

# The Application of Seismic Sedimentology in the Study of Sedimentary Facies in Niger Delta

Fuhai Zhao

Exploration Division, Daqing Oilfield Co. Ltd., PetroChina, Daqing Heilongjiang  
Email: zfh521@petrochina.com.cn

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 9<sup>th</sup>, 2017; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The essence of seismic sedimentology was to use seismic exploration technology and method for the auxiliary study of sedimentary facies; its methods included seismic reflection, seismic attribute, wave impedance and the analysis of seismic waveform characteristics. The study of seismic sedimentology integrated the high precision vertically and the high density horizontally of well logging. It is especially suitable for exploration in the basins where less wells were drilled at the initial stage of exploration. The sedimentary facies developed in Niger Delta included distributary channel, interdistributary sands, swamp depression and mouth bar. Under the constraint of drilling in the studying area, by using acoustic impedance inversion and seismic waveform classification D sand layer of Agbata sedimentary facies which is identified, the purpose of sedimentary facies division with seismic sedimentology in less well areas is obtained.

## Keywords

Seismic Facies, Acoustic Impedance, Cluster of Waveform, Niger Delta

---

# 地震沉积学在尼日尔三角洲沉积相研究中的应用

赵福海

中石油大庆油田有限责任公司勘探事业部, 黑龙江 大庆

作者简介: 赵福海(1978-), 男, 工程师, 现主要从事地震资料解释、地质研究及井位部署等工作。

Email: zfh521@petrochina.com.cn

收稿日期: 2017年3月27日; 录用日期: 2017年5月9日; 发布日期: 2017年6月15日

## 摘要

地震沉积学的核心内容是利用地震勘探技术与方法进行沉积相的辅助研究, 其研究方法包括地震反射结构、地震属性、波阻抗和地震波形特征分析等。地震沉积学的研究, 综合了测井相纵向上的高精度和地震资料横向上的高密度特性, 特别适合于钻井稀少的盆地前期勘探阶段。尼日尔三角洲发育的沉积微相类型主要包括水下分流河道、分流间湾、沼泽洼地、河口砂坝等, 利用波阻抗反演和地震波形分类等地震沉积学研究方法, 在研究区内钻井的约束下, 划分出阿格巴达组D砂层的沉积相, 达到了在少井区利用地震沉积学进行沉积相划分的目的。

## 关键词

地震沉积学, 波阻抗, 波形聚类, 尼日尔三角洲

Copyright © 2017 by author, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

1998年, Zeng, H. L.等[1]首次使用地震沉积学一词, 并于2001年正式提出地震沉积学是利用地震资料来研究沉积岩及其形成过程的一门学科[2]。随着现代地震勘探技术的进步, 地震沉积学的理论体系及研究应用也得到了不断发展与完善[3][4]。

地震沉积学主要是在地质规律的指导下, 利用地震信息和现代地球物理技术进行地层岩石、沉积史、沉积结构、沉积体系和沉积相平面展布的研究[5]。地震沉积学的理论基础是现代沉积学和地球物理学。对于地震沉积学而言, 沉积学是其研究的目标, 而现代地震勘探技术与方法是其必要的技术手段与支撑[6], 所研究的地震相为各类沉积相(微相)在地震剖面上表现的总和[7], 是特定地质体或沉积体系的地震响应。

## 2. 地震沉积学研究思路与研究内容

地震沉积学出现于地震地层学和层序地层学之后, 在沉积相分析方面有着广泛应用, 它是利用地震

资料解释沉积环境和岩相,其目的是在区域地层解释的基础上,确定沉积体系、岩相特征,并解释沉积发育史[8]。地震沉积学的主导思想是在地质规律的指导下,结合单井(或连井)沉积相研究,应用地震资料的平面属性特征来研究沉积岩石学、岩相古地理、沉积模式等,在钻井资料较少的地区有着显著的应用效果[9][10][11]。

地震沉积学主要包括以下内容:①通过现代沉积和露头研究,建立地质模型;②选取适当的岩石物理参数,构建与地质模型相匹配的地震正演模型体,确立各类地质模型的地震响应特征;③在正演基础上,对地震资料进行高精度层序地层学分析,建立沉积体系的空间分布规律;④充分利用地震分析技术和成像技术对储集体进行精细描述,从而得出全面准确的沉积学认识,进而指导有利区带的预测[12]。因此,进行地震沉积学研究需要将现代地震勘探技术与传统的沉积学、地质学研究方法进行综合研究与应用。

地震沉积学研究是在对地震资料进行精细解释的基础上研究与分析沉积环境,其研究内容可概括为2个方面:一方面,地震沉积学分析必须掌握沉积体系在三维空间分布相带上的特点,以便能在单井相或连井相资料约束下进行沉积体系发育研究;另一方面,要精通地震勘探原理,了解各种地震属性参数(主要指反射结构、连续性、外部几何形态、波阻抗、层速度、振幅、频率和地震波形等)所代表的地质意义[13][14]。

地震沉积学分析技术主要包括地震反射结构分析、地震属性分析、波阻抗反演以及波形聚类分析等[15]现代地震勘探技术。

### 3. 研究区地质概况

研究区为非洲大陆西部尼日尔三角洲盆地的一个三维地震覆盖区,三维地震满覆盖面积 274.7 km<sup>2</sup>。区内有 6 口钻井,其中 4 口井钻遇油气层,其余见显示,表明该区具有很好的油气勘探前景。

研究区所处的尼日尔三角洲盆地位于非洲大陆架西岸的白垩纪裂陷槽,处于洋壳与陆壳接合部位,为典型的被动大陆边缘。自白垩纪~古近纪以来,一直连续接受了巨厚的沉积,盆地中心沉积岩厚度超过 12000 m,沉积地层主要包括白垩系、古近系及新近系。

尼日尔三角洲主要为海退沉积体系,其类型属于浪控-潮控三角洲,主要发育水下分流河道、分流间湾、沼泽洼地、河口砂坝等多种沉积微相。近年来,尼日尔三角洲主要勘探目的层为阿格巴达组,其沉积体系为近岸-三角洲前缘相碎屑沉积,由多个海退沉积韵律组成。韵律层的底部一般为海侵体系砂岩,其上被海相泥岩所覆盖,在往上则发育河流-海相沉积砂岩,包括障壁砂坝、点坝、沟道砂等沉积微相类型。

阿格巴达组为砂泥岩地层,由上至下分为 A、B、C、D 共 4 个砂层,其中 D 砂层是重要的产层。由于区内钻井较为稀少,平面上的沉积亚相、微相无法用井控制,有利砂体发育区范围亦不清楚,造成下一步勘探方向不明确。为此,该次研究以单井相为约束,结合地震资料,开展了尼日尔三角洲盆地阿格巴达组 D 砂层的地震沉积学研究。

结合研究工作的需要,利用测井资料对 D 砂组各类岩石的速度和密度进行统计分析,以求得砂、泥岩间的波阻抗关系。通过统计, D 砂层岩性与速度的关系为:砂岩速度大于泥岩速度,且在密度值上砂岩亦大于泥岩。因此, D 砂层的砂岩与泥岩存在较大的波阻抗差(砂岩波阻抗大于泥岩波阻抗),为利用波阻抗特征区分砂、泥岩进行沉积相研究奠定了地球物理基础。

### 4. 地震沉积学的应用

地震沉积学的实质就是利用地震资料辅助研究沉积相,也就是说在测井相约束下,充分运用各类地

震研究方法和手段来研究沉积体系的结构和沉积相的分布。该次地震沉积学研究采用的地球物理技术方法主要为测井约束波阻抗反演和地震波形聚类分析[16]。

#### 4.1. 测井约束波阻抗反演

地震勘探的地质基础是利用地下地层界面间存在的波阻抗差异，因此进行岩性解释和沉积相研究的关键技术就是测井约束波阻抗反演。著名地球物理学家李庆忠院士曾提出，做了反演的波阻抗剖面也属于应交到地质人员手中的地震资料之一[17]。

波阻抗反演的技术核心在于由地震资料正确估算地层反射系数，主要软件为 Jason 和 Hampson-russell (HRS)，典型的实现方法为稀疏脉冲反演。稀疏脉冲反演是一种基于稀疏脉冲反褶积的波阻抗递推反演方法，主要包括最大似然反褶积，L1 模反褶积和最小熵反褶积[18]。测井约束波阻抗反演充分利用了测井资料纵向上的高精度性和地震资料横向上的高密度性，能够较为准确地研究沉积结构、沉积体系和沉积相平面展布。

利用研究区内 6 口探井，以 D 砂层为目的层进行波阻抗反演，求得研究区三维波阻抗体，然后进行波阻抗体平面属性提取，其时窗为沿 D 砂层顶面下延 50 ms，提取时窗内波阻抗的均方根值，得到 D 砂层波阻抗平面分布图(图 1)。由于区内砂岩的波阻抗大于泥岩的波阻抗，故在平面图上波阻抗大的区域就是砂岩的发育区；研究区东北部和南部 2 个大断裂所夹地区以红黄色调为主，反映出该区域的砂体较为发育，而中部地区则以蓝色调为主，为波阻抗低值区，预示着泥岩的发育。

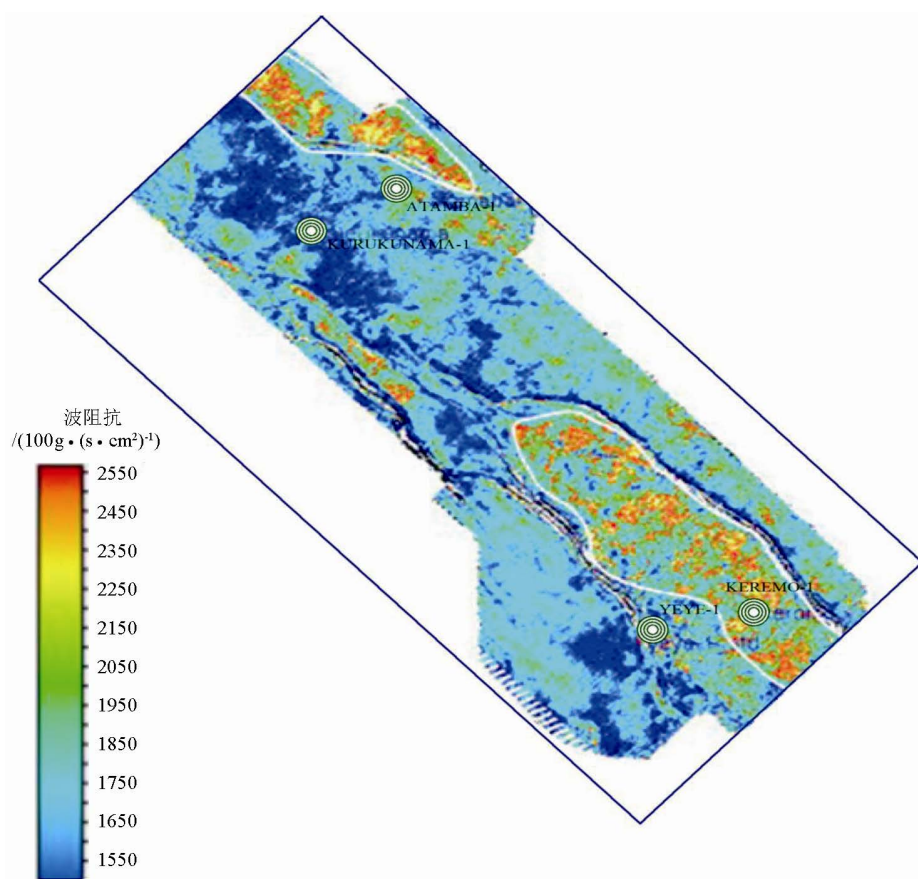


Figure 1. The plane distribution of wave impedance in D sand group

图 1. D 砂层波阻抗平面分布图

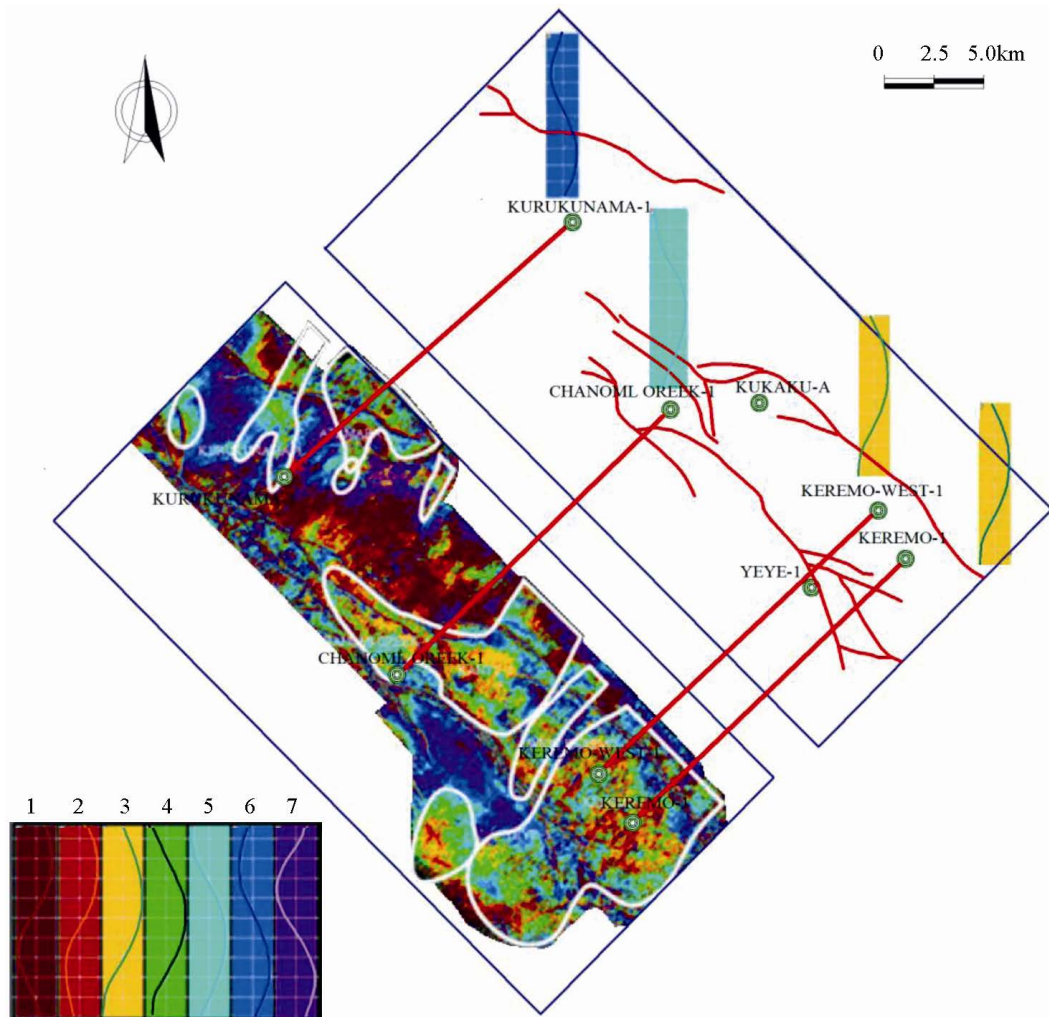


## 4.2. 地震波形聚类分析

地震波形分类法或地震波结构分析,其理论依据是地下沉积地层的任何变化都会引起地震波形变化,也就是说,不同类型的岩石地层、构造特征及地球物理特征的变化都将引起地震波反射特征的改变[19]。

地震波形分类技术是重要的、适合岩性勘探的地震相研究方法,它是在工区内各井地震地质层位标定的基础上,分析各井在实际地震剖面上的地震反射波,将其分类归纳成几种地震波形;然后根据类比相似原理对全工区的地震道进行分类,建立地震波形聚类图;最后根据地质、测井资料对相应的地震波形做出合理、准确的地质解释,即将地震波形聚类图转化成沉积相图。

该次研究中,根据单井相研究成果,取时窗为沿 D 砂层顶下延 50 ms,将时窗内地震波形特征分成 7 类,对它们赋予不同的颜色并编制地震相的平面分布图(图 2)。在 D 砂层地震相平面图中,位于研究南部的 KEREMO-1 井和 KEREMO-WEST-1 井处的 D 砂层,砂体较为发育,对应颜色为黄色;东北部钻井区(KURUKUNAMA-1 井)处的砂体发育相对较差,对应颜色为浅蓝色。从单井相研究结果来看,砂体发育部位多为三角洲前缘水下分流河道微相沉积,泥岩发育部位多为前三角洲沉积。结合波阻抗反演的研究成果,可以做出 D 砂层的沉积相图,从而达到利用地震相辅助研究沉积相的目的。



**Figure 2.** The plane graph of seismic phase in D sand group (seismic waveform graph clustering)  
**图 2.** D 砂层地震相平面图(地震波形聚类图)

### 4.3. 阿格巴达组 D 砂层沉积相特性

根据地质资料,阿格巴达组沉积时期基本上是一个连续水退的过程,沉积物自下而上呈反韵律特征,河流携带的大量泥沙在河口处形成河口砂坝,然后在波浪、沿岸流及潮汐的作用下重新分配,形成平行海岸的障壁砂坝、垂直海岸的潮汐砂坝等砂体。综合单井相、波阻抗和地震波形聚类研究成果,编制了 D 砂层沉积相图(图 3)。研究区砂体发育区域为三角洲前缘相(强波阻抗、黄绿色波形区),而砂体不发育区则为前三角洲相(低波阻抗、棕色及蓝色波形区)。D 砂层在研究区内主要发育三角洲前缘-前三角洲沉积,分 2 个物源:北部朵叶体面积较小,南部物源向海推进较远,水下分流河道非常发育,特别是在南部的几口钻井区,是 D 砂层有利的储层发育地带。

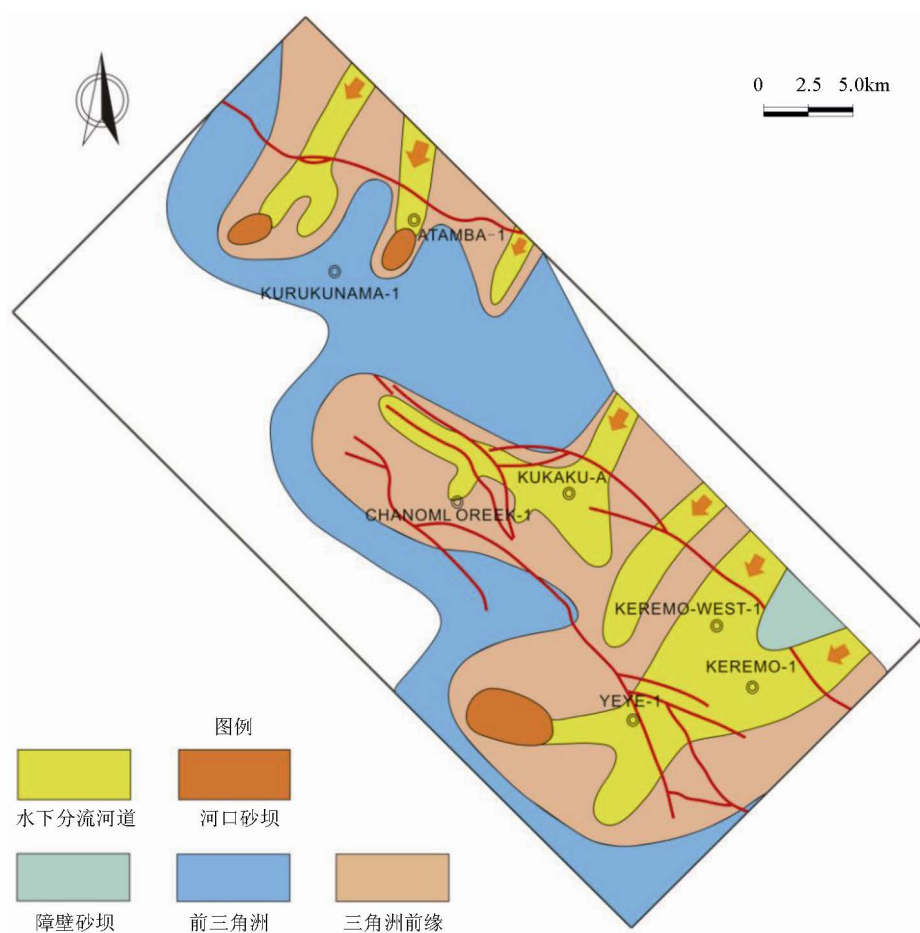


Figure 3. The plane graph of sedimentary facies for D sand group  
图 3. D 砂层沉积相平面图

## 5. 结语

地震沉积学研究是在现代沉积学思想指导下,以现代地震勘探技术为手段,开展沉积相和沉积体系研究,其研究工作的成败与研究结果的精细程度都将取决于现代地球物理勘探技术的应用程度。

该次研究利用波阻抗反演和波形聚类的方法,结合单井相研究,成功地进行了研究区的沉积微相划分,确定了各类沉积微相边界,并指出研究区南部及东北部是砂体的主要发育区。

随着地震勘探技术的不断发展和完善,地震资料不仅应用于单纯的构造解释,而且广泛应用于储层

预测和沉积相研究。在与地质背景紧密结合的前提下,应用地震沉积学的理论与工作方法,将具有纵向上高精度的测井资料与横向上高密度的地震资料充分融合,准确、高效地进行沉积相及沉积体系的研究。

## 基金项目

国家重大科技专项(2008ZX05002)。

## 参考文献 (References)

- [1] Zeng, H.L., Stephen, C.H. and John, P.R. (1998) Stratal Slicing, Part II: Real 3-D Seismic Data. *Geophysics*, **63**, 514-522. <https://doi.org/10.1190/1.1444352>
- [2] Zeng, H.L. and William, A.A. (2001) Seismic Sedimentology and Regional Depositional Systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela. *The Leading Edge*, **20**, 1260-1269. <https://doi.org/10.1190/1.1487259>
- [3] 林正良, 王华, 李红敬, 等. 地震沉积学研究现状及进展综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(5): 131-137.
- [4] 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 69-72.
- [5] 刘保国, 刘力辉. 实用地震沉积学在沉积相分析中的应用[J]. 石油物探, 2008, 47(3): 266-271.
- [6] 魏嘉, 朱文斌, 朱海龙, 等. 地震沉积学——地震解释的新思路及沉积研究的新工具[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 31(2): 95-101.
- [7] 王晓平, 陈波, 臧殿光, 等. 地震相分析技术在伊通地堑储层沉积特征分析中的应用[J]. 石油物探, 2008, 47(2): 172-178.
- [8] 颜世翠. 基于沉积参数的地震相分析新方法[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(2): 252-255.
- [9] 程耀清, 蔡冬梅. 地震相技术应用实例[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(增刊): 79-82.
- [10] 刘文岭, 牛彦良, 李刚, 等. 多信息储层预测地震属性提取与有效性分析方法[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 100-106.
- [11] 乐友喜, 王永刚, 张军华. 由地震属性向储层参数转换的综合效果分析[J]. 石油物探, 2002, 41(2): 202-206.
- [12] 张建宁, 韩文功. 东营凹陷浊积砂体叠后地震属性与储层物性相关性研究[J]. 石油物探, 2012, 51(2): 204-212.
- [13] 闫安菊, 阎建国, 全紫荆, 等. 地震相不同分类方式的作用及在储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2013, 35(3): 259-265.
- [14] 尹青, 万朝大, 刘伟君, 等. 地震相分析及其在石油勘探中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(1): 80-84.
- [15] 冯磊, 李光明. 多属性模糊聚类在辽河滩海沉积相研究中的应用[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(6): 2622-2630.
- [16] 杨占龙, 彭立才, 陈启林, 等. 地震属性分析与岩性油气藏勘探[J]. 石油物探, 2007, 46(2): 131-136.
- [17] 马劲风, 王学军, 贾春环, 等. 波阻抗约束反演中的约束方法研究[J]. 石油物探, 2000, 39(2): 2-63.
- [18] 张明振, 印兴耀, 谭明友, 等. 对测井约束地震波阻抗反演的理解与应用[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(6): 699-702.
- [19] 师永民, 祁军, 张成学, 等. 应用地震波形分析技术预测裂缝的方法探讨[J]. 石油物探, 2005, 44(2): 128-130.

[编辑] 龚丹