
地震属性分析技术

王永刚 乐友喜 张军华 著

中国石油大学出版社

前言

Preface

地震勘探是寻找石油和天然气的有效手段,当各种新的数学方法、信号处理技术和计算机技术等引入地震勘探后,从地震数据中提取的地下地质信息大大增加,地震勘探解决地质问题的能力也越来越强,使地震勘探由过去仅解决构造问题发展到解决储层或油藏描述问题。

20 世纪 70 和 80 年代,用于石油勘探的地震属性主要建立在振幅基础上的瞬时属性,如亮点技术、AVO 技术、薄层厚度解释技术等。进入 90 年代,地震属性技术在许多方面取得引人注目的进展,其范围包括从单道瞬时同相轴属性计算到复杂的多道窗口式同相轴属性提取,直至地震属性体的生成;应用也从简单的振幅异常检测到油藏随时间推移的流体运动前缘检测。总之,地震属性技术可从地震资料中提取隐藏其中的有用信息,提高地球物理学在石油工业中的应用价值及其效益,因此是一项值得深入研究的课题。

由于从地震数据中提取的地震属性不断增多,对储层预测精度要求也越来越高,地下地质情况越来越复杂,储层描述内容越来越丰富,人们仅凭经验选择地震属性已不能适应油田工程的实际需要。随着科学技术的不断进步和储层描述对地震勘探要求的不断提高,地震属性优化方法将会不断发展,使从地震数据中提取的地震属性得到更充分、更合理的利用。研究和实际应用表明:地震属性与所预测对象之间关系复杂,不同工区和不同储层对所预测对象敏感的地震属性是不完全相同的。即使在同一工区、同一储层,预测对象不同,对应的敏感属性也是有差异的。

在“九五”和“十五”的“211”重点学科建设期间,我们经过 10 多年的研究和国内多个油田的实际应用,现在已经形成了比较完整的技术系列——地震属性分析技术,相应的软件命名为 SAIS(Seismic Attributes Interpretation System)。该技术包括地震属性的提取与分析、属性优化、地震属性向储层参数的转换方法以及地震储层预测方法等。该技术在不同的探区、不同地质目标的应用中,均取得良好的经济效益和社会效益。为此,我们分 6 章进行总结:第一章概述,简单介绍地震属性分析技术的发展概况,由王永刚教授编写;第二章地震属性分析技术的基础研究,主要介绍岩石物性的相互关系、岩石物性的变化规律、地震正演模型技术等内容,由乐友喜教授编写;第三章地震属性的提取及其物理意义,主要介绍地震波场参数、地层平均吸收性质的测

定、地震属性体的提取和地震属性参数的物理意义等内容,由乐友喜、王永刚、张军华三位教授共同编写;第四章地震属性分析方法,介绍了地震属性的标准化、聚类分析法、因子分析法、决策分析法、GA-BP 方法等内容,由乐友喜、张军华两位教授编写;第五章储层预测方法,包括多元逐步回归法、神经网络方法、相关滤波方法、协克里金方法、非参数回归分析方法、模糊神经网络方法、支持向量机方法等内容,由乐友喜、王永刚两位教授编写;第六章应用实例,包括 SAIS 软件系统简介、储层岩性预测、储层参数预测、含油性预测等内容,由王永刚、张军华、乐友喜三位教授编写。

在我们的研究过程中,得到了中国石油大学(华东)地球资源与信息学院、中国石油的物探局(东方地球物理勘探公司)、大港油田、新疆油田、辽河油田、华北油田等、中国石化的胜利油田、江苏油田、四川石油局、滇黔桂石油勘探局等、中国海洋石油总公司的南海、渤海、上海分公司等单位的领导和专家的大力协助与支持,为我们的研究和应用提供了良好的条件与丰富的资料;同时,本专著的出版得到中国石油大学(华东)“211 工程”学术著作基金的资助,在此我们表示衷心的感谢!

在本专著的初稿完成后,我国著名的、德高望重的地球物理专家、博士生导师杜世通教授和刘雯林教授对全书进行了认真细致的审阅,给予本专著高度评价,提出了真切诚恳的修改意见和建议,对两位专家的鼓励与帮助,也表示我们的深深谢意!

由于我们的实际经验和专业水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大专家、学者提出批评意见或建议。

作 者

2006 年 4 月

序 2

Preface 2

这是我所看到的第一部直接以“地震属性分析技术”命名的专著。地震属性是指描述反射时间、振幅、频率及衰减等特征的众多数据。反射时间就是最早被用作构造图的一个属性。后来为适应天然气工业发展的需要,又开始利用振幅属性,通过寻求被称之为“亮点”的强反射来圈定气藏,这仅仅是在浅层砂岩厚气层典型情况下才有效。近十多年来,地震属性分析技术已逐渐发展成为一套比较完善的技术系列,包括:属性提取——提取能够量化描述地震反射特征的各种属性参数;属性分析——应用判别分析、神经网络和支持向量机等各种数学方法,对属性进行分类处理;属性转换——与钻井结合,把属性转换成为地质特征。由此可见,地震属性分析技术是一门囊括了众多现代地震新技术,涉及到众多数学方法,与石油地质、钻井、测井和油藏工程等众多学科紧密结合,充分利用计算机技术处理分析大量地震信息,已被广泛用于解决油气检测、储层预测、油藏描述、油藏监测、沉积相划分、断层识别及构造分析等石油地质问题的新技术。

三位年轻有为的教授,多年从事科学研究和教学,一直热衷于地震属性分析技术研究,经过深入系统总结,写就了这部专著,无疑会在石油天然气勘探与开发生产、科研和教学中,使这项新技术得到更为深入的系统学习、推广应用和研究发展。

要用好这项新技术,必须加强应用基础研究,通过岩石物理研究和地震模型模拟,看一看地震属性对要解决的地质问题有多大响应?哪个属性响应最明显?我们能不能识别?以使应用更为有效。

要发展直接使用波形属性的方法,这比提取若干个属性要更能真实完美地反映波形特征。

要研究适用于小样本学习的属性分析算法,因为即使学习训练最好的理论算法也不一定应用效果就好。

要用好这项新技术,地震数据要有足够好的信噪比和保真度,因此需要精心处理数据。现在已经普遍推广应用叠前偏移处理,即便保幅偏移,一经叠加,叠后还保幅吗?应该发展叠前属性分析技术。

三维地震采集设计不当,或者地表岩性不均匀,就将给地震数据带来采集脚印,应当加强对其分析和压制方面的研究,以免得到错误的属性分析结果。

当今岩性地层油气藏勘探在中国石油探明储量中已占到 60%，如果加上与构造有关的岩性地层油气藏，石油探明储量将占到 80%。在今后的油气勘探与开发中，地震属性分析技术必将发挥更大的作用。让我们来共同发展和用好这项技术吧！

刘俊林

二〇〇六年三月十日

序

Preface 1

无论传统的地震资料解释(从地震反射层位对比到构造图的制作),还是现代的地震反射波偏移成像,主要使用的都是地震反射波旅行时信息。确实,在诸多表征地震波的参数中,也只有旅行时参数(或称为地震波运动学参数),是可以准确测量的。其他地震波动力学参数,如波形、振幅、频率等,在测量或计算中都有某些不确定性。因而,它们在地震解释中的应用,是有限的,以定性为主。人们不能满足利用地震资料仅仅限于对地质勘探目标的几何形态(构造)的刻画,希望从地震数据中提取尽可能多的有关地质勘探目标的有用信息。在对地震资料解释技术研究的过程中,地球物理工作者从未间断对地震波动力学参数应用可能性的探索。随着地震勘探技术的进步,特别是地震资料采集的数字化技术、地震数据的计算机数字处理技术及地震资料解释的工作站技术的成熟和广泛应用,地震波动力学参数的提取和(定性、定量)解释,方便可行,其精度和可靠性都有了较大提高。在这样的技术背景之上,地震属性分析技术得到飞速发展,并在实际应用中不断完善和成熟起来。《地震属性分析技术》一书,是对这一应用技术的发展历程和应用的总结。

在地震波动力学参数中,最早得到应用的是地震波的振幅信息。地震解释人员根据地震反射波振幅的变化,辅助地震层位对比,推测地震反射层位岩石性质,直至利用亮点(强振幅)、暗点(弱振幅)、平点(振幅异常形态)判断油气的存在与否。地震瞬时参数的计算,是人们对地震记录使用数学变换获取新类型解释数据的先例。将有始有终的地震反射波脉冲比拟为无始无终的简谐波,以求取只对简谐波为确定量的振幅、相位和频率,对地震记录使用了希尔伯特变换,称之为瞬时振幅、瞬时相位和瞬时频率。地震褶积模型将地震记录描绘为地震子波与地震反射系数序列的褶积。但在地震子波未知的情况下,使用反褶积是无法获得准确的地震反射系数的。为了求取地层的波阻抗,使用了道积分算法(对地震记录求积分)。用道积分表示的仅仅是地层波阻抗的相对变化量。这是对地震记录使用数学变换的又一实例。像这样有明确物理意义的对地震记录使用数学变换不是很多,大量使用的仍是定义不十分明确、物理意义不十分清楚的,特别是对地震解释人员来说,是意义不确定的地震特征参数。为获得可靠的地层物性参数,破解地震解释(反问题)的不确定性,开始了使用多学科数据集成,参与地震解释(或综合研究)的技术研究方向,并得到迅速发展和广

泛应用。使用声波测井速度来标定地震道积分曲线,以获得地震转换波阻抗,用于地层岩性和储层参数解释,是多学科数据集成参与地震解释的一个成功的先例。

地球物理工程师们普遍认为,地震数据经过某一数学变换,且不经其他学科数据干预,而获得的表征地震波特征的参数,称为地震属性。这一定义界定了地震属性分析与多学科数据集成,参与地震解释的综合研究的区别。用声波测井速度标定地震道积分曲线获得的地震转换波阻抗数据,已不完全是地震数据了,一般不作为地震属性分析解释。另一方面,地震属性解释,无论是定性解释,或是定量解释,特别是定量解释,是不能脱离多学科数据集成而独立进行的。原因很清楚,就是由地震属性的多种不确定因素造成的。地震属性分析解释中使用了大量的数理统计方法,如多维参数分类、样本学习、参数预测与转换等,这就形成了地震属性分析中的地质统计学方法,并成为地震属性分析的重要组成部分。《地震属性分析技术》一书,系统叙述了地震属性定义、地震属性提取方法、地震属性优化选择和统计处理,储层物性参数转换和预测等,涵盖了地震属性分析和地质统计学原理。内容翔实、完整,是一部难得的佳作。

三维地震数据的采集和处理,在地球物理和地震地质解释人员面前,突然涌现了海量地震数据。沿用传统的地震解释流程,从三维地震数据体中切出地震剖面数据,进行层位对比,再制作地质构造图,既费时、费力,又不能有效利用全部的三维地震数据,做出准确而详尽的全三维地震地质解释。使用计算机自动处理和解释技术,既是必要的,又是可能的。地震属性自动拾取、处理、解释软件技术的发展,使在短时间内大量提取表征地震波的各类特征参数成为可能。三维地震数据采集后,经地震波偏移成像处理,再做属性分析,又可为地质解释、储层研究,提供丰富的、可靠的基础数据。应特别强调的是,对三维地震数据体做属性分析后,可以获得三维地震属性数据体。三维地震属性数据体及其各类可视化显示,直观地揭示了地震属性在三维空间的分布规律,可完整地显示和圈定相关地质异常。三维地震属性分析,是实现全三维地震地质解释的快速而有效的途径。一个真正意义上的地震属性分析,应是对三维地震数据体的分析和应用。对以往的二维地震剖面数据,或者由三维地震数据体切出的剖面数据,虽然也可以进行地震属性分析,但不能正确反映地震属性空间分布,其应用有较大的局限性。实际上是三维地震技术的广泛应用和它对解释工作的现实要求,推动了地震属性分析技术的发展,并取得了卓有成效的地质成果。地震资料首次被广泛应用于油气储层预测、油藏描述、储层表征,以至建立油藏地质模型等的详细地质研究。20世纪90年代初期,地震属性分析做储层描述和表征的数据,已经作为储量验收的必备数据被确定下来。地震属性分析技术已经得到石油地质家们的认可。自那时以来,地震属性分析技术在方法研究、技术开发和实际应用等方面,又都取得了长足的进步。地震属性分析技术的成熟和发展,是地震资料解释技术的重大进展。《地震属性分析技术》一书的技术和软件研发部分,概括了作者们在这一方面

的成就,丰富了全书的内涵。

地震属性分析技术,确实是一项三维地震资料解释的好方法。但是要注意合理使用,避免陷阱。由于多数地震属性,其定义往往不是十分准确的,都具有这样或那样的不确定因素影响。所以,在解释中使用着不同的数理统计方法,建立地震属性与地质解释参数之间的关系模型。样本学习就是建立关系模型的手段。样本学习,首先假定了预测工区与样本学习地区具有相同或者近似的关系模型。而这个假定本身就有不确定因素。为提高属性解释的可靠性,研究工区地质模型,积累各类地震属性与地质参数的相关性数据,分析关系模型及其受控于地质模型的变化规律,十分重要。应注意判断假相关性,恰当地优选统计中使用的地震属性及其数量。统计中使用的地震属性数目越多,出现假相关性的概率越大。一个智能化的计算机系统,在一定地质条件下,虽然可以对一个地震属性集合做出优化选择,但要完全认知一个复杂多变地质环境下的关系模型,排除假相关性,也是很困难的,往往也是多解的。应强调作为地震地质解释人员的个人技术素质和智慧。既要学习相似工区地震属性解释经验,又要学习地震属性技术原理,不断探索方法的局限性。在实践中逐步认识接近于真实的地质模型,建立合理的地震属性关系模型,力求对地震属性做出合理解释,取得地质实效。《地震属性分析技术》一书的应用实例部分,既展示了技术的应用效果和前景,又为地震地质解释人员提供了学习、借鉴的解题范例。

王永刚、乐友喜、张军华三位教授,长期从事地震属性分析方向的研究。在方法原理、应用技术研究、计算机软件开发、实际应用等方面,成果丰硕,建树颇多。他们研究方向稳定,重视知识积累,技术研发与实际应用并重,做出了大量创新成果。《地震属性分析技术》一书作为他们的经验和成果的总结,具有重要的学术价值和使用价值。

王永刚
2006年3月25日

目 录

Contents

第一章 概 述	1
1.1 地震属性的提取	2
1.2 地震属性的优化	2
1.3 地震属性向储层参数的转换方法	2
1.4 地震属性分析技术的应用	3
1.5 地震属性分析技术的发展	4
第二章 地震属性分析技术的基础研究	5
2.1 岩石物性的相互关系	5
2.1.1 岩石的密度与孔隙度关系	6
2.1.2 岩石的速度与孔隙度关系	6
2.1.3 岩石的密度与速度关系	9
2.1.4 岩石的电阻率与孔隙度关系	10
2.2 岩石的物性变化规律	11
2.2.1 地震波传播速度的影响因素	11
2.2.2 岩石的物性变化规律	19
2.2.3 岩石物理性质随深度的变化	20
2.2.4 岩石物理性质随时间的变化	21
2.3 泊松比与岩石物性参数的关系	22
2.3.1 泊松比的定义	22
2.3.2 泊松比与岩石物性参数之间的关系	23
2.3.3 与泊松比有关的岩石性质	23
2.4 地震正演模型技术	25
2.4.1 射线追踪正演模拟	26
2.4.2 基于马尔科夫链理论的正演模拟	28
2.4.3 波动方程有限差分法数值模拟	30
2.4.4 地震子波	31
第三章 地震属性的提取及其物理意义	32
3.1 沿层地震属性及其提取方法	32

3.1.1	地震波频率属性	32
3.1.2	地震波振幅或能量属性	33
3.1.3	地震波波形属性	34
3.1.4	地震记录自相关函数的属性	34
3.1.5	分辨率属性	35
3.1.6	信噪比属性	35
3.1.7	自回归分析	37
3.1.8	沿层构造属性	38
3.1.9	其他属性	40
3.2	层间吸收属性及其提取方法	43
3.2.1	研究地层吸收性质的地质意义	43
3.2.2	表征地层吸收性质的参数	44
3.2.3	利用反射波资料测定吸收参数的方法	45
3.2.4	提取的地层吸收参数	51
3.3	时频分布属性	52
3.3.1	几种联合时频分布的特点	52
3.3.2	时频分布属性	54
3.4	薄层地震属性	55
3.4.1	薄层频谱的理论计算值	55
3.4.2	薄层直观的分辨率和信噪比	56
3.4.3	时间-振幅解释量板	58
3.4.4	截断效应与时窗选取	60
3.4.5	穿层对时频特性的影响	60
3.4.6	地层横向变化对时频特性的影响	62
3.4.7	薄层的其他地球物理特征	64
3.5	三维属性体及其提取方法	65
3.5.1	瞬时属性体	65
3.5.2	相对波阻抗数据体	66
3.5.3	道微分数据体	68
3.5.4	线积分数据体	68
3.5.5	能量半时属性体	68
3.5.6	信噪比属性体	69
3.5.7	均方根振幅比属性体	69
3.6	相干体技术	69
3.6.1	简述	69

3.6.2	方法原理	69
3.6.3	三维相干属性体的提取	72
3.6.4	相干体技术新进展-多尺度第三算法相干体	73
3.6.5	应用实例及效果分析	74
3.7	地震属性参数的物理意义	79
3.7.1	地震属性的分类	79
3.7.2	地震属性参数的物理意义	80
3.7.3	地震属性与地层参数间的关系分析	82
第四章	地震属性分析方法	94
4.1	地震属性的标准化	95
4.1.1	总和标准化	96
4.1.2	最大值标准化	96
4.1.3	模标准化	96
4.1.4	中心标准化	96
4.1.5	标准差标准化	97
4.1.6	极差标准化	97
4.1.7	极差正规化	97
4.2	聚类分析法	97
4.2.1	聚类分析的基本概念	97
4.2.2	聚类统计量	99
4.3	因子分析	101
4.3.1	因子分析的基本概念	101
4.3.2	R型因子分析	103
4.3.3	Q型因子分析	105
4.3.4	对应分析	106
4.4	RS理论及其决策分析方法	111
4.4.1	RS理论基本原理	111
4.4.2	利用RS理论进行决策分析的方法	114
4.4.3	RS-Kohonen分析方法的原理及其处理流程	117
4.5	GA-BP方法	118
4.5.1	GA的方法原理	118
4.5.2	BP原理	124
4.5.3	GA-BP算法优化地震属性原理	124
第五章	储层预测方法	126
5.1	多元逐步回归法	126

5.1.1	逐步回归分析的基本概念	126
5.1.2	“引入”和“剔除”变量的原则	128
5.1.3	逐步回归的计算步骤	130
5.2	神经网络方法	133
5.2.1	人工神经网络基本知识	133
5.2.2	神经元的数理模型	133
5.2.3	反向传播学习算法(B-P 算法)	136
5.3	相关滤波方法	138
5.3.1	方法原理	138
5.3.2	误差分析	140
5.4	协克里金方法	142
5.4.1	方法原理	142
5.4.2	计算步骤	144
5.5	非参数回归分析方法	144
5.5.1	非参数回归的基本概念	144
5.5.2	权函数估计法	145
5.5.3	权函数方法与最小二乘法的结合使用	148
5.6	基于统计学习理论的支持向量机方法	149
5.6.1	统计学习理论简介	149
5.6.2	支持向量机	152
5.6.3	核函数	154
5.6.4	用于非线性函数拟合的支持向量机方法	156
5.6.5	模型试算与分析	160
5.7	模糊神经网络方法	166
5.7.1	模糊理论与模糊聚类	166
5.7.2	模糊系统和神经网络的融合	169
5.7.3	基于神经网络的模糊系统	170
5.8	判别分析方法	172
5.8.1	基本原理	172
5.8.2	工作步骤	175
5.9	灰色理论	175
5.9.1	方法原理	175
5.9.2	实施步骤	176
5.9.3	应用实例及效果分析	176
第六章	应用实例	180

6.1	SAIS 软件系统简介	180
6.1.1	软件设计框图	180
6.1.2	软件主要功能	180
6.2	储层岩性预测	186
6.2.1	六间房探区的地质概况	187
6.2.2	六间房探区地震资料的品质分析	189
6.2.3	六间房探区地震属性优化与岩性预测成果	191
6.2.4	六间房探区储层厚度预测	192
6.3	储层参数预测	197
6.3.1	唐家河探区的地质概况	197
6.3.2	应用效果分析	199
6.4	含油性预测	205
6.4.1	基本地质特征	205
6.4.2	研究区的储层特征分析	210
6.4.3	地震资料储层预测的条件	216
6.4.4	含油性预测的综合分析和解释	220
6.4.5	含油性预测的工作总结	233
参考文献		242

第一章

概 述

在地球物理界,最早出现“地震属性(attribute)”一词可追溯到 20 世纪 60 年代。当时国内的译名较多,如地震特征、地震信息、地震参数、地震标志等等,直到 90 年代才基本统一称为地震属性。关于地震属性的定义,可概括为以下 3 种:一是从数学意义上看,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;二是从地震属性的提取过程来看,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,而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;三是从应用地球物理学的角度看,地震属性是地震数据中反映不同地质信息的子集,是刻画、描述地层结构、岩性以及物性等地质信息的地震特征量。

地震属性研究(我们称之为地震属性分析技术),大致经历了以下 3 个阶段。第 1 阶段:20 世纪 60 年代末到 70 年代末,为起步阶段。该阶段以“亮点”技术为代表,当时的属性分析与研究既没有考虑地震资料的运动学、动力学特征,也没有具体而明确的地质含义,而只是对地震剖面特征的一种定性描述与分析。第 2 阶段:20 世纪 70 年代末到 80 年代末,为迅速发展阶段。该阶段的主要特征是出现大量的属性定量提取方法,如自相关分析、频谱分析、自回归分析、复地震道分析等,有多达几十种的地震属性被提取出来,但多数方法仅停留在地震波场的几何学、运动学、动力学等特征的研究上,没有对地震属性所代表的地质意义进行分析与解剖。该阶段地震属性的应用开始向各个领域延伸,如储层预测、油气检测、物性研究等。第 3 阶段:20 世纪 90 年代以后,为基本成熟阶段。该阶段的主要标志是出现了多维属性,应用也更为理性。90 年代初出现了以相干、倾角、方位角等为代表的一批多维属性,这类属性能够直观地反映地层的结构性信息,如倾角、倾向;相干异常指示断裂带、裂缝发育带等。与此同时,属性标定与优化的方法也开始大量涌现,地震属性在勘探和开发阶段的应用也更为科学与理性,标志着地震属性研究开始向规范化、科学化方向健康发展。

地震属性分析技术包括属性的提取、属性标准化与优化、优化属性的转换与应用 3 个方面,下面对此作简要概述。

1.1 地震属性的提取

地震属性的提取采用多种数学方法如傅氏变换、复数道分析、自相关函数和自回归分析等来实现。到 20 世纪 90 年代中期,随着统计学属性的出现和发展,大量地质统计方法在属性提取中得到了广泛应用,如协方差、线性回归、小波变换、模拟退火等。这些技术对提取相干体等地震属性,识别和定性描述断层、河道砂体乃至碳酸盐岩储层中的缝洞发育带等起到了重要作用。小波变换是 90 年代比较活跃的地震属性提取方法,它不仅能提高地震属性分辨率的潜力,而且能优化属性提取的时窗长度。

与小波变换有关的地震属性包括:利用连续小波变换提取地震时频属性,时频分解能以低频成分提供较高的频率分辨率,以高频成分提供较高的时间分辨率;低频成分可用来识别储层中的油气,高频成分则有利于分辨薄层。利用离散小波变换提取振幅、瞬时频率和相位属性。理论研究和实际数据测试都表明,由此获得的地震属性明显改善了地震解释精度。小波变换为属性计算中采用多分辨率分析和去噪技术提供了潜力,离散小波变换与连续小波变换相比,其优点在于描述过程中不需要进行优化参数试验。

1.2 地震属性的优化

地震属性分析技术发展到目前阶段,地震属性的优化和优化属性的联合分析已成为必然。为了减少多解性,提高构造和储层的预测精度,人们除了依靠岩石物性研究成果和井孔数据(测井数据、VSP 资料、井间地震资料等)对属性进行标定以外,总是千方百计利用多种优化属性进行联合分析,相互验证,以提高预测精度,降低勘探开发风险。在这方面,智能化技术(如模式识别、人工智能等)起到了重要作用,它们被广泛地用于属性分类、选择、组合优化和联合反演中。

属性优化就是优选出对求解问题最敏感、最有效或最有代表性的属性。在进行地震属性优化处理之前,通常要对提取的所有属性进行标准化处理。目前,属性优化的方法很多,可将其分为两大类:即利用专家知识进行优化和利用数学方法(如聚类分析、因子分析、决策分析、遗传与神经网络(GA-BP)联合分析等)进行自动优化。

1.3 地震属性向储层参数的转换方法

储层参数转换是一个将地震属性转化为储层特征的过程,在这个过程中,必须考虑下列几个问题:① 对于一个特定的地质变化,有无可观测到的地震响应变化,其敏

感程度如何? ② 地震属性与研究对象(构造,岩性,含油气性等)有无关系,密切程度怎样? ③ 为了从优化属性求出储层参数的“真实”解,需要哪些约束条件? ④ 在储层参数反演过程中可能出现哪些不确定性因素? 为了回答上述问题,人们必须借助于岩石物理、正演模拟和井资料约束等手段。其中,岩石物理研究可提供储层物性与地震属性之间的关系,正演模拟(包括物理模拟和数值模拟)可揭示地震对不同构造、不同岩性、不同流体性质的响应特征,测井数据及油藏工程数据则可用来约束反演过程和佐证反演结果。

随着油气田勘探开发对地震储层描述精度要求的日益提高,人们不仅要提高储层预测和圈定的精度,而且要定量描述储层内部的岩性(泥质含量等)、物性(孔隙度等)和含油性的空间分布。由于储层特性与地震属性之间、测井特性与地震属性之间往往表现为一种复杂的非线性关系,这给优化属性向储层参数转换带来了较大的困难。为了解决这一问题,自 20 世纪 90 年代以来,神经网络、遗传算法、支持向量机等方法被越来越多地用于储层参数转换以及储层预测。

地震属性的提取与优化处理是为储层参数转换和具体应用所做的必要工作,在进行地震属性向储层参数转换处理之前,通常需要进行优化属性与储层参数间的相关性研究,以便找出规律,合理选取有效的储层参数转换方法。可用的储层参数转换方法有多元逐步回归法、神经网络方法、相关滤波方法、协克里金方法、非参数回归分析方法和支持向量机方法等。

1.4 地震属性分析技术的应用

在油气勘探开发中,利用地震属性分析技术及其分析结果可以划分构造,检测断层,预测岩性,确定有利储集体,描述油藏内部的储集特性,甚至可用于监测油藏内部的流体运动等其他油藏工程研究。近年来,随着油气田开发对油气藏描述精度需求的提高和地震属性分析技术的发展,该技术被越来越多地用于油气藏表征、提高采收率和油气藏动态监测领域。

在应用地震属性分析技术解决各种地质问题特别是定量问题时,必须进行地震属性的标定。对地震属性进行标定,是应用地震属性进行各种研究的前提条件。没有经过标定的属性仅仅是一种地球物理参数,没有地质意义,不能用于地质解释。地震属性的标定方法主要有两类,其一是直接应用专家知识或前人的研究成果进行标定;其二是应用井孔资料进行标定,这种方法是目前使用最多、效果最好、也是大家最为认可的方法。该方法采用从已知到未知的研究思路,运用井中已经获得的地层、岩性、储层物性及含油气性等信息,通过井旁地震道,建立储层的岩性、物性和含油气性等特征与地震属性之间的关系,再将其外推至整个油藏空间。目前采用的方法主要有判别分析方法、灰色理论模式识别方法、模糊神经网络方法、支持向量机方法等。

1.5 地震属性分析技术的发展

毫无疑问,地震属性分析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。恰好,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。目前,许多地震资料解释系统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油公司得到应用。三维可视化和虚拟现实技术使地震属性分析结果更为直观、清晰,更易于反映油藏内部的地质意义,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与解释。

在地震属性的显示方面,国外许多公司研发了新颖的显示技术,如 Landmark 公司的研究人员利用光照原理,形象地展现地震属性分析结果。休斯敦 MagicEarth 公司的研究人员提出了地质体可视化显示技术,该技术源于 20 世纪 80 年代的层位自动追踪,90 年代的像素追踪,而属性可视化技术涉及到用三维像素追踪实现多属性和多样本的有机结合。地质体可视化不仅能使地学家检验各种数据集的多种解释结果,而且能提高解释速度和精度。

地震属性分析结果的另一个发展趋势是地质意义更为明了,一方面,地震地层学和层序地层学的广泛应用丰富了地震属性技术的地质内涵,它不仅给出了地震属性的总体科学面目,而且激励人们利用地震属性建立地震相,再将地震相转化为地质相(层序体系、沉积相等);另一方面,多维属性分析使人们淡化了属性的具体类别,而更加注重围绕地质解释目标的有机结合,使得形成的属性体本身就具有直观的地质意义,而 3D 可视化和虚拟现实技术则使这种地质意义更加凸现。因此,未来地震属性总体将更加地质化而不是地球物理化。

目前,地震属性分析技术在正演模拟、多分量研究、多属性联合分析与反演、强化地质含义和改善显示手段等方面取得了明显的进展,但在叠前深度域、弹性波分析、属性解释的定量化及风险评估方面的进步不大。未来高难度油气勘探开发对地球物理技术的需求中除精确成像外,还有待在下列诸方面进行不懈的研发:① 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展布和流体特性随时间的变化得到可靠的估计;② 不确定性量化和风险预测将与地球物理输出联成一体,被用于整体风险评估;③ 必须注重大数据量和多种类型数据体的实际交互,促进各种类型专业软件的无缝集成;④ 开展动态储集性能(如相对渗透率等)的地震预测研究;⑤ 加强弹性(矢量)地震处理方法以及解释分析方面的开发;⑥ 加速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波传播、记录和处理问题。

在实际应用中,时间推移或时移地震属性分析和高分辨率拟地质统计反演结果与井中资料综合产生出详细的油藏模型。