

# 叠前密度反演在苏北盆地永区 储层及烃类预测中的应用

全敏波<sup>1</sup>, 高飞<sup>1</sup>, 李春霞<sup>1</sup>, 光靓<sup>2</sup>, 高栋臣<sup>1</sup>, 常新伟<sup>3</sup>, 邸永香<sup>3</sup>

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院 陕西 西安 710075; 2. 中国石化股份中原石油勘探局 地质录井处, 河南 濮阳 457000; 3. 中国地质大学(北京) 能源学院 北京 100083)

**摘要:** 永区位于苏北盆地东台拗陷中部, 其油藏类型复杂, 具有多样性。以岩石物理研究为基础, 利用叠前地震反演技术对研究区的储层及烃类进行预测。通过测井曲线校正与标准化, 进行有效的地层对比, 最大程度反映地层岩石的真实物理特征, 确保地质认识的准确性。通过对不同岩石物理弹性参数进行岩性及流体的敏感性分析, 确定密度为叠前地震反演的最佳参数。采用近似 Zeoppritz 方程求解地震参数的方法进行叠前密度反演, 结合井震对比表明, 叠前密度反演结果的横向及纵向分辨率较高, 能较好地预测研究区的储层展布; 受储层复杂性的制约, 叠前密度反演难以完全揭示油气在储层中的分布特征, 仅能预测部分烃类储层的分布。

**关键词:** 岩石物理 敏感性 叠前地震 密度反演 烃类预测

中图分类号: P631.443.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)04-0042-04

高精度三维地震勘探技术的应用为偏移成像技术做出了巨大贡献, 同时也推动了 AVO 技术理论研究的进展<sup>[1]</sup>。近年来, 随着定量 AVO 技术理论逐步完善, 以及相关岩石物理、测井处理与解释、地质建模及地震资料处理解释技术的发展与推进<sup>[1-4]</sup>, 使 AVO 地震反演技术在油气勘探开发领域的应用逐渐增多, 并取得了不少成功实例。

岩石物理理论研究表明, 地下岩石物理弹性参数的变化都会表现出惟一的 AVO 特征, 可以反演出惟一的岩石物理弹性参数, 即理论上不存在多解性。目前利用叠前地震道集数据反演岩石物理弹性参数的方法较多<sup>[5-14]</sup>, 但在生产实践中多采用近似 Zeoppritz 方程求解地震参数的方法, 因此, 笔者采用该方法进行叠前地震反演, 对苏北盆地永区的储层及烃类进行预测。

## 1 地质概况

永区位于苏北盆地东台拗陷中部, 其油藏类型复杂, 既有层状构造油藏又有岩性-构造复合油藏。汉留断层作为控制其沉积的一级断层, 与多条派生的次级断层构成了研究区断鼻、断块或断裂背斜的

构造背景<sup>[5]</sup>。永区古近系自下而上钻遇古新统阜宁组( $E_1f$ )、始新统戴南组( $E_2d$ )和三垛组( $E_2s$ ), 戴南组可进一步分为戴一段( $E_2d_1$ )和戴二段( $E_2d_2$ ), 三垛组可进一步分为三垛组一段( $E_2s_1$ )和二段( $E_2s_2$ ); 其中, 戴一段二段( $E_2d_1^{(2)}$ )是研究区的主要产油层, 以三角洲前缘沉积为主, 主要发育灰白色砂岩、砂砾岩及灰色泥岩。

## 2 测井曲线处理与敏感性分析

测井曲线能很好地反映地层岩性和流体的变化特征。为了消除扩径等对测井曲线质量的影响, 以及不同井之间测量时产生的系统误差, 笔者对测井数据进行了校正和标准化处理, 并对岩石物理弹性参数进行了岩性和流体的敏感性分析, 为叠前地震预测提供依据。

### 2.1 测井曲线处理

对研究区的测井数据质量进行分析, 针对井壁垮塌造成的测井曲线失真, 进行环境校正, 尽可能还原测井曲线所反映的真实地层岩石信息, 主要针对声波和密度曲线进行了校正。由于戴二段深灰-灰黑色深湖一半深湖相泥岩的厚度大、范围广, 是很好

的区域性标准层,因此,以其中部湖侵期发育的湖相泥岩的声波时差平均值( $305 \mu\text{s}/\text{m}$ )为基准值对声波时差曲线进行标准化处理,以泥岩密度平均值( $2.73 \text{ g}/\text{cm}^3$ )为基准值对密度曲线进行标准化处理。经校正及标准化后,储层在声波时差及密度曲线的特征更为明显。

## 2.2 敏感性分析

由于研究区缺少横波测井数据,需通过横波模拟得出横波速度,结合校正、标准化后的声波时差和密度曲线资料,通过岩石物理公式计算出各种岩石物理弹性参数,包括剪切模量、拉梅系数、体积模量、杨氏弹性模量、泊松比、弹性波阻抗、横波阻抗和纵波阻抗等;然后,对各种岩石物理弹性参数进行敏感性分析,从各参数的交会关系中筛选出对岩性、流体敏感性强的参数。结果表明:在岩性敏感性方面,密度、纵波速度、横波速度、剪切模量、杨氏弹性模量、泊松比、纵波阻抗和横波阻抗对砂、泥岩的区分效果

均较好;在流体敏感性方面,所有的岩石物理弹性参数均不能明显地区分烃类(油层、油水同层、低产气层)与非烃类储层(水层、干层),但烃类储层具有较明显的低密度特征,根据密度曲线资料可部分区分烃类储层。

由于横波速度为模拟值,有泥质含量参数参与估算,实际横波速度对砂、泥岩的区分效果有待进一步研究,且纵、横波速度随埋深增加逐渐增大,变化特征较明显,而密度随埋深增加的变化不明显,因此密度是岩性、流体预测最佳的岩石物理弹性参数。

通过对研究区  $E_2 d_1^2$  岩性、流体的密度敏感性分析(图1)发现,密度可较好地地区分砂、泥岩,以密度为  $2.59 \text{ g}/\text{cm}^3$  作为临界值,小于该值为砂岩;当烃类储层的密度大于  $2.467 \text{ g}/\text{cm}^3$  时,其与非烃类储层的密度接近,而当烃类储层的密度小于  $2.467 \text{ g}/\text{cm}^3$  时,部分烃类储层可以得到有效区分,因此,以密度为  $2.467 \text{ g}/\text{cm}^3$  作为有效烃类检测的临界值。

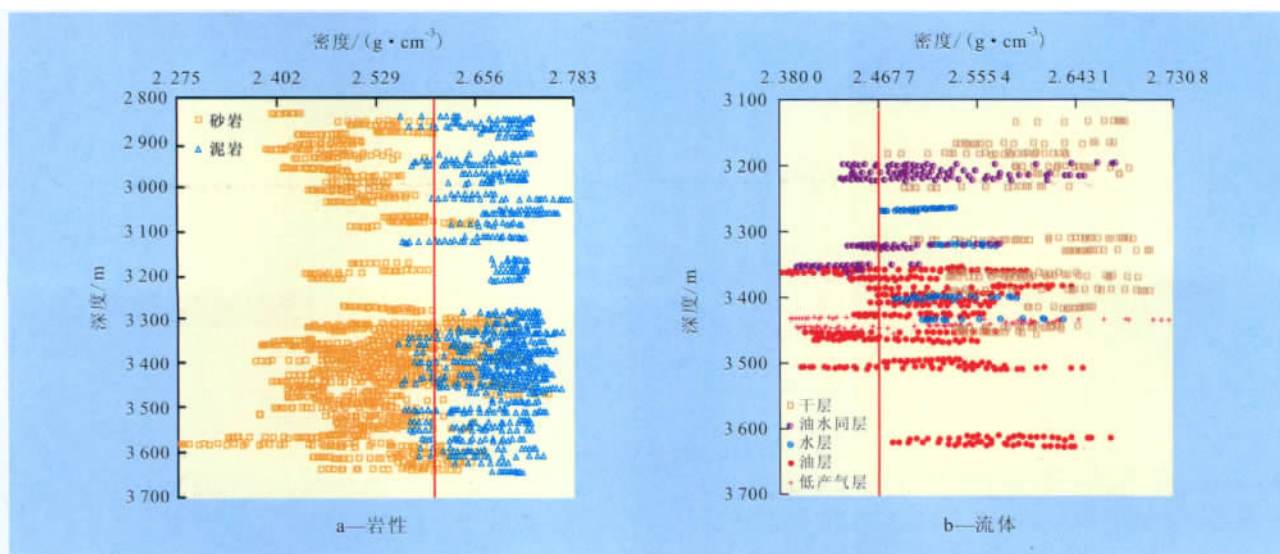


图1 苏北盆地永区岩性和流体的密度敏感性分析

## 3 叠前密度反演

根据岩石物理弹性参数的敏感性分析,可以利用密度对岩性和烃类进行有效地预测,因此,笔者利用叠前密度反演对苏北盆地永区的岩性及烃类进行预测。

叠前密度反演使用的地震数据是叠前时间偏移的CRP道集数据,叠前地震资料的信噪比直接影响叠前反演结果的精度<sup>[6-13]</sup>。通过对研究区叠前时间偏移的CRP道集的质量进行分析表明,叠前地震资料的信噪比较高,同相轴平直,叠前速度分析准

确;且目的层  $E_2 d_1^2$  内地震波入射角约为  $30^\circ$ ,能够满足叠前密度反演的要求。

利用叠前时间偏移的CRP道集数据进行叠前密度反演。对反演结果的质量主要从2个方面进行分析:①反演结果与已钻井是否吻合;②反演结果与岩石物理分析的结果是否一致,即反演结果中异常部分是否对应特定岩性或流体。如果根据岩石物理分析,密度能很好地区分砂岩与泥岩,而实际的反演结果却不能区分,则表明叠前密度反演质量较差。造成这种结果的原因可能是地震数据的信噪比较低;或地震数据的信噪比较高,但叠前密度反演的精度较低。

从过永 X14-1 井叠前密度反演剖面(图 2)可以看出,反演结果与岩石物理分析规律一致,测井密度曲线与叠前密度反演结果较为吻合,低密度异常区(密度小于  $2.59 \text{ g/cm}^3$ )的连续性好,反演结果的横向及纵向分辨率较高,较好地反映了储层的分布特征。

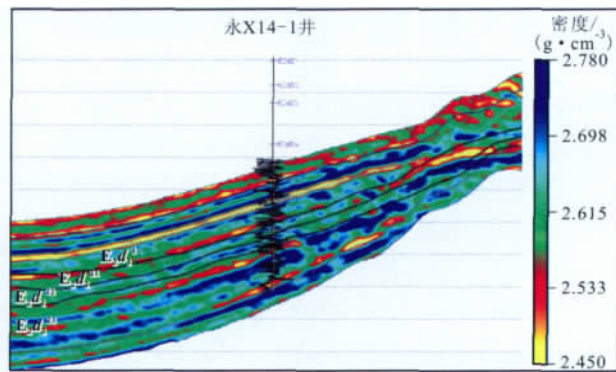
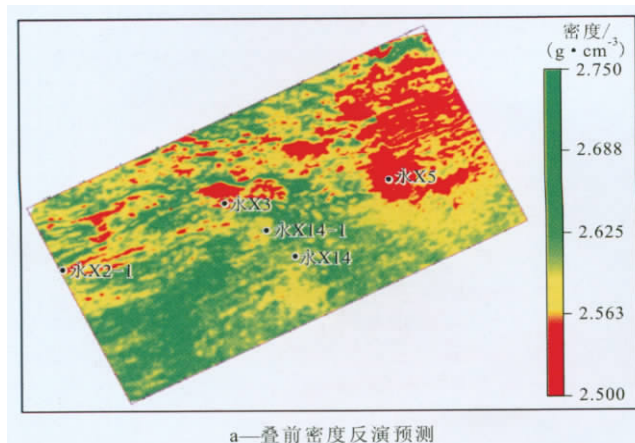
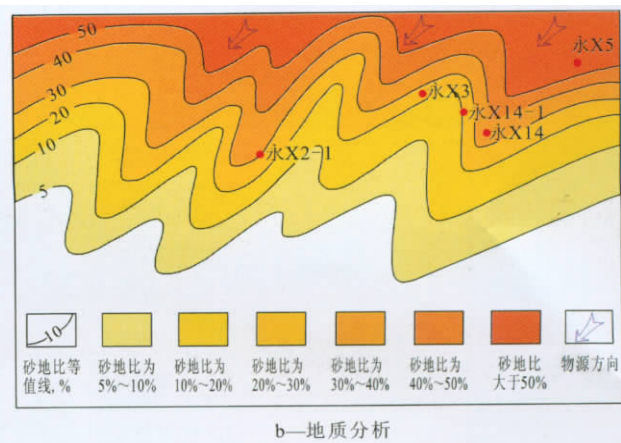


图 2 过永 X14-1 井叠前密度反演剖面



a—叠前密度反演预测



b—地质分析

图 3 永区  $E_2d_1^{23}$  储层叠前密度反演预测与地质分析对比

的展布(密度小于  $2.59 \text{ g/cm}^3$  的低密度异常区)与沉积体系的空间展布特征基本一致,且有利砂体发育区主要受沉积控制,属典型的相控类型<sup>[14]</sup>。

#### 4.2 烃类预测

利用叠前密度反演结果对研究区  $E_2d_1^{23}$  的 3 个砂组进行烃类预测(图 4)。永 X3 井  $E_2d_1^{23}$  试油为油水同层,叠前密度反演结果为低密度异常;永 X5 井  $E_2d_1^{23}$  测井解释为油层,叠前密度反演结果为低密度异常;而永 X2-1 井  $E_2d_1^{23}$  测井解释为油层,叠前密度反演结果为无低密度异常。表明研究区地层岩石物理性质较为复杂,利用叠前密度反演难以完全揭示油气在储层中的分布特征,仅能预测部分烃类储层的分布,但对苏北盆地东台坳陷的油气勘探具有一定的参考价值,在实际工作中应结合沉积相及层序地层学进行综合分析。

## 4 储层及烃类预测

### 4.1 储层预测

通过对研究区的地层对比发现,  $E_2d_1^{23}$  主要发育  $E_2d_1^{21}$ ,  $E_2d_1^{22}$  和  $E_2d_1^{23}$  共 3 个砂组,因此,应结合各砂组的砂体分布特征对  $E_2d_1^{23}$  进行储层预测。对 3 个砂组发育的层位进行精细解释,根据其发育情况时窗选取为 30 ms,对叠前密度反演数据体提取各砂组的密度属性,并以密度为  $2.59 \text{ g/cm}^3$  作为临界值,小于该值则预测为储层。

从密度属性预测有利砂体展布与沉积相地质分析结果对比(图 3)可以看出,研究区  $E_2d_1^{23}$  主要为三角洲前缘朵叶体的 2 个主要分支体系,物源主要来自东北部,砂体发育自东北向西南逐渐变差,东北部砂体分布范围广,西南部砂体分布局限。预测砂体

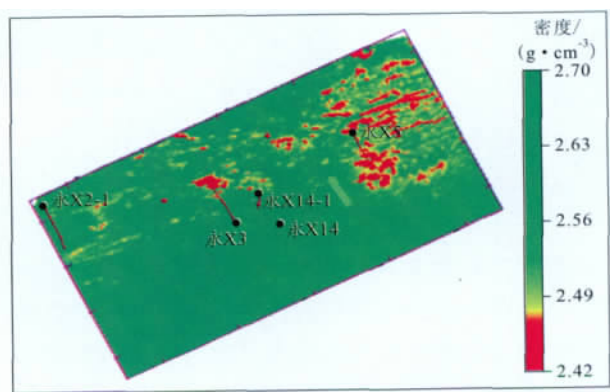


图 4 叠前密度反演预测永区  $E_2d_1^{23}$  砂组烃类平面分布

## 5 结束语

岩石物理弹性参数敏感性分析与叠前地震反演



技术的有效结合,可以很好地揭示研究区的储层及流体特征。针对研究区进行叠前密度反演,以密度为  $2.59 \text{ g/cm}^3$  作为临界值,小于该值预测为储层,较好地预测了研究区的储层展布特征。由于储层的复杂性,叠前密度反演难以完全揭示油气的分布特征,以密度为  $2.467 \text{ g/cm}^3$  作为有效烃类检测的临界值,仅能区分部分烃类储层。研究结果为苏北盆地东台坳陷的油气勘探提供了参考,但针对烃类预测仍属于探索性研究,应加强沉积相及层序地层学研究,结合多属性分析对研究区复杂储层的油气进行预测。

**致谢:** 在论文的编写过程中,得到了杨建立博士及常新伟高级工程师的指导,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] 周锦明,熊翥.地震数据精细处理[M].北京:石油工业出版社,2003:98-102.
- [2] 乔玉雷.孔隙流体对岩石物理弹性参数的影响及敏感属性参数优选——以济阳坳陷为例[J].油气地质与采收率,2011,18(3):39-43.
- [3] Dave Hinkley,Glenn W Bear,Cas Dawson. Prestack gather flattening for AVO[C]. SEG 74th Annual Meeting,Denver,USA,2004:271-273.
- [4] 吴常玉,肖淑明,王立军.井震约束下的高分辨率层序地层学对比方法及其应用[J].油气地质与采收率,2009,16(3):61-64.
- [5] 刘玉瑞.苏北盆地油藏类型与成因机制探讨[J].油气地质与采收率,2011,18(4):6-9.
- [6] Li Yongyi. Density anomaly indicators and application[C]. SEG 76th Annual International Meeting,New Orleans,USA,2006:299-303.
- [7] Yang Jianli,Mao Haibo,Chang Xinwei. Lambda - mu - rho inversion as a fluid and lithology discriminator in the Columbus Basin, offshore Trinidad [C]. SEG 77th Annual International Meeting, San Antonio,USA,2007:214-218.
- [8] Yang Jianli,Mao Haibo,Chang Xinwei. Mu - rho direct inversion for volcanic rock reservoir prediction: A case study of the Dinan Field, Junggar Basin [C]. SEG 78th Annual International Meeting, Las Vegas,USA,2008:252-255.
- [9] Roderick W, Van Koughnet, Charles M Skidmore, et al. Prospecting with the density cube[J]. The Leading Edge, 2003, 22(10): 1 038-1 045.
- [10] Yang Jianli, Chang Xinwei, Chen Dunchan, et al. Pre - stack density inversion for gas - saturated carbonate prediction in M block [C]. SEG 80th Annual International Meeting, Denver, USA, 2010:449-452.
- [11] 全敏波,景春利,刘英明,等.叠前地震直接定量反演方法在火成岩储层预测中的应用研究[J].地球物理学进展,2011,26(5):1 741-1 747.
- [12] 李爱山,印兴耀,陆娜,等.两个角度弹性阻抗反演在中深层含气储层预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2009,44(1):87-92.
- [13] 王西文,苏明军,徐尚成,等.叠前地震反演在柴达木盆地三湖地区天然气预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2008,43(3):300-307.
- [14] 张恒,孙海龙.相控模式下的储层预测方法与应用——以海坨北地区青山口组为例[J].油气地质与采收率,2010,17(2):60-63.

编辑 邹淑滢

## 《油气地质与采收率》2012年第5期要目

王端平等 复杂断块油藏层块分类评价与挑整  
刘鑫金等 东营凹陷北部陡坡带砂砾岩油藏类型及演化序列  
李春林等 大民屯凹陷构造应力场及其与油气运聚关系  
才博等 提高改造体积的新裂缝转向压裂技术及其应用  
肖阳等 缝洞型碳酸盐岩油藏开发动态分析方法研究

徐志诚等 西非海岸盆地深水区油气地质特征和勘探前景  
杨帅等 海上油田聚合物驱后残留聚合物性质对再利用效果的影响  
廖莎莎等 基于地壳热结构分析法的沉积盆地古地热场三维动态模拟——以东营凹陷牛庄—王家岗地区为例



China

**Tong Minbo, Gao Fei, Li Chunxia et al. Pre-stack density inversion in reservoir and hydrocarbon prediction application in Yong block, Subei Basin. *PGRE*, 2012, 19(4):42–45.**

**Abstract:** Yong block is located in the center of Dongtai depression in north Subei Basin, and its reservoir type is complex and diverse. This paper predicts reservoir and hydrocarbon in study area using pre-stack seismic inversion method which is used to guide the rock-physics analysis. With log data correction and standardization, the log curves perform the real stratigraphic rock characteristics, and then carry out the effective stratigraphic correlation to ensure the accuracy of geological understanding. With different lithology and fluid rock-physics sensibility analysis, we distinguish reservoir sands and hydrocarbon, and then identify the best parameter for pre-stack inversion. According to system analysis of elastic parameters of seismic rock physics, and aimed at the complex reservoir characteristics in study area, we combine the rock-physics analysis with pre-stack seismic inversion technology and using approximate Zeoppritz equation method to predict the reservoir sands and hydrocarbons. Finally, combined the well with seismic correction, the results indicate that: pre-stack inversion results can predict reservoir sands distribution well, because of the limit of reservoir itself complexity, hydrocarbons prediction can't exposit its distribution characteristics completely. The next step of oil and gas exploration should enhance the study of sedimentary facies and sequence stratigraphy.

**Key words:** petrophysics; sensitivity; pre-stack seismic; density inversion; hydrocarbon prediction

**Tong Minbo**, Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd, Xi'an City, Shaanxi Province, 710075, China

**Wang Jun, Lü Xiaowei, Wang Lixin. Model-based relative-amplitude-preserved estimation methods and application of seismic processing technology. *PGRE*, 2012, 19(4):46–49.**

**Abstract:** Now, there are few effective methods in the relative amplitude preserved estimation of seismic processing technology. It is difficult to evaluate the amplitude-preserved feature using real seismic data, which are affected by many factors such as noise, surface condition, and so on. Based on model data, four kinds of amplitude-preserved estimation methods are proposed, including amplitude statistics curve, residual difference, amplitude ratio and AVO attribute-preserved method. In addition, using model data, the amplitude-preserved features of some key processing techniques are estimated by means of methods mentioned above. By the estimation result, processing parameters and flows can be optimized for geometrical spread compensation, predictive deconvolution and surface consistent amplitude compensation techniques. In consequence, the research is very useful for the improvement of amplitude-preserved of seismic processing results.

**Key words:** forward model data; relative amplitude preserve; residual difference; amplitude curve; deconvolution; amplitude compensation

**Wang Jun**, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing City, 100871, China

**Song Xinwang, Li Zhe. Study on seepage characteristics of hydrophobic associated polymer in porous media. *PGRE*, 2012, 19(4):50–52.**

**Abstract:** In order to know whether the hydrophobic association polymer can keep high effective viscosity during migration in porous media, different types of hydrophobic association polymer solution character evaluation and physical simulation test are discussed in the paper to give guidance to the field application. The viscosifying performance is tested for different types of polymer solution with different concentration and shear rate. It shows that hydrophobic association polymer has better viscosifying performance than traditional HPAM in high concentration, but shear rate takes great effect on its pseudo-viscosity. It also shows that ultra high molecular weight hydrophobic association polymer with high molecular weight and some degree of association action performs well viscosifying capacity and even pressure transmitting character in porous media by the test of effective apparent viscosity, flow migration characteristic and displacement characteristics. It perhaps has well application feasibility as oil displacement agent. And, the traditional hydrophobic association polymer with its viscosity generation mainly depending on intermolecular association action perhaps should be further improved as oil displacement agent.

**Key words:** hydrophobic association polymer; viscosity; porous media; filtering flow; injection pressure; displacement performance

**Song Xinwang**, College of Chemical Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing City, 102249, China

**Yuan Shibao, Sun Xiyong, Jiang Haiyan et al. Ignition experimental analysis of in-situ combustion under condition of preheating. *PGRE*, 2012, 19(4):53–55.**

**Abstract:** In-situ combustion is an important way of development mode on heavy oil reservoir, and it is increasingly becoming one of the key replacing technologies after steam soaking. Ignition is the first link in the process of in-situ combustion, in order to examine the different impact of reservoir conditions on ignition combustion and improve the thermal efficiency and success rate of ignition, the impacts for crude oil of different preheating temperature (210 ~ 300 °C), different flow rate and combustion adjuvant with combustion tube experiments are studied. It concluded that, based on a certain air flux, high preheating temperature is beneficial to reservoir fast ignition, and combustion adjuvant can improve the combustion status of crude oil. For in-situ combustion test, preheating, combustion adjuvant technology is a simple and effective combustion ignition technology, so it is worthy of promotion and application.

**Key words:** laboratory experiment; in-situ combustion; preheating; combustion adjuvant; ignition; thermal recovery

**Yuan Shibao**, College of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an City, Shannxi Province, 710065, China