

引用格式:任俊兴,孟庆利,杨帆.基于构造约束的逐层网格层析速度建模技术在南川地区的应用[J].油气藏评价与开发,2020,10(1):17-21.
REN J X, MENG Q L, YANG F. Application of structural constraint grid tomography velocity modeling in Nanchuan area[J]. Reservoir
Evaluation and Development, 2020, 10(1): 17-21.
DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.01.003

基于构造约束的逐层网格层析速度建模技术 在南川地区的应用

任俊兴,孟庆利,杨帆

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院,江苏南京 210007)

摘要:南川地区地表灰岩大面积出露,地震资料信噪比较低,且地下构造复杂、地层倾角较陡,属于典型的地表地下双复杂地震地质条件。单一的速度建模方法无法获取准确的速度模型,进而影响地震成像精度,难以有效指导该区水平井钻探工作。针对这一问题,通过分析层位层析和网格层析两种速度建模方法的优缺点,结合南川地区的实际资料特征,在构造约束的基础上进行逐层网格层析速度反演,即通过拾取纵向速度变化比较明显的地震标志层,由浅至深逐层约束网格层析反演,较好地解决了该区地表地下双复杂地震地质条件对速度反演的影响,为叠前深度偏移提供了较高精度的深度域速度模型。通过实际应用,对南川工区地震资料的成像精度改善明显,基本满足了该区页岩气勘探对地震资料的需求。

关键词:南川地区;构造约束;速度建模;网格层析;叠前深度偏移

中图分类号:P631

文献标识码:A

Application of structural constraint grid tomography velocity modeling in Nanchuan area

REN Junxing, MENG Qingli, YANG Fan

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, East China Oil and Gas Company, SINOPEC,
Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract: All the reasons that the surface limestone is exposed in a large area, the signal-to-noise ratio of seismic data is low, the underground structure is complex, and the dip angle of strata is steep make Nanchuan area to be a typical double-complex seismic geological condition of surface and underground. As the single velocity modeling method cannot obtain the accurate velocity models, it in turn affects the seismic imaging accuracy and is difficult to effectively guide horizontal well drilling in this area. In order to solve this problem, the velocity inversion of layer by layer grid tomography is carried out on the basis of structural constraints by analyzing the advantages and disadvantages of two kinds of velocity modeling methods, such as horizon chromatography and grid tomography, and combined with the actual data characteristics of Nanchuan area. That is, by picking up the seismic landmark layer with obvious longitudinal velocity variation and layer-by-layer constrained grid tomographic inversion from shallow to deep, the effect of surface and subsurface complex seismic geological conditions on velocity inversion is better reduced, and a higher precision depth domain velocity model is provided for the front depth offset. Through practical application, the imaging accuracy of seismic data in Nanchuan work area is improved obviously and basically meets the demand of shale gas exploration in this area.

Key words: Nanchuan area, structural constraint, velocity modeling, grid tomographic, prestack depth migration

南川工区出露地层分布复杂,从侏罗系至寒武系均有分布,呈条带状,地层、岩性横向变化快(图1)。其中60%以上为灰岩出露区,由于灰岩自身固有属性,导致地震波激发接收条件较差,低频散射干扰严

重,有效反射信号很弱,地震资料信噪比较低。另外,工区位于盆缘构造转换带,历经多期次强构造运动的改造,地层形变严重。区内断层发育,地层倾角大(图2),速度横向变化剧烈,同时工区存在垂向速

收稿日期:2019-08-26。

第一作者简介:任俊兴(1987—),男,本科,助理研究员,主要从事地震资料处理工作。通讯地址:江苏省南京市秦淮区天坛新村9栋,邮政编码:210001。E-mail:723793657@qq.com

基金项目:“十三五”国家科技重大专项“彭水地区常压页岩气勘探开发示范工程”(2016ZX05061)。

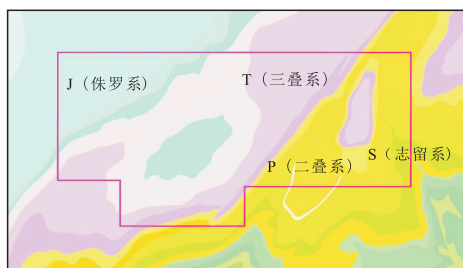


图1 南川工区地表岩性出露

Fig. 1 Surface lithology exposure of Nanchuan work area

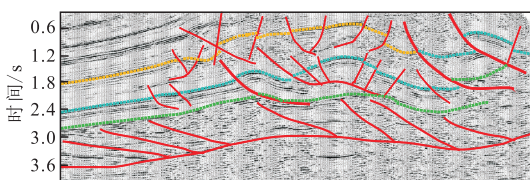


图2 南川工区典型构造样式剖面

Fig. 2 Typical structural style profile of Nanchuan work area

度反转,建立准确的速度模型难度较大。

以往建模方法得到的偏移成果资料中,成像深度与钻井分层误差较大,尤其是靠近大断裂的区域,存在较大的井震误差及明显产状不一致问题^[1-2]。因此,建立一套适用于该工区的深度域速度建模方法来解决井震矛盾问题对该区页岩气的勘探开发至关重要。

针对地震速度建模的方法业界已经开展过多方面的研究,如:叠前逐层层速度反演速度建模方法;基于层位的层析反演速度建模方法;基于网格的层析反演速度建模方法;VTI(垂直的横向各向同性)介质各向异性速度建模方法等^[3-5]。各种速度建模方法都有其适用性,目前应用最广泛的是基于射线理论的层析反演速度建模方法。

常用的层析反演速度建模方法主要有基于地震层位的沿层速度反演和基于网格的速度反演^[6-7]。第1种方法需要在地震偏移剖面上进行层位标定追踪,获得较准确的构造模型,在构造层位之间进行层析反演,获得层速度模型。该方法获取的速度模型可以刻画出符合构造走势的大套地层速度模型,但无法刻画出同一地层内纵向速度变化。第2种方法将速度模型进行网格化,通过在CRP(共反射点)道集拾取剩余曲率,建立网格层析方程进行速度反演。该方法利用地层倾角、方位角等属性共同约束反演,能精细地刻画出速度的空间变化特征。但是,对构造复杂部位和资料信噪比较低的区域,求解层析方程的过程中多解性非常大,迭代收敛速度也较慢,难以获取准确的速度模型。

针对南川地区地表地下双复杂地震地质条件,单一的速度建模方法无法获取准确的速度模型,通过结合层位层析和网格层析2种方法的优点,在综合利用2种方法的基础上,提出了由浅至深逐层反演的速度建模思路,即通过拾取纵向速度变化比较明显的地震标志层,在地震层位约束的基础上由浅至深逐层进行约束网格层析速度反演,可以建立该区更加准确的速度模型。

1 基于构造约束的逐层网格层析反演建模技术

1.1 基于构造约束的逐层网格层析反演速度建模技术思路及流程

构造约束逐层网格层析反演主要考虑了浅层速度模型更新过程中,下伏地层射线追踪路径也会发生变化,影响其成像精度。因此,速度更新的过程应该按照地震速度标志层位划分,首先反演第一个浅部标志层及其上覆地层速度,在保证浅层CRP道集拉平之后,再逐层向下进行速度反演,最终实现所有层位CRP道集拉平,获得精确的速度模型。具体实现流程见图3。

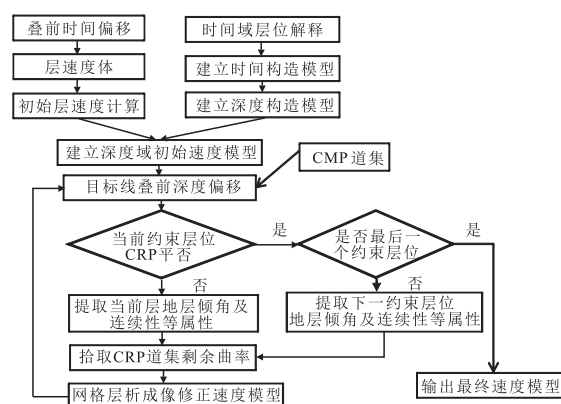


图3 构造约束逐层网格层析反演速度建模流程

Fig. 3 Construction constraint layer-by-layer grid tomography inversion velocity modeling process

1.2 基于构造约束的逐层网格层析速度建模

1.2.1 构造模型建立

速度建模的层位解释主要是速度变化界面,并不是严格意义上的地质层位。速度层位主要用于控制速度的空间变化,需要解释层位的多少依据速度变化程度确定^[8-11]。在构造解释过程中,同时参考了工区

的地质图,对没有地震数据的工区边界仍然进行层位外推解释,以防止工区边界速度异常值,也为叠前深度偏移处理提供了范围充足、边界可靠的速度信息。

速度界面的层位解释完成后,需要对每一层进行逐层插值和平滑处理,产生每一层的时间域构造平面图,建立最终时间域构造模型,然后将时间域构造模型转换为深度域构造模型,用来约束深度域速度模型迭代更新。

1.2.2 速度初始模型的建立

将时间域均方根速度模型经过插值处理后转换为时间域层速度场,然后对时间域层速度模型存在的多处速度异常点进行相应的处理,包括剔除速度异常大值和异常小值,修改由于地层速度倒转引起的速度异常。最后根据之前建立的构造模型,利用解释的地震标志层位作为层速度界面进行沿层速度约束和沿层平滑处理,就可以获得较为理想的时间域层速度模型,将其比例到深度域就可以得到一个较为合理的深度域初始层速度模型。

初始深度速度模型是一个宏观的背景速度场,各套地层的初始层速度的大致趋势要尽量准确,同时要避免速度异常点存在其中,如果速度趋势存在较大的出入,可能给后期的逐层网格层析速度迭代更新带来巨大的工作量和认识上的偏差。

1.2.3 剩余曲率拾取

拾取反射波同相轴剩余曲率前,首先对CRP道集采用随机噪音衰减、弱信号补偿、振幅等深加权处理手段提高CRP道集信噪比,但不能改变反射同相轴剩余曲率。然后在横向上根据信噪比差异、同相轴连续性差异及振幅能量差异,分构造区域定义不同的剩余曲率拾取参数进行优化。例如,根据不同的构造类型设置不同的剩余曲率拾取范围、地层倾角范围、相似值等,以适应复杂构造带剩余曲率拾取的需求^[12-14]。最后利用地震层位控制,筛选出精度较高且更合理的剩余曲率值,进行后续的网格层析反演(图4)。

1.2.4 构造约束逐层网格层析反演速度更新

速度更新过程中,先采用无构造约束的网格层析反演技术,进行速度迭代优化,将速度的横向变化规律大致刻画清楚^[15-17]。然后利用基于构造约束的网格层析反演技术,将构造倾角、方位角等地层属性

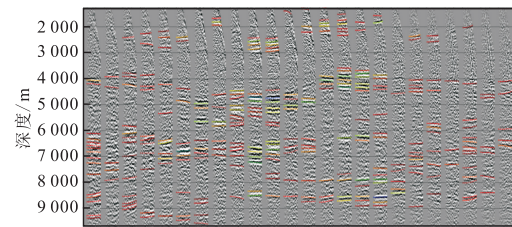


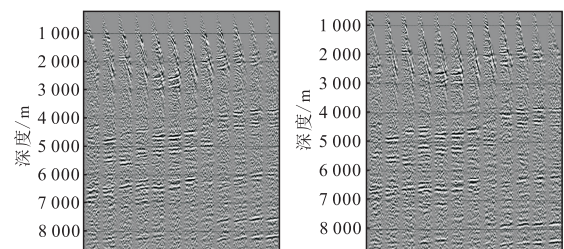
图4 剩余曲率拾取

Fig. 4 Residual curvature

综合利用,依据解释的地震标志层位,由浅至深逐层进行网格层析速度反演,提高速度模型的空间反演精度。由此得到的成像速度与地层真实的速度变化趋势基本吻合,且能够较好地刻画出速度的空间变化特征,以此速度为叠前深度偏移的最终速度模型,进行最终叠前深度偏移成像处理。

南川工区发育中古生界底层,速度纵向变化剧烈,且存在明显的速度倒转现象,在处理过程中根据速度纵向上的变化特点,共解释了龙潭组底、梁山组底、韩家店组底及五峰组底4套地震标志层位。第1轮速度反演,以龙潭组底为约束层,反演其上覆地层速度,在龙潭组及以上地层CRP道集同相轴拉平的基础上,再以梁山组底为约束层,进行第2轮速度反演,按照这种由浅至深逐层反演的思路,逐一对4套标志层进行反演,直到各地层的同相轴依次得到拉平,就可以得到该区较准确的速度模型。

构造约束逐层网格层析速度建模是由浅到深逐层对CRP道集反射同相轴进行拉平,对比构造约束逐层网格层析更新前后的CRP道集看出,应用构造约束逐层网格层析反演方法迭代更新速度后偏移得到的CRP道集反射同相轴浅、中、深各层同相轴都得到较好的拉平(图5)。



a. 构造约束逐层网格层析更新前叠前深度偏移CRP道集 b. 构造约束逐层网格层析更新后叠前深度偏移CRP道集

图5 构造约束逐层网格层析更新前后叠前深度偏移CRP道集对比

Fig. 5 Comparison of pre-stack depth migration CRP gathers before and after structural constraint layer-by-layer grid tomography update

构造约束逐层网格层析反演更新之后的速度模型横向上与构造形态基本吻合,纵向上速度的变化趋势与地层层速度变化基本一致,并且较好地刻画出志留系碎屑岩地层与上覆碳酸岩地层存在的速度倒转现象,速度模型更符合地质规律(图6)。

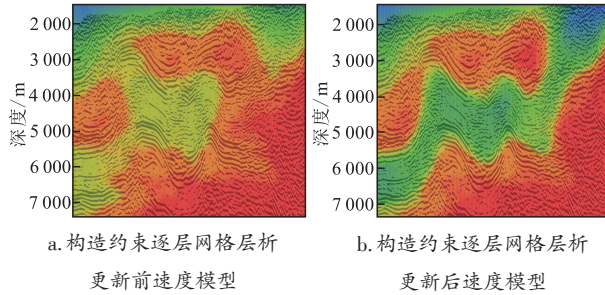


图6 构造约束逐层网格层析更新前后速度模型
Fig. 6 Structure-constrained layer-by-layer grid tomographic update velocity model

2 应用效果

图7a是常规网格层析速度建模叠前深度偏移剖面,可以看出,在主体构造部位有较好的成像效果,但在复杂断裂带附近,地震波组非常破碎,断层下盘成像效果欠佳。图7b是基于构造约束的逐层网格层析反演速度建模叠前深度偏移成果剖面,对比可以看出,在保证主体部位成像质量的基础上,断裂带附近构造归位更合理,成像质量得到明显提升。图7中AHF井是利用构造约束逐层网格层析速度模型偏移成果指导的一口水平井,通过井轨迹与地震剖面叠合对比可以看出,成像深度、地层产状与水平井轨迹吻合较好。

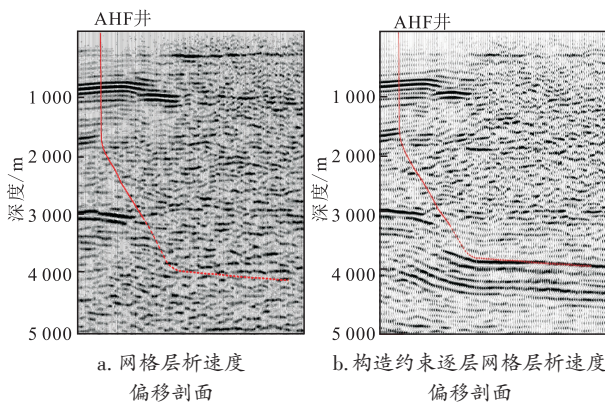


图7 网格层析与构造约束逐层网格层析叠前深度偏移剖面

Fig. 7 Mesh tomography and tectonic constrained layer-by-layer mesh tomography prestack depth migration profile

3 结论

1) 相对于常规的层析速度建模方法,基于构造约束的逐层网格层析反演速度建模技术考虑了构造因素,通过拾取纵向速度变化明显的地震标志层,由浅至深逐层约束网格层析反演,充分融合层位层析和网格层析2种方法的优点,提高低信噪比资料区的速度反演精度,速度模型更加符合地质规律。

2) 在南川三维地震资料处理中,利用构造约束逐层网格层析反演技术获取的速度模型进行叠前深度偏移得到的地震资料成像深度、地层产状与实钻水平井轨迹吻合较好,证实该项技术适用于南川复杂山地页岩气地震资料。

参考文献

- [1] 秦宁,李振春,杨晓东,等.自动拾取的成像空间域走时层析速度反演[J].石油地球物理勘探,2012,47(3):392-398.
QIN N, LI Z C, YANG X D, et al. Image domain travel-time tomography velocity inversion based on automatic picking[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(3): 392-398.
- [2] 罗勇,张龙,马俊彦,等.复杂构造地震叠前深度偏移速度模型构建及效果[J].新疆石油地质,2013,34(5):576-579.
LUO Y, ZHANG L, MA J Y, et al. The pre-stack depth migration velocity model for complex geological structure in southern margin of Junggar Basin: Modeling and effect[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(5): 576-579.
- [3] 肖艳玲,杨晓海,胡正舟.叠前深度偏移网格层析速度反演技术在西湖背斜的应用[J].新疆地质,2015,33(4):562-565.
XIAO Y L, YANG X H, HU Z Z. Application of grid tomography in XiHu Anticline[J]. Xinjiang Geology, 2015, 33(4): 562-565.
- [4] 张宇,闫更平,王林,等.塔中M工区低信噪比地震资料处理技术对策[J].油气藏评价与开发,2017,7(1):14-19.
ZHANG Y, YAN G P, WANG L, et al. Treatment technologies and countermeasure of low signal-to-noise ratio seismic data in M block of mid-Tarim area[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2017, 7(1): 14-19.
- [5] 王海涛,寇祖豪,张烈辉,等.高含硫复合气藏试井解释模型研究[J].油气藏评价与开发,2018,8(6):24-27.
WANG H T, KOU Z H, ZHANG L H, et al. Research on well test interpretation model for composite gas reservoir with high sulfur[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018, 8(6): 24-27.
- [6] 马彦彦,李国发,张星宇,等.叠前深度偏移速度建模方法分析[J].石油地球物理勘探,2014,49(4):687-693.
MA Y Y, LI G F, ZHANG X Y, et al. Strategy of velocity model building in prestack depth migration[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(4): 687-693.
- [7] 金晓波.南川区块断层精细解释研究[J].油气藏评价与开发,2018,8(4):6-10.
JIN X B. Study on the fine fault interpretation in Nanchuan district[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018, 8(4): 6-10.

- [8] 袁刚,冯心远,蒋波,等.约束层析反演及其在 seismic 速度计算中的应用[J].石油物探,2013,52(1):55-58.
YUAN G, FENG X Y, JIANG B, et al. Constrained tomography inversion and its application in seismic velocity computation[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2013, 52(1): 55-58.
- [9] 黄光南,刘洋,TRYGGVASON A,等.变网格间距速度层析成像方法[J].石油地球物理勘探,2013,48(3):379-389.
HUANG G N, LIU Y, TRYGGVASON A, et al. Variable grid spacing velocity tomography[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(3): 379-389.
- [10] 谷巍巍,杨锴,王潇.二维 VTI 介质 qP 波斜率层析方法[J].石油物探,2019,58(6):828-836.
GU W W, YANG K, WANG X. 2D qP-wave slope tomography in VTI media[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(6): 828-836.
- [11] 黄鹏,殷厚成,薛维忠,等.山前带复杂浅表层建模研究[J].石油物探,2019,58(6):837-845.
HUANG P, YIN H C, XUE W Z, et al. Modeling of complex near-surface in piedmont zone[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(6): 837-845.
- [12] 杨勤勇,郭恺,李博,等.TTI 各向异性地震成像技术及其在页岩气勘探中的应用[J].石油物探,2019,58(6):882-889.
YANG Q Y, GUO K, LI B, et al. Application of TTI anisotropic seismic imaging in shale gas exploration[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(6): 882-889.
- [13] 郭颂,王华忠,胡江涛.基于非平稳滤波算子的成像域最小二乘偏移[J].石油物探,2019,58(3):404-411.
GUO S, WANG H Z, HU J T. Least-squares migration in image domain using nonstationary matching filter[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(3): 404-411.
- [14] 陈爱琼,周霞,朱海东,等.地震走时层析成像反演在速度模型中的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2011,8(6):41-43.
CHEN A Q, ZHOU X, ZHU H D, et al. Application of seismic travelttime tomography inversion in velocity model[J]. Journal of Yangtze University(Natural Science Edition), 2011, 8(6):41-43.
- [15] 李来林,吴清岭,何玉前.叠前深度成像技术及其应用[J].大庆石油地质与开发,2004,23(5):110-112.
LI L L, WU Q L, HE Y Q. Technology and application of prestack depth migration[J]. Petroleum Geology Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5): 110-112.
- [16] WANG B, PANN K. Model-based interpretation of focusing panels for depth focusing analysis[C]// paper SEG-1998-1596 presented at the 1998 SEG Annual Meeting, 13-18 September 1998, New Orleans, Louisiana, USA.
- [17] 马在田.论反射地震偏移成像[J].勘探地球物理进展,2002,25(3):1-5.
MA Z T. On reflection seismic migration imaging[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2002, 25(3): 1-5.

(编辑 常燕)

(上接第16页)

- [17] 李双建,周雁,孙冬胜.评价盖层有效性的岩石力学实验研究[J].石油实验地质,2013,35(5):574-578.
LI S J, ZHOU Y, SUN D S. Rock mechanic experiment study of evaluation on cap rock effectiveness[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(5): 574-578.
- [18] BABANOURI N, NASAB S K, BAGHBANAN A, et al. Overconsolidation effect on shear behavior of rock joints[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2011, 48(8): 1283-1291.
- [19] NYGÅRD R, GUTIERREZ M, BRATLI R K, et al. Brittle-ductile transition, shear failure and leakage in shales and mudrocks[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(2): 201-212.
- [20] MARK R P T, RICHARD R H, RICHARD E S, et al. Origin of overpressure and pore-pressure prediction in the Baram province, Brunei[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(1): 51-74.
- [21] 朱贺,汪佳,施坤,等.泥岩裂缝性储层应力敏感性实验研究[J].科学技术与工程,2011,11(35):8862-8864.
ZHU H, WANG J, SHI K, et al. Experimental study on pressures sensibility of fractured shale reservoir[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(35): 8862-8864.
- [22] 解习农,刘晓峰,胡祥云,等.超压盆地中泥岩的流体压裂与幕式排烃作用[J].地质科技情报,1998,17(4):59-64.
JIE X N, LIU X F, HU X Y, et al. Hydrofracturing and associated episodic hydrocarbon expulsion of mudstones in overpressured basin[J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 17(4): 59-64.
- [23] 郝芳,董伟良.沉积盆地超压系统演化、流体流动与成藏机理[J].地球科学进展,2001,16(1):79-85.
HAO F, DONG W L. Evolution of, fluid flow and petroleum accumulation in overpressured systems in sedimentary basins[J]. Advance In Earth Sciences, 2001, 16(1): 79-85.
- [24] HARWOOD R J. Oil and Gas Generation by Laboratory Pyrolysis of Kerogen[J]. AAPG, 1977, 61(12): 2082-2102.
- [25] 席斌斌,腾格尔,俞俊杰,等.川东南页岩气储层脉体中包裹体古压力特征及其地质意义[J].石油实验地质,2016,38(4):473-479.
XI B B, TENG G E, YU L J, et al. Trapping pressure of fluid inclusions and its significance in shale gas reservoirs, southeastern Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(4): 473-479.
- [26] 高键,何生,易积正.焦石坝页岩气田中高密度甲烷包裹体的发现及其意义[J].石油与天然气地质,2015,36(3):472-480.
GAO J, HE S, YI J Z. Discovery of high density methane inclusions in Jiaoshiba shale gas field and its significance[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 472-480.

(编辑 尹淑容)