约束下的测井曲线反演。直接反演易实现但分辨率低，适用于勘探初期；测井约束反演依赖测井资料，精度提升，适用于勘探中后期；地震约束下的测井曲线反演可靠性高，结合地震和测井资料优点，适用于开发中后期砂泥岩薄储层精细刻画[4-6]。

2. 构造特征

新民地区断裂十分发育，断开泉头组的断层主要分为两类，Ⅰ类为早期断陷期的张性断层后期持续活动，这类断层断距大、延伸长、剖面上呈Y字形、断阶状，平面上近南北向展布；Ⅱ类断层主要为泉头组末期-青山口组早期的张性扭动断层，剖面上呈负花状构造样式（图2），平面上呈北北东向、雁列式展布，延伸长度一般不到5km。

新民地区泉四段整体构造形态呈东南向西北倾的大型鼻状构造(图3)，受走滑扭动断裂改造，鼻状构造翼部斜坡发育一系列北东走向的断垒带。

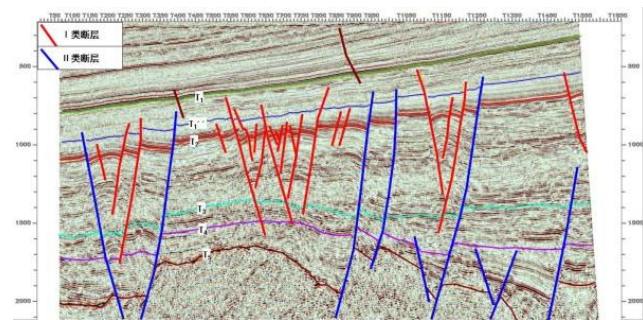


图2 新民地区断层剖面特征。

3. 储层特征

新民地区泉四段扶余油层以三角洲平原—前缘相沉积为主 [7]，可划分为四个砂组，13个小层，其中Ⅲ、Ⅳ砂组为三角洲平原相沉积，河道砂体厚度大、分布相对稳定，Ⅰ、Ⅱ砂组为三角洲前缘相沉积，砂体薄，一般2-5米，与泥岩呈薄互层，岩性横向上变化快，新民地区三维地震资料主频为50Hz，有效频宽为10~75Hz，泉四段地层速度为3100~4000m/s，地震可分辨最小地层厚度约为9m，识别5米以下薄储层难度较大。

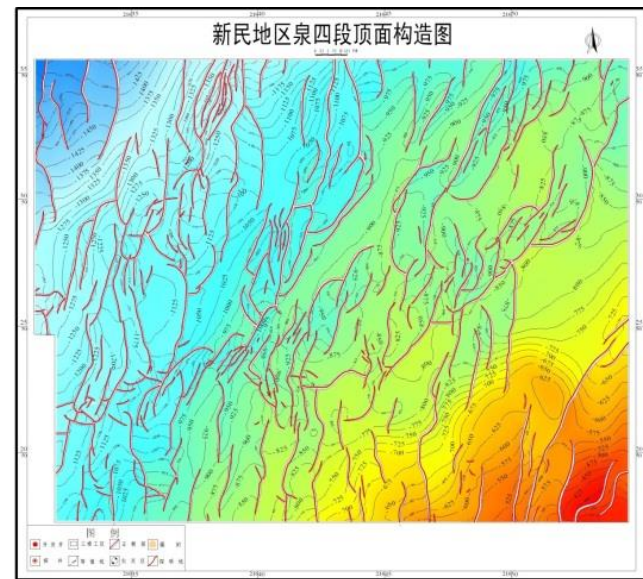


图3 新民地区泉四段顶面构造图。

4. 河道砂体识别

4.1. 精细的砂层标定

准确的油层标定是砂体追踪的基础,也是进行地震属性分析的关键,结合钻井及测井资料,对泉四段所有油气显示的层段进行了精细的标定后可以看出,河道砂体在测井曲线上表现为低声波时差和低伽马值,地震响应为低频、中强振幅反射,地震剖面上具有下切现象(图4)。

4.2. 模型正演

对河道砂体地震特征进行研究,最直接的方法就是用实际钻井资料建立地质模型,再用实际的测井速度、密度和实际地震子波进行模型正演,可以揭示河道砂体地震反射特征。新民地区泉四段扶余油层河道砂体速度3800m/s、密度为 2.51g/cm^3 ,围岩速度一般为3500~3700m/s,围岩密度为2.30~2.55,据此建立地质模型,正演结果表现为为低频中强振幅反射,具同相轴下切现象(图5)。通过实际地震剖面对比,认为该区河道砂体地震反射特征一般为低频中强振幅反射,同相轴有明显下切现象。

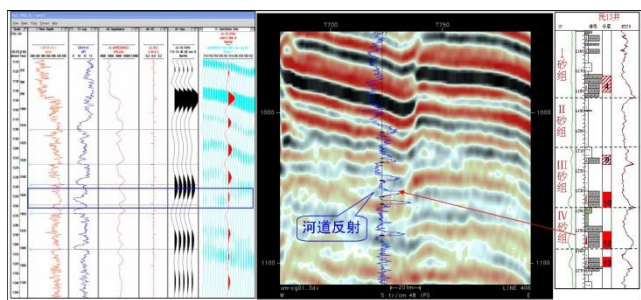


图4 M13井河道砂体精细标定。

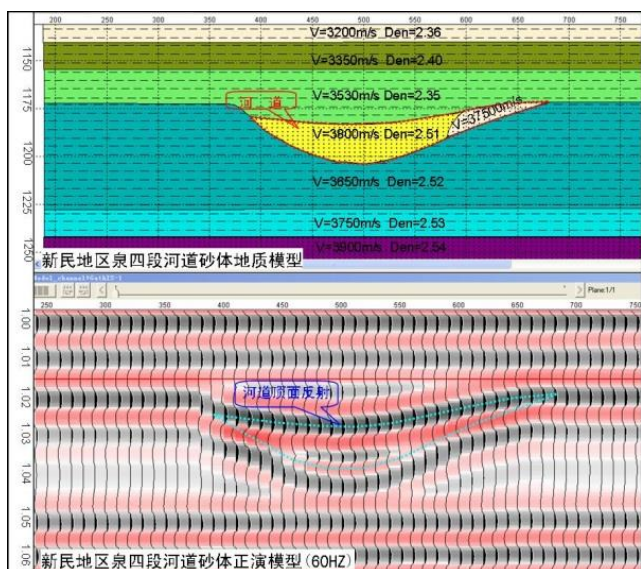


图5 新民地区河道砂体模型正演。

4.3. 基于参考标准层地震属性分析

沿参考标准层地震属性提取是指沿着代表目的层反射界面或某一时间界面提取的各种地震信息,它是体属性提取的一种特殊形式。以 T_2 为参考标准层,进行层拉平水平切片小时窗提取振幅属性,在目的层附近滑动时窗,在

切片和剖面之间观察地质异常体,优选最能揭示储层变化的切片进行属性分析[8](图6)。

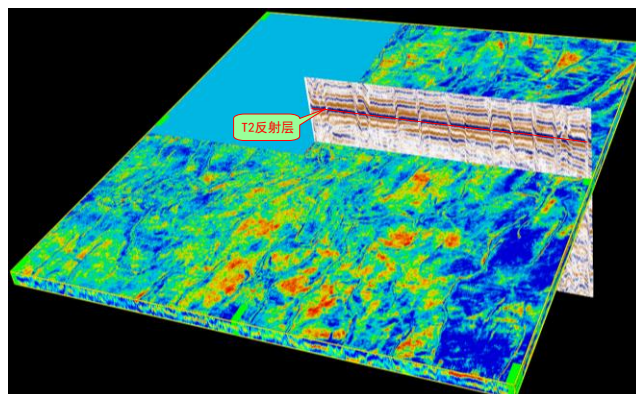


图6 基于 T_2 反射层地震属性分析。

利用上述方法,在河道砂体地震响应明显的min66区块,以 T_2 反射层为标准层做沿层切片,在向下51ms(相当于IV砂组11小层)的切片上可以看到工区的中部有一条南北向展布的弯曲强振幅条带(图7),地震剖面上为中强振幅反射,同相轴有明显下切现象,经min66井、min66-1井、min36-33井等证实为厚层河道砂沉积。

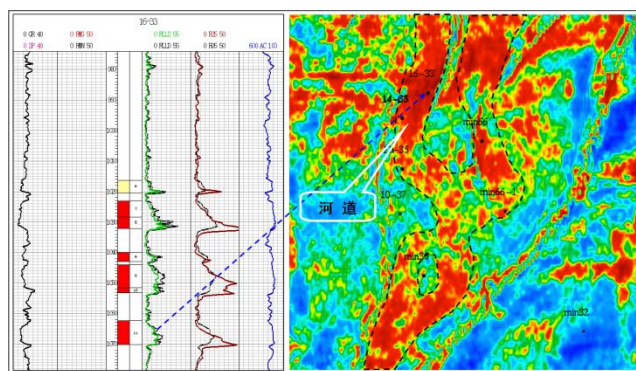


图7 M66区块泉四段IV砂组11小层河道分布图。

4.4. 地质统计学反演

泉四段I、II砂组砂岩厚度薄,且与泥岩呈薄互层,受砂、泥岩间波阻抗差异小,地震资料分辨率低等因素影响,砂岩的地震响应不明显,直接利用地震属性预测砂体多解性强,而将测井数据与地震资料相结合的基于地质统计学的随机反演法,是预测薄储层、提高反演预测结果分辨率的一个较好的方法。该方法以能反映储层特征参数的测井曲线为控制点、依靠地震反射波的丰富信息,应用随机模拟方法[9],开展序贯高斯配置协模拟和岩性指示模拟技术来进行储层预测。预测结果不仅服从测井曲线自身的统计分布特征,与井吻合度高,而且同时还能满足地震资料的约束条件,能反映储层的横向细微变化,具有很高的分辨率,适用于评价和开发阶段对油藏与单个砂体的精细描述[10]。

通过对研究区的50余口井目的层段的测井曲线资料的详细分析,在波阻抗和伽马曲线的交会图上(图8)可以看出该区砂岩波阻抗在 $8000\sim 11000\text{g/cm}^3\cdot\text{m/s}$ 之间,泥岩波阻抗在 $6500\sim 10000\text{g/cm}^3\cdot\text{m/s}$ 之间,砂、泥岩之间波阻抗存在一定程度的重叠,因此利用波阻抗值不能很好地区分

砂、泥岩。但是砂岩的伽马曲线值一般小于14.75gAPI，明显低于泥岩，因此利用伽马曲线可以很好地识别砂岩和泥岩，且该区伽马和纵波阻抗之间存在很好的相关性，即伽马值随波阻抗的减小而逐渐增大，两者相关系数为0.66。

因此优选GR曲线作为本区储层敏感参数曲线，以确定性反演的波阻抗数据体为输入，建立波阻抗体与储层特征参数曲线之间的关系后，依据储层特征参数曲线与波阻抗的相关程度，通过目标函数，求取目的层的主变量(储层特征参数曲线)及协变量(波阻抗)的直方分布函数和变差函数，应用模拟退火方法寻找与地震道记录最佳匹配的最优解，从而得到能描述储层信息的数据体。从地质统计学反演整个过程可以看出，井信息主要起到硬数据的作用，井间的多个模拟结果首先由已知井数据求取变差函数和概率密度函数得出，井间地震资料起到一个“过滤器”的作用，从多个模拟结果中优选出与地震信息最匹配的数据体作为最终结果，从而使最终的砂体预测结果更加稳定，降低了因数学方法插值和模拟带来的井间不确定性，使模型与反演结果更加忠实于实际地质情况。[11-13]

在中洼区块泉四段IV砂组12小层岩性指示模拟平面图上，民13井附近河道砂体形态清晰可辨，呈北东向条带状展布，预测河道5条，面积约9.1km²，储层预测的精度大幅度的提高。

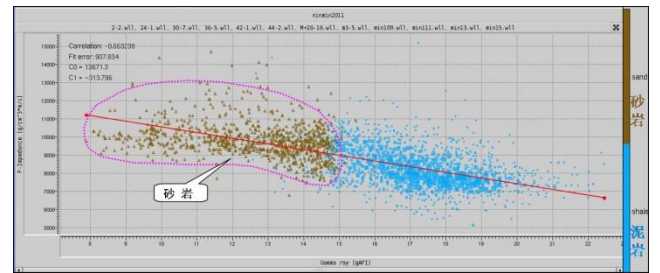


图8 中洼区块纵波阻抗与伽马交汇图。

在中洼区块GR协模拟和岩性指示模拟连井剖面上(图9)，砂体预测结果与井吻合程度好、分辨率高，可以识别3m以上砂岩；

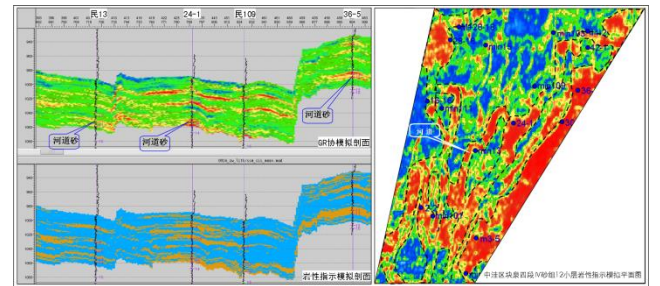


图9 新民地区泉四段地质统计学反演。

5. 成藏分析

新民地区泉四段泥岩为三角洲平原-前缘相河道间沉积，本身不具备生油能力，油气主要来源于其上覆青一段暗色泥岩，是典型的上生下储式油气藏类型，断裂是油气运移的主要通道。

泉头组断裂非常发育，青一段及以上地层为塑性泥岩段，断裂多消失于这些塑性泥岩地层中，在青一段烃源岩

超压动力作用下，烃源岩向外部排烃，油气沿断裂通道运移，向上排烃受阻，以单向式向下排烃为主，倒灌成为主要运移方式，断层与河道砂体配置，使扶余油层以岩性、断层一岩性油藏为主。

钻探实践证实，油气分布受断裂控制，获得工业油气流井主要分布在北东向断裂带附近。断层两侧岩性对接关系是影响油气成藏的主要因素。断层两侧储集层与非储集层接触，油气则在储集层一侧圈闭内聚集成藏，如果两侧为大段泥岩对接，断层性质表现为封闭，不利于油气向下运移聚集。

研究区扭动断裂断距小，一般在5~50m之间，泉四段岩性多呈砂泥薄互层的形式出现，砂岩厚度约为2~10m，当地层被断层错断时，多形成砂泥对接，故扭动断裂带两侧为油气有利聚集区。

中洼区块民13井、民101、2-2、36-5与24-1等井证实了这个观点，在中洼区块泉四段12小层砂体与断裂叠合图上(图10)可以看到获得工业油流井均沿着扭动断层成带分布，24-1井虽然同样在泉四段12小层钻遇厚层河道砂体，由于距离断裂较远，无油气显示，说明油气沿断层向下运移至储集层后，横向运移的能力有限。

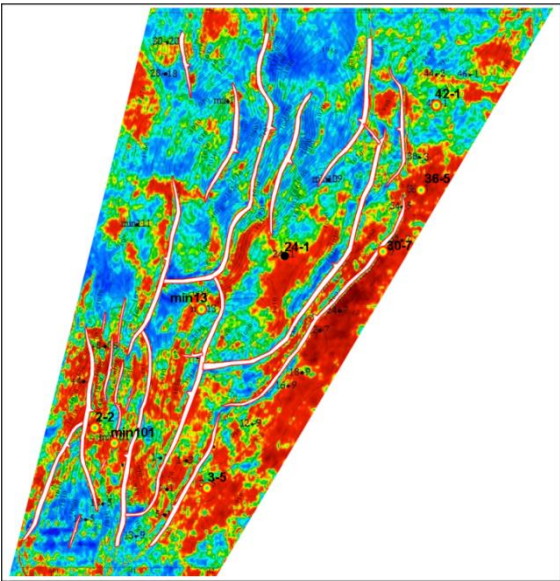


图10 中洼区块泉四段12小层砂体与断裂叠合图，所以该区砂体没有形成连片含油，而是在扭动断裂带附近河道砂体内富集。

6. 结束语

本文以松辽盆地南部新民地区泉四段扶余油层为例，探索了不同相带河道砂体的预测方法，得到以下认识：

- (1) 利用地层切片刻画泉四段Ⅲ、Ⅳ砂组平原相厚层河道砂岩效果较好，而地质统计学反演能够精细刻画泉四段Ⅰ、Ⅱ砂组前缘相5m以下薄层砂岩。
- (2) 泉四段河道砂体成藏受断裂控制，北东向扭动断裂带附近砂体是油气聚集的有利场所。

7. 建议

新民地区的三维地震资料采集年限早，受当时设备和技术等因素的限制，地震资料的信噪比和分辨率相对较低，对5米以下的小断层和薄砂体识别效果相对较差，

难以满足精细勘探的需求,制约了该区的高效勘探与开发,建议在研究区部署“两宽一高”高精度三维地震[14-16],它具有宽频带采集接收、宽方位角观测以及高密度小面元采样等优势,特别是其有效频带宽、低频信息丰富的优势,尤其有利于开展断裂解释、地震反演及薄储层预测等工作,能够精细落实微小断裂和有效砂体,可以更有利支撑新民地区的高效勘探和增储上产。

基金项目

中油股份公司物探技术攻关项目(B3120741HT)资助。

参考文献

- [1] 王海鹏, 马世忠, 满维光, 张金岩. 松辽盆地扶新隆起带扶余油层储层特征研究及分类评价 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(23): 6835-6839.
- [2] 唐振兴, 白连德, 桂盼, 屈卫华, 曹卿荣. 松辽盆地南部扶新隆起老油区勘探实践 [J]. 中国石油勘探, 2009, 14(04): 17-20.
- [3] 张恬恬. 新民油田扶杨油层浅水三角洲砂体沉积微相研究 [D]. 中国石油大学 (北京), 2023.
- [4] 姜晓宇, 计智锋, 毛凤军, 等. 随机模拟技术在储层物性研究中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2014, 29(06): 2665-2668.
- [5] 张文起. 地震反演在储层预测中的应用 [D]. 中国地质大学 (北京), 2005.
- [6] 贾小玉. 新民油田扶杨油层地震反演及储层预测研究 [D]. 中国石油大学 (北京), 2023.
- [7] 赵志魁, 张金亮, 赵占银等. 松辽盆地南部坳陷湖盆沉积相和储层研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [8] 连晓亮, 郭波, 闫巧洁等. 大情字井地区葡萄花油层储层砂体地震描述技术研究 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版) 2016, 46(5): 1561-1570.
- [9] 张繁昌, 肖张波, 印兴耀等. 地震数据约束下的贝叶斯随机反演 [J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(1): 176-182.
- [10] 李占东, 赵伟, 李阳等. 开发地震反演可行性研究及应用——以大庆长垣北部油田为例 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 54(32): 797-806.
- [11] 张明. 新民老油田油藏评价研究与应用 [D]. 东北石油大学, 2014.
- [12] 潘昱洁, 李大卫, 杨锴. 确定性反演和随机反演对井约束条件的需求分析 [J]. 石油物探, 2011, 50(4): 345-360.
- [13] 张志伟, 王春生, 林雅平, 等. 地震相控非线性随机反演在阿姆河盆地 A 区块碳酸盐岩储层预测中的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(2): 304-310.
- [14] 王学军, 于宝利, 赵小辉, 等. 油气勘探中“两宽一高”技术问题的探讨与应用 [J]. 中国石油勘探, 2015, 20 (5): 41-53.
- [15] 宁宏晓, 唐东磊, 皮红梅, 等. 国内陆上“两宽一高”地震勘探技术及发展 [J]. 石油物探, 2019, 58 (5): 645-653.
- [16] 王海龙, 高建虎, 李海亮, 闫国亮, 董雪华. “两宽一高”地震勘探技术在油气精细勘探中的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57 (S1): 137-144.

作者简介



连晓亮, 男, 1981年出生, 高级工程师, 毕业于吉林大学矿物学、岩石学、矿床学专业, 现在中国石油集团东方地球物理公司研究院地质研究中心从事地震资料解释及地震地质综合研究工作。