

# 油气工业地震勘探大数据面临的挑战及对策

王喜双<sup>1</sup> 赵邦六<sup>1</sup> 董世泰<sup>2</sup> 张 研<sup>2</sup> 易维启<sup>1</sup> 徐光成<sup>2</sup>

(1 中国石油勘探与生产分公司; 2 中国石油勘探开发研究院)

**摘 要:** 油气勘探开发精度的不断提高, 促进了“两宽一高”和单点高密度地震技术的推广应用, 油气工业地震勘探大数据时代不期而至, 对野外地震数据采集、质量监控、数据处理、信息挖掘等带来了新的挑战, 以往的地震采集管理模式、数据处理解释环境已显得力不从心。根据石油天然气地震勘探大数据体面临的问题, 提出了应用轻便地震仪器、量化质量控制、可控震源高效采集、数据挖掘等技术对策, 以应对地震勘探大数据面临的挑战。

**关键词:** 油气工业; 地震; 采集; 大数据; 挑战; 对策

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

## Challenges and Strategies for Large Seismic Exploration Data of Oil and Gas Industry

Wang Xishuang<sup>1</sup>, Zhao Bangliu<sup>1</sup>, Dong Shitai<sup>2</sup>, Zhang Yan<sup>2</sup>, Yi Weiqi<sup>1</sup>, Xu Guangcheng<sup>2</sup>

(1 PetroChina Exploration and Production Company; 2 PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development)

**Abstract:** The single sensor high-density seismic technology has been put into wide application thanks to continual improvement of oil and gas exploration and development accuracy. The era for large seismic exploration data of oil and gas industry is coming unexpectedly, thus leading to a series of challenges for field seismic data acquisition, quality control, data processing and information study. The past seismic acquisition management pattern and data processing and interpretation environment are obviously out of date. Focusing on the issues facing oil and natural gas seismic exploration data, this paper proposes a series of technological strategies, such as use of light seismic instruments, quantification of quality control, high-efficiency acquisition of controllable source and further study of data, in cope with the challenges facing large seismic exploration data.

**Key word:** oil and gas industry, seismic, acquisition, large data, challenge, strategy

自20世纪20年代国际上应用地震技术寻找石油资源以来, 地震技术发展经历了光点地震、模拟磁带地震、数字地震、24位模数转换的多道三维地震4个阶段。

世界石油工业发展史和中国油气勘探开发的实践都充分证明, 地震技术是寻找地下油气资源无可替代的开拓者和先行者。在我国现已发现的所有油气田中, 除老君庙油田、延长油矿及西部少数油田是早期经地面地质调查发现的以外, 90%以上的油气田都是用物探方法首先查明地下构造情况, 找出适合于油气聚集的构造和圈闭, 定探井后打井出油气发现的<sup>[1,2]</sup>。

随着油气勘探开发程度的不断深入, 地质学家希

望以更精确的地震勘探资料识别岩性、断块和储层, 这就需要有更多的、更密集的地震波“射线”穿越地下地层, 广角度宽方位三维地震数据采集、高密度地震数据采集已成为当前的主流地震采集技术, 与2000年前后的地震数据量相比, 野外原始单炮数据量和单位面积数据量呈一个数量级到几个数量级增长。如2004年辽河马圈子—清水地区三维采集, 采用2016道接收、2ms采样、6s记录, 炮密度52炮/km<sup>2</sup>, 单炮数据量约为17.7Mb, 单位面积数据量为921Mb。2014年在辽河雷家三维采用11264道接收、1ms采集、7s记录, 炮密度227炮/km<sup>2</sup>, 单炮数据量约231Mb, 单位面积数据量为52.4Gb, 分别是2004年

第一作者简介: 王喜双(1957-), 男, 湖北十堰人, 博士, 1995年毕业于中国国家地震局地质所, 教授级高级工程师, 中国石油勘探与生产分公司物探技术管理处, 长期从事油气勘探、物探技术应用研究与管理。地址: 北京市东城区东直门内大街9号中国石油勘探与生产分公司, 邮政编码: 100007。E-mail: xswang@petrochina.com.cn

收稿日期: 2014-04-03; 修改日期: 2014-05-07

马圈子—清水地区的13倍和57倍。随着大道数无线遥测仪器和百万道仪器的诞生,全方位采集呼之欲出,原始地震数据量将呈现指数增长,物探大数据时代已经到来。

## 1 地震勘探大数据的特点和面临的挑战

### 1.1 特点

大数据体是指信息量特别大的数据集,具有以下4个特点,简称“4V”特点<sup>[3]</sup>:数据体量(Volumes)大,一般在10TB规模左右甚至PB级的数据量;数据类别(Variety)大,数据来自多种数据源,数据种类和格式日渐丰富,已冲破了以前所限定的结构化数据范畴,囊括了半结构化和非结构化数据;数据处理速度(Velocity)快,在数据量非常庞大的情况下,也能够做到数据的实时处理;数据真实性(Veracity)高,随着数据采集源的多渠道和真实透明,传统数据源的局限被打破,识别有效信息的能力进一步提高。

### 1.2 面临的挑战

地震勘探大数据体是一个广袤的概念,与计算机网络信息处理中的大数据不同,是由物探人员根据地质研究的需求<sup>[4, 5]</sup>,按照地球物理原理部署地震采集并进行处理分析的数据,类型包括地震波数据,重磁电数据,以及各种地表辅助信息,囊括了地震数据采集的过程、数据的管理和处理、多信息综合解释、信息挖掘等方面,使得地震勘探大数据时代相对于以往物探工作面临诸多挑战。

#### 1.2.1 野外采集动用资源多,面临现场高效管理的挑战

物探特别是地震勘探野外数据采集动用资源庞大,高密度地震数据<sup>[6~8]</sup>更为突出。以辽河雷家三维地震采集项目为例,满覆盖面积210km<sup>2</sup>,在地震勘探项目中属于小型项目,采集观测系统为32L(线)10S(炮)352T(道)1R(检波器),面元10m×10m,覆盖次数256次,排列片接收道数11264道,接收线距和炮线距均为200m。地表村镇、养殖区、河流等障碍区占27.3%。为了得到好资料,进行了变观设计,障碍区利用可控震源加密施工,设计总炮数达到74420,平均炮密度达到354炮/km<sup>2</sup>。野外动用地震数据采集仪器21000道,检波器21000只,可控震源车3台,钻井设备84台,测量设备20台,机动设备106台,质量控制软件3套,人员821名(不含钻井人员),动用资源是以往三维地震采集的5倍。

野外生产平均日效1059炮,最高日效超过1800炮。

如此庞大的野外设备和施工队伍,在高效采集要求下,现场施工面临设备管理、工农关系协调、施工窗口选择、安全、HSE、数据质量等诸多挑战。

#### 1.2.2 野外数据量大,施工快,面临快速准确数据质量监控的挑战

随着“两宽一高”技术的进一步推广以及单点地震技术的推广<sup>[9, 10]</sup>,原来的野外组合叠加逐渐被淘汰,取而代之的是通过室内处理进行压噪,对信号和噪声“宽进宽出”、充分采样,有利于提高信号的保真度、静校正精度、分辨率和压噪效果。野外道密度和炮密度均有较大幅度的提高,生产总炮数是以往的几倍,单炮记录上万道,为了保证工期,要求每日生产效益提高数倍,给野外现场质量控制带来了巨大的挑战。

①上万道的回放记录需要数米长的热敏纸,且需耗时几分钟。如中古8三维全方位、高密度采集,在线接收道数15488道,传统的人工质量监控,打印一炮记录需7min,人工粗略浏览需要1~1.5min,累计需要8~9min完成一炮的粗略质量控制,而且野外质量控制人员很难在几米长的记录上发现某些道的特殊质量问题。②人工检查记录的准确性不高,带有技术人员的主观意识。③难以满足高效采集要求,如果质量控制需要8~9min,野外数据采集和记录需要30s,则每一炮需要10min,1h只能放6炮,如此速度既不能满足工期要求,也使得野外单炮采集成本大幅度上升。

#### 1.2.3 数据量大,面临海量数据管理和处理能力的挑战

大数据量的物探数据堪称海量数据,对数据处理的软硬件和处理技术要求高。一是系统资源占用率高,对海量数据进行处理,除了好的方法外,最重要的就是需要配备充足的计算机及外设资源,并合理分配系统资源。一般情况,如果处理的数据超过TB级,小型机(小于1000核)则难以满足处理进度要求,必须加大CPU和内存,就像面对着千军万马,光有勇气没有一兵一卒是很难取胜的。二是海量数据输入输出管理,什么情况都可能存在,例如,数据中某处数据交换出了问题,尤其在程序处理时,前面还能正常处理,突然到了某个环节数据交换出现问题,程序终止,对于海量数据,需要大量的存储设备和稳定的数据输入输出管理技术。三是海量数据要求很高的处理方法和技巧,好的处理方法是一位工程师长期工作经验的积累,也是个人经验的总结。对于不同区块的数据,没有一成不变的处理流程和参数,不同工区有不同的流程组合和参数,需要反复试验<sup>[11]</sup>,对于海量数据,

一个参数的试验可能需要耗费几天甚至更长的时间。因此,传统的处理环境已不能满足海量数据处理要求。

1.2.4 成果数据类型多,信息挖掘手段多,面临快速综合评价的挑战

野外数据量过大,数据中什么情况都有可能存在。在叠前技术、属性提取技术不断成熟的情况下,已经走过了单独利用偏移成像剖面找构造、利用有限的振幅、频率等属性进行油气识别的时代,目前大量的叠前数据,甚至单道数据被用于岩性、物性、储层、流体的研究。各种数据挖掘的算法基于不同的数据类型和格式,从不同角度更加科学地呈现出数据本身具备的特点,深入数据内部,挖掘出能够揭示地下地质规律和地质现象的数据价值。对于海量数据而言,同样面临数据挖掘的方法和速度是否能够满足快速处理大数据的要求,如果一个算法需要花好几年才能得出结论,将不能满足油气资源评价与勘探开发的节奏,大数据的价值也就无从说起了。

1.2.5 地震地质工程一体化,面临多种数据融合分析的挑战

在地震、地质、测井、钻井、工程等数据一体化研究的时代,多种数据源共同参与分析也是大数据的一种表现形式。在地震数据分析的过程中,利用测井、地质资料辅助建立速度模型,进而优选储层反演敏感参数。随着新井资料越来越多,通过不断修正速度模型等参数,不同轮次的处理解释结果将不断接近地下实际情况。目前,工程技术一体化、勘探开发一体化成为技术发展潮流,多种数据源汇集到地震资料处理解释环节,而我们缺乏加载和处理多种数据源资料的一体化平台,多源数据处理解释面临挑战。

2 应对地震勘探大数据的对策

2.1 应用轻便网络化采集仪器,降低野外劳动强度和环境破坏

地震采集装备无疑是地震勘探技术发展的推进

器,装备技术的进步推动了物探技术的进步。当今,10万道级的地震采集仪器使得单点高密度地震技术<sup>[12]</sup>成为现实。地震仪器是制约海量地震数据采集的关键因素,关乎到野外生产组织管理方式、数据质量、施工效率、生产成本等。因此,在大数据时代,应当选择与之适应的轻便网络化地震采集仪器。

当前,地震采集仪器有有线与无线两种。有线仪器,指野外采集站和采集站之间用大线连接,采用交叉站(子单元)和交叉线组成数据传输网络,其数据传输的速率及可靠性较高。但野外布设不太灵活方便,野外辎重大,占用设备资源多,复杂地表区增加了劳动强度,对环境影响相对较大,电缆保养维修、存储运输及用工数量增加均提高了野外使用成本,道数的增加带来插头节点的增加,也使系统的稳定性降低,如果一个接头或大线出现问题,那么该故障点以后的排列将无法工作。

无线仪器<sup>[13]</sup>,特别是实时无线仪器的优势在于依靠无线电波实现信息的传递和交换,采集站与采集站、或者采集站与主机之间没有电缆,提高了系统的灵活性。随着无线网络技术的发展,地震勘探仪器将这一成熟技术纳入其中,开放的2.4GHz波段局域网无线传输速率高,抗干扰能力强,射频频带可重复利用,功耗低。如RT2无线实时遥测系统,能够实时无线传输地震数据,减少了运输和电缆维修成本,轻便和简单快速的布设带来更高的生产效率<sup>[14]</sup>,与其他仪器相比,集高效、无缆、实时的特性于一身(表1),是轻便网络化的、降低野外劳动强度和环境破坏的仪器。

因此,应根据不同项目的特点,以降低成本、提高生产效率、提高野外数据质量控制效果、减小环境冲突为原则,灵活选择比较适合的地震数据采集仪器。

2.2 推广可控震源高效采集技术

可控震源激发具有安全、高效、环保、节能及可

表 1 主要地震仪器野外性能对比

Table 1 Field functional comparison of main seismic instruments

仪器 类型	有线仪器		节点仪器					无线仪器
	428×L 	G3i 	Unite 	Hawk 	GSR 	Zland 	HDR 	RT2 
实时传输	★★★	★★★	★☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	★★★
无缆便捷	☆☆☆	☆☆☆	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
生产高效 数据回收	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
现场 QC	★★★	★★★	★★★	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	★★★

注:★具备该能力;☆不具备该能力。



重复等特点,随着高效可控震源组合的应用和地震仪器道数的大幅度增加,以可控震源为核心的高密度采集技术是当今世界石油勘探地震采集的关键技术之一<sup>[15, 16]</sup>。可控震源因其施工地面激发、不污染地下水、施工比炸药更安全、激发频带宽度和主频可以控制、出力大小可调整、施工效率高、激发成本低等特点,被国内外地球物理公司广泛使用,根据 HIS 的统计,全球使用可控震源施工的队伍达到 49%。

近年来,可控震源交替扫描、滑动扫描、滑动扫描同步激发、独立同步扫描等技术的发展,大幅度降低了单炮费用和高炮点密度的野外施工成本,提高了高炮密度野外施工日效(达到 1 万炮/d,沙特),推动了高密度、宽方位等大数据量地震技术的发展和推广应用<sup>[16]</sup>。

因此,在西部推广可控震源高效采集技术,在城区、矿区推广单台可控震源技术,在东部平原区推广分散能量扫描、垂直能量激发技术,以低成本环保型激发迎接大数据采集的挑战。

### 2.3 应用量化质量控制软件,提高数据质量评价可靠性

传统野外质量控制仅能够在现场对地震道的振幅、初至、极性、检波器通断、井口信号等有限的几个参数凭经验进行人工评价。利用质量控制软件进行现场量化质量控制已成为国际物探界的基本做法,可全面、实时、高效、自动化、定量地评价野外地震采集数据质量。

利用实时定量化质量控制软件系统,可以实现实时分析评价单炮质量,及时监控施工质量、野外生产动态,在现场可以自动实现记录播放、能量分析、信噪比分析、频率分析、主频频宽分析、等级评价、异常道分析等,在驻队可以进行观测系统 SPS 检查、覆盖次数分析、方位角分析、偏移距分析、能量分布分析、噪声分布分析等,自动生成质量控制报告,减少人为干预。

例如,华北留 18 三维工区,每炮 7840 道,平均采集日效 998 炮,最高采集日效 1820 炮,数据量大,放炮快,传统人工质量控制不能满足施工进度要求。采用量化质量控制软件(SeisAQC)指导施工,杜绝漏放,以不同方式显示单炮并进行单炮定量分析(图 1),快速准确识别出能量弱的有问题单炮。图 1 中 A 炮点能量弱, B 炮点能量正常,及时通知野外施工员排查 A 炮点能量弱的原因,减少废炮率,提高施工质量。该项量化分析工作耗时小于 50s,比人工质量控制节约时间 10 倍以上。

推广应用量化质量控制软件,必将对大数据地震野外采集质量的监控模式、提升采集质量管理水平、降低成本、推行无纸化办公,以及促进处理解释一体化起到至关重要的作用。

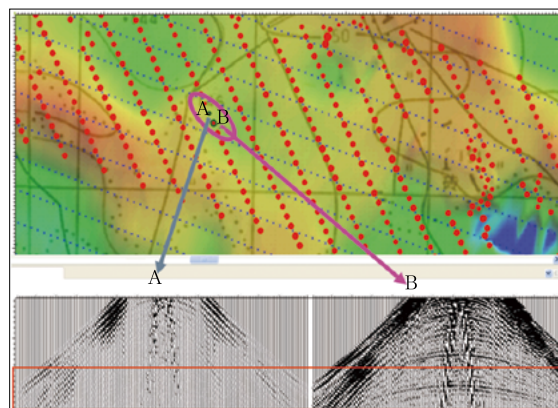


图 1 留 18 三维量化质量控制单炮能量分析示意图  
Fig.1 Quantitative quality control analysis diagram of 3D seismic project for Liu18

### 2.4 适当加大处理解释环境建设,提高海量数据处理能力

对大数据进行快速有效的处理分析是大数据时代的重要任务,只有通过分析才能获取很多智能的、深入的、有价值的信息。大数据分析在大数据领域中显得尤为重要,也是决定最终信息是否有价值的决定性因素。大数据处理分析离不开有效的数据管理和数据处理,是分析结果真实性和有价值的保证。

飞速发展的计算机技术为海量地震数据处理的解释提供了保障,为了满足运算量和信息量迅猛增加的需要,国外物探服务企业建立了大数据处理中心、云计算等新技术, CPU 数量和应用水平高于国内。如 WestrenGeco 公司全球处理 CPU 已达到 30 万个以上,并基本实现了云计算模式,以满足叠前成像和弹性波反演处理解释需要<sup>[17]</sup>。而中国石油 CPU 数仍不足 5 万个,难以满足高密度大数据量资料分析处理的要求。

因此,应适当加大处理解释环境建设,以提高海量地震数据的处理能力。

### 2.5 开展数据驱动信息挖掘技术研究

海量数据的解释不仅仅是普通的分析和分类汇总,而是从数据出发,由海量地震数据本身学习、挖掘和提取隐藏其中的“地质特征”(构造、沉积、岩性、储层、流体、非均质性、不连续性、弱差异、薄互层),定性、定量反演储层和流体的参数与属性<sup>[18]</sup>。

比较典型的方法是聚类、统计学习和分类。其优势是不依赖地球物理模型,摒弃现有处理解释基于线弹性、等效介质的近似假设,从数据本身提取隐藏其中的地质特征。

因此,应开展多数据源一体化处理解释技术、数据驱动解释技术等前沿技术研究,为大数据“有价值”信息的提取奠定基础。

### 3 结语

地震勘探大数据时代是科学技术发展的产物,已经不可逆转地来到人们面前,给物探技术发展带来了挑战和机遇。大数据带来的油气识别精度的提高使物探技术应用迎来又一个春天。在技术发展的转型期,应从降低单炮地震采集成本、提高数据质量、充分挖掘大数据信息等多方面入手,做好技术储备,迎接石油地震勘探大数据时代的全面到来。

### 参考文献

- [1] 王炳章,蔡俩.石油物探在我国油气发现与发展中的作用——纪念《石油物探》创刊50年[J].石油物探,2011,50(6):533-544.  
Wang Binzhang, Cai Liang. The role of petroleum geophysical prospecting in the oil and gas exploration and development in our country[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011,50(6):533-544.
- [2] 杜金虎,赵邦六,王喜双,等.中国石油物探技术攻关成效及成功做法[J].中国石油勘探,2011,16(5-6):1-7.  
Du Jinhu, Zhao Bangliu, Wang Xishuang, et al. Achievements and successful experience of PetroChina in geophysical research[J]. China Petroleum Exploration, 2011,16(5-6):1-7.
- [3] 李芬,朱志祥,刘盛辉.大数据发展现状及面临的问题[J].西安邮电大学学报,2013,18(5):100-103.  
Li Fen, Zhu Zhixiang, Liu Shenghui. The development status and the problems of large data[J]. Journal of Xi'an Institute of Posts and Telecommunications, 2013,18(5):100-103.
- [4] 李金诺.浅谈石油行业大数据的发展趋势[J].价值工程,2013,32(29):172-174.  
Li Jinnuo. The development tendency of big data in petroleum industry[J]. Value Engineering, 2013,32(29):172-174.
- [5] 易维启,董世泰,曾忠,等.地震勘探技术性与经济性策略考量[J].中国石油勘探,2013,18(4):19-25.  
Yi Weiqi, Dong Shitai, Zeng Zhong, et al. Consideration of technical and economic strategy for seismic exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2013,18(4):19-25.
- [6] 刘振武,撒利明,董世泰,等.中国石油高密度地震技术的实践与未来[J].石油勘探与开发,2009,36(2):129-135.  
Liu Zhenwu, Sa Liming, Dong Shitai, et al. Practices and expectation of high-density seismic exploration technology in CNPC[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2):129-135.
- [7] 王志亮,周滨,龚旭东,等.高密度高分辨地震勘探技术在渤海PL地区的应用[J].中国石油勘探,2013,18(2):37-44.  
Wang Zhiliang, Zhou Bin, Gong Xudong, et al. Application of high-density and high-resolution seismic exploration technology for PL Zone in Bohai Sea[J]. China Petroleum Exploration, 2013,18(2):37-44.
- [8] 王喜双,赵邦六,董世泰,等.面向叠前成像与储层预测的地震采集关键参数综述[J].中国石油勘探,2014,19(2):33-38.  
Wang Xishuang, Zhao Bangliu, Dong Shitai, et al. Key parameters of seismic acquisition for surface pre-stack imaging and reservoir prediction[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(2):33-38.
- [9] 杜金虎,熊金良,王喜双,等.世界物探技术现状及中国石油物探技术发展的思考[J].岩性油气藏,2011,(23)4:1-8.  
Du Jinhu, Xiong Jinliang, Wang Xishuang, et al. Status quo of international geophysical exploration technologies and thinking about the development of PetroChina geophysical exploration technologies[J]. Lithologic Reservoir, 2011,23(4):1-8.
- [10] 韦瑞表,刘兵,谭勇.弯宽线采集技术在桂中山区的应用与效果[J].中国石油勘探,2014,19(2):53-58.  
Wei Ruibiao, Liu Bing, Tan Yong. Application of crooked wide-line seismic acquisition technique in Guizhong Mountainous Area[J]. China Petroleum Exploration, 2014,19(2):53-58.
- [11] 王西文,赵邦六,吕焕通,等.地震资料采集方式对地震处理的影响研究[J].地球物理学进展,2010,25(3):840-852.  
Wang Xiwen, Zhao Bangliu, Lv Huantong, et al. Study of seismic data processing method affected by method of acquisition[J]. Progress in Geophysics, 2010,25(3):840-852.
- [12] 王喜双,谢文导,邓志文.高密度空间采样地震技术发展展望[J].中国石油勘探,2007,12(1):49-53.  
Wang Xishuang, Xie Wendao, Deng Zhiwen. Development and prospect of high density sampling seismic technology[J]. China Petroleum Exploration, 2007,12(1):49-53.
- [13] 吴安楚.无线单点检波器高密度地震采集[J].勘探地球物理进展,2009,32(2):101-106.  
Wu Anchun. High density seismic data acquisition using single sensor radio seismic recorder[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2009,32(2):101-106.
- [14] 刘振武,撒利明,董世泰,等.地震数据采集核心装备现状及发展方向[J].石油地球物理勘探,2013,48(4):663-675.  
Liu Zhenwu, Sa Liming, Dong Shitai, et al. The seismic data acquisition kernel equipment status and its future development direction in CNPC[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013,48(4): 663-675.
- [15] 白旭明,唐传章,孙毅,等.可控震源组合方向对地震采集资料的影响分析[J].中国石油勘探,2012,17(3):42-46.  
Bai Xuming, Tang Chuanzhang, Sun Yi, et al. Influence of vibrator's combined direction on seismic acquisition data[J]. China Petroleum Exploration, 2012,17(3):42-46.
- [16] 汪恩华,赵邦六,王喜双,等.中国石油可控震源高效地震采集技术应用与展望[J].中国石油勘探,2013,18(5):24-34.  
Wang Enhua, Zhao Bangliu, Wang Xishuang, et al. Application and outlook of vibroseis acquisition techniques with high efficiency of CNPC[J]. China Petroleum Exploration, 2013,18(5):24-34.
- [17] 赵邦六,石玉梅,刘颖,等.利用多分量地震数据预测油气藏分布[J].石油学报,2008,29(5):676-679.  
Zhao Bangliu, Shi Yumei, Liu Ying, et al. Prediction of hydrocarbon distribution using multi-component seismic data[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008,29(5):676-679.
- [18] 杜金虎,胡素云,张义杰,等.从典型实例感悟油气勘探[J].石油学报,2013,34(5):809-819.  
Du Jinhu, Hu Suyun, Zhang Yijie, et al. Implications from typical petroleum exploration cases[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(5):809-819.