

# 地震属性技术的历史、现状及发展趋势

郭华军<sup>1,2</sup>, 刘庆成<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学, 江西 抚州 344000; 2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 自从“地震属性”一词引入地球物理界以来,地震属性技术在油气勘探开发中得到了广泛的应用,在查阅大量有关资料的基础上,对地震属性的分类,地震属性技术的历史和现状进行了归纳和总结,结合油气勘探和开发的实际探讨了地震属性技术的发展趋势。

**关键词:** 地震属性技术;油气勘探开发;发展趋势

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2008)01-0019-04

到目前为止,地震属性还没有统一的定义,大家引用较多有:“地震属性是地震资料的几何学、运动学、动力学及统计学特征的一种量度”。这一定义基本属于纯数学定义<sup>[1]</sup>。Landmark 公司对地震属性的定义是:“地震属性是一种描述和量化地震资料的特性,是原始地震资料中所包含全部信息的子集;地震属性的求取是对地震数据进行分解,每一个地震属性都是地震数据的一个子集”。该定义强调了地震属性的提取过程,但未对地震属性在地学中的作用进行阐述。

地震属性是指那些由叠前或叠后地震数据,经过数学变换而导出的用于表征地震波几何形态、运动学特征、动力学特征和统计学特征,或纯数学变换引入的物理量,有些地震属性有明确的物理意义,例如,旅行时、波阻抗,吸收系数、振幅、频率和相位;有些只有数学的意义,例如,振幅的一阶导数、二阶导数等。大量的理论和实践表明,源于地下岩石物理特性的各种地震属性隐含了地层岩性、储层物性、流体成分和断裂等有关信息,虽然这些信息可能受到各种畸变,但它们确实隐含在地震数据之中。地震属性分析目的就是试图从大量的、丰富的三维地震数据中,拾取隐藏在这些数据中的有关地层岩性、储层物性和流体信息,定性预测岩相、岩性和含油气性,或定量估算油藏参数,利用少量的井孔资料揭示的储层特征,建立井点处地震属性与储层参数的关系,利用这种关系将地震属性转换为相应的储层参数,揭示储层分布特征。地震属性的地质含义需结合具体资料分析确认。作为储层反演预测的补充,利用常规地震资料进行地震属性分析,可定性分析

沉积现象和储层的分布。地震属性分析过程包括地震属性提取、优化和预测 3 个环节。显然地震属性技术已经成为地球物理学中的一门新兴学科“地震属性学”。

## 1 分类

地震属性分类的目的是为了减少地震属性的冗余度、减少属性分析盲目性和提高属性预测计算效率。目前,地震属性还没有建立一个公认、完整和统一的分类。许多学者做过分类研究,比较流行的有 4 种分类方法:一是 20 世纪 90 年代初 Taner 等人提出的,由地震属性的基本定义出发,将地震属性分为几何属性和物理属性<sup>[3]</sup>。几何属性通常与波形及地震层位的几何形态(如倾角,方位,曲率等)有关,主要用于地震地层学、层序地层学和构造解释;物理属性包括运动学和动力学属性(振幅、频率、相位、纵横波速度、波阻抗、吸收系数、衰减等),主要用于岩性及储层特征解释。二是 1996 年 Brown 等人提出的,根据数据体来源不同将地震属性分为叠前属性与叠后属性<sup>[2]</sup>。三是 1997 年 Chen 提出的按地震属性功能的分类,即把地震属性分为与亮点和暗点、不整合圈闭和断块隆起、油气方位异常、薄储层、地层不连续性、石灰岩储层和碎屑岩、构造不连续性、岩性尖灭有关的属性<sup>[1]</sup>。四是到 20 世纪 90 年代末,有人将地震属性分为几何学属性、运动学属性、动力学属性和统计学属性 4 大类。统计学属性大多是根据数学变换的不同,采用统计学方法获得的次生属性或导出属性(如振幅统计类、复数道统计类、频谱统计类、序列统计类及相关统计类),一般没有明确

的物理意义,但比其他属性含有更丰富的地质意义。地震属性信息种类繁多,相同类的地震属性存在一定的相似性,反映相似的地质特征,不同类的地震属性对同一地质特征敏感程度不同。分类目的是排除冗余信息,减小信息关联维数,优选有效地震属性,有效预测储层。

## 2 发展历程

地震属性技术是伴随着地震数字采集技术发展而形成,起初,人们只是利用地震反射旅行时信息确定目的层构造的深度,随着计算机和网络技术的广泛应用,多维多属性分析技术逐渐成为辅助进行地震解释的发展趋势。

地震属性技术研究大致分为 3 个阶段。

第一阶段:20 世纪 60 ~ 70 年代为起始阶段。人们利用楔形体调谐振幅模型解释薄层厚度,根据含气砂岩波阻抗异常变化导致反射振幅变化现象,提出“亮点”、“平点”和“暗点”直接油气检测技术;随后提出瞬时属性和复数道分析技术,通过希尔伯特变换提取三瞬剖面,即瞬时振幅、瞬时频率和瞬时相位。瞬时振幅和瞬时频率主要用于岩性和油气解释,而瞬时相位则用于检测地层的接触关系。

第二阶段:80 年代,进入多属性分析阶段,该阶段以属性定量提取方法大量出现为主要特征。人们一方面利用振幅随炮检距变化(AVO)的规律进行岩性和流体成分识别,另一方面利用经由数学变换而导出的各种地震属性,采用模式识别方法对烃类进行预测,大量经数学变换导出的二维地震属性被引入,由于许多地震属性地质意义模糊不清,最终导致了人们对它的不信任。20 世纪 80 年代末多维属性分析技术(倾角、方位、相干等)出现,从根本上改变了这种局面,三维连续的地震属性在宏观上揭示许多隐藏在地震数据体中关于沉积、岩性和储层的信息。

第三阶段:迅速发展阶段。纵观地震属性分析属性技术的发展历史,地震属性技术的迅速发展和广泛应用始于 20 世纪 90 年代,根据美国勘探地球物理学家协会累计索引统计,在 1990 年以前“地震属性”只有 2 个条目的文章,而从 1990 年到 2001 年有多于 80 个,至今为止,更以指数增长<sup>[4]</sup>。随着三维可视化解释和体解释成为现实,地震属性分析技术发展在地震解释技术进步中变得尤为重要。

## 3 现状

近些年来,地震属性技术在正演模拟、相干体技

术、地震相分析、多属性综合分析等方面取得了明显的进展。目前地震属性分析技术已广泛应用于构造解释、地层岩性解释、储层评价、油藏特征描述以及油藏流体动态检测等各个领域,地震属性不仅在油气勘探阶段,而且在开发中所发挥的作用也越来越大。

### 3.1 模型正演

以岩芯物性参数和岩石物理性质正演模拟为基础,分析岩石物性变化引起的地震响应特征变化,利用优选的地震属性进行储层预测,这套技术以正演为主,正、反演相结合,减少了预测结果的多解性,提高了属性储层预测的准确性<sup>[11]</sup>。

### 3.2 相干体技术

相干体是对地震数据道之间相似性的数学描述,能有力指示地层的非连续性。相干体技术揭示了波场的空间变化情况,直接从 3D 地震数据体中定量地得到断层、河道以及其他的地质特征,不受任何解释误差的影响,极大地提高了解释精度,并能得到很多通常被忽略的重要信息,因而很快得到了广泛认可。利用相干体计算技术能够预测火山岩的分布范围在很多地区取得了一定成效。

### 3.3 地震相分析

地震相是地震波形特征的总和,与其他地震属性参数相比,波形更好地代表了地震波的振幅、频率、相位等参数的综合特征。它反映了地下地层或储层的岩性或物性的变化,而这种变化隐含在地震波形特征中,肉眼有时是很难判断,利用地震波形特征和地震相处理可以对特殊沉积现象和特殊岩性体进行定性分析和预测。地震相分析的目的就是要确定地下储层的横向变化,即地震相特征(振幅、频率、相位等)与沉积相单元的关系<sup>[13]</sup>。

帕拉代姆公司推出的 Stratimagic 地震相分析软件使得地震相自动划分,研究地震相与地质相的关系以及岩石物性的关系,帮助人们从一个新的角度进行储层预测和油藏描述,突破了只能进行构造解释的常规的地震解释模式。随后推出 SeiFacies 基于体的地震相分类模块,SeiFacies 是一个地震数据多属性分类和标定的强大的工具。SeiFacies 和 Stratimagic 具有相同的界面和结构,使得有可能利用地震工区的多个属性,对单个地震样点进行分类。地震相分类的基本原理是通过应用统计聚类的分级分类技术和 PCA 主分量分析技术实现多属性数据体的地震相分类,找出多属性数据的共同趋势,从而减少参与相划分的数据量以及用最具有代表性的数据参与划分。地震相可以和井信息进行标定,更精

确地预测岩性和流体内容。

### 3.4 聚类分析

通常,这些地震属性单个看物理意义和地质意义并不明确,但是,通过综合判识可以预测油气。例如,模式识别、聚类分析、神经网络等。利用地震数据体及其反演所得到的属性数据体(如波阻抗数据体),通过井约束并在神经网络理论基础指导下,建立地震属性与储层的属性(孔隙率、渗透率、饱和度等)之间的模式聚类关系。据此可获得储层的各项参数,用于薄互层储层的油气预测<sup>[12]</sup>。

神经网络模式识别的过程是:利用地震属性对已知储层参数训练网络,使网络从已知样本中得到自身学习。通过学习后,结合钻井成果,寻找和筛选出敏感参数。然后使用学习好了的网络对需判别的未知模式的数据集进行识别,预测储层参数的空间分布。

## 4 发展趋势

地震属性的研究前沿目前主要集中在下述方面。

### 4.1 原始地震资料的品质的提高

地震属性体的提取和应用很大程度上依赖于原始地震资料的品质,解决与相干噪声及多次波、各向异性、衰减、空间-时间分辨率以及保真度等有关的地震传播、记录和处理问题是否有效,将成为地震属性研究的能否顺利发展的重要保证。

### 4.2 地震属性与储层参数之间物理、统计关系

分析和揭示地震属性与储层参数之间物理、统计关系一直是制约这一工作进一步深入发展的“瓶颈”。因此研究地震属性的地球物理理论基础,应用多种分析方法,分析和揭示地震响应特征与储层参数之间物理、统计关系,发展多种储层参数转化反演方法,是地震属性在储层预测、油藏描述、油气检测和油藏监测中发挥作用的根本途径。

### 4.3 叠前深度域

属性研究从叠后向叠前推进,现代技术发展及硬件环境已为开展叠前地震属性分析提供了良好的软硬件条件。叠前属性信息提供了更为丰富的地震信息,通过开展深度域叠前反演及各种叠前属性的提取工作,以岩性及流体替换为主线进行交会、聚类统计分析工作,将地震响应特征与井中储层油气特征结合起来对叠前属性进行综合解释,分析油气异常或进行岩性识别,可以减少反演的多解性,特别是利用叠前深度域地震属性技术可以完成复杂构造条件下高精度储层预测。初步分析研究表明,叠前深

度域地震属性技术可行,具有广阔的应用前景。

### 4.4 弹性波分析

弹性波反演技术是比较有效的储层预测和含油气性检测技术,它主要是依据全波列测井或横波勘探得到的纵、横波资料与岩性或含油气性的关系进行储层预测和含油气性检测,通过纵横波的联合分析,地质人员对已知气藏及异常体的分析会更全面。弹性波研究从纵波向弹性波扩展,目前转换波分析已取得一定成果。

### 4.5 地震多维多属性体综合研究

多参数、多属性综合预测技术为地震资料的解释提供更为广阔的空间,极大地增强地震解释的能力,提高效率,促进了地震解释工作逐渐向真正意义的全三维体解释和多维多属性分析方向发展,增强地震勘探解决复杂地质问题和直接找油找气的能力。

### 4.6 属性解释的量化

用定量属性分析、多分量反演和非常重要的岩石物理及井资料标定,使地下储层中物性的空间分布和流体特性随时间的变化得到可靠的估计。

## 5 建议

地震属性在过去、现在以及将来的油气勘探开发中起到了十分重要的作用。地震属性在发展过程中,众多学者做了大量的工作,从最初的反射旅行时、振幅、频率、相位以及波形等地震属性的基础上衍生出数十乃至上百种属性,相应地也带来了过多冗余信息出现,工作大量重复,扰乱解释思路,因而作者建议:

(1)利用模型正演优选地震属性进行储层预测,以岩石物性参数和岩石物理性质正演模拟为基础,分析岩石物性变化引起的地震响应特征变化,利用优选的地震属性进行储层预测,减少冗余信息,提高属性储层预测的效率和准确性。

(2)地震属性信息种类繁多,相同类的地震属性存在一定的相似性,反映相似的地质特征,应建立统一、公认的分类标准,是排除冗余信息,减小信息关联维数,优选有效地震属性,有效预测储层。

(3)利用对属性的数学运算,聚类、回归分析,相似性计算,交汇以及群类的映射等分析,从而找出所研究工区敏感的属性类型,减少工作量,提高工作效率,增强预测的准确性。

## 6 结束语

众所周知,地震属性技术的发展已进入三维体

属性分析时代,迫切需要立体显示、动态显示和仿真显示等现代化显示手段。三维可视化技术和虚拟现实技术的迅速发展基本满足了这一需求。三维可视化和虚拟现实技术使地震属性分析结果更能直观、清晰地了解地下地质体在空间的分布位置和范围,更易于反映出属性的地质意义,有利于启发解释人员的想象力,有利于从不同角度开展不同形式的分析解释,因此,地震属性的现代化显示技术很受人们的关注。

近年来,无论是工作站版的还是微机版的解释软件,大都配上了现代化的可视化软件。虚拟现实技术也在一些大的石油研究单位获得了应用,目前中国石化石油勘探开发研究院等单位建成了虚拟现实系统,但由于虚拟现实系统设备庞大、价格昂贵且处于固定位置,所以未来操作简便、价格低廉的动态可视化、微机版的虚拟现实,使得地震属性技术的研究和应用会有一个质的飞跃。

#### 参考文献:

[1] Chen Quincy, Steve S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring[J]. The Leading Edge, 1997, 16(5): 445.

- [2] Brown A R. Seismic attributes and their classification[J]. The leading edge, 1996, 15(10).
- [3] 高林,杨勤勇. 地震属性技术新进展[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊).
- [4] 黄绪德. 地震勘探直接找油气在国外的最新进展[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(3).
- [5] 王威彬,顾石庆. 地震属性的应用与认识[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊).
- [6] 董立生,刘书会,刘跃华,等. 地震属性分析技术的研究和应用[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊).
- [7] 张延玲,杨长春,贾曙光. 地震属性技术的研究和应用[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4).
- [8] 曾忠,阎世信,魏修成,等. 地震属性解释技术的研究及确定性分析[J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 41.
- [9] 曹辉. 地震属性应用中几个关键问题的探讨[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊).
- [10] 曹辉. 关于地震属性的几点认识[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(5).
- [11] 马中高,管路平,贺振华,等. 利用模型正演优选地震属性进行储层预测[J]. 石油学报, 2003, 24(6): 35.
- [12] 陈波,胡少华,毕建军. 地震属性模式聚类预测储层物性参数[J]. 石油地球物理勘探. 2005, 40(2): 204.
- [13] 胡中平,孔祥宁,潘宏勋,等. 叠前深度域地震属性技术研究及展望[J]. 石油物探, 2004, 43(增刊): 28.

## THE DISCUSSION OF EARTHQUAKE ATTRIBUTE TECHNOLOGYS HISTORY, PRESENT SITUATION AND DEVELOPMENT TENDENCY

GUO Hua-jun<sup>1,2</sup>, LIU Qing-cheng<sup>1</sup>

(1. East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China; 2. Exploration and Production Research Institute, Sinopec, Beijing 10083, China)

**Abstract:** Since the word "the earthquake attribute" has been introduced in the geophysics, the earthquake attribute technology obtained the widespread application in the oil gas exploration development, on the consult massive pertinent datas foundation, to the earthquake attribute classification, the earthquake attribute technology history and the present situation has carried on the induction and the summary, on the condition of oil and gas exploration and the development reality, we have discussed the earthquake attribute technology development tendency.

**Key words:** earthquake attribute technology; oil and gas exploration; development tendency

**作者简介:** 郭华军(1982-),男,2005年毕业于西南石油学院勘查技术与工程专业,现为东华理工大学地球探测与信息技术专业在读研究生,主要从事地震资料解释,储层预测及油气藏描述研究,公开发表学术论文数篇。