

储层地震属性 优化方法

陈遵德 编著

石油工业出版社

储层地震属性优化方法

5/25/08

陈遵德 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以地震属性为基础,讨论地震属性的提取方法,结合地震储层预测方法中的统计模式识别、BP 网络模式识别、Kohonen 网络模式识别、RS 决策分析方法及 BP 网络函数逼近、CUSI 网络函数逼近方法,重点介绍基于 K-L 变换、搜索算法、遗传算法、RS 理论、专家知识、专家与最优搜索结合的地震属性优化方法和地震属性优化方法的比较与展望,每种方法均附有应用实例。

本书主要读者对象为石油勘探、开发工程技术人员及有关院校师生。

图书在版编目(CIP)数据

储层地震属性优化方法/陈遵德编著.

北京:石油工业出版社,1998.9

ISBN 7-5021-2415-2

I. 储…

II. 陈…

III. 地震勘探-储集层-属性-最佳化-方法

IV. P618.130.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 25429 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云红光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 6 印张 180 千字 印 1—1000

1998 年 9 月北京第 1 版 1998 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2415-2/TE · 1997

定价:10.00 元

前 言

地震勘探是寻找石油和天然气的有效手段。在地震勘探的早期,人们就不自觉地利用地震属性优化思想选择属性进行构造解释了。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较过去大大地增加了,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描述问题。地震储层预测是储层描述的主要工具,并且成为 90 年代发展起来的新学科——储层地球物理学的核心内容。因此,与地震储层预测密切相关的地震属性优化问题也逐渐为人们所重视。本书正是从地震属性优化角度讨论储层描述的有关问题。

严格地说,地震属性优化始于 70 年代出现的“亮点”技术。在该技术中,选择反射波的振幅和极性等属性用以识别油气藏,这就是一种地震属性优化方法——专家优化。以后又出现了各种利用多种地震属性进行储层预测的技术。从 80 年代起,模式识别技术受到特别重视,先后研究出了模糊模式识别、统计模式识别、神经网络模式识别与函数逼近等地震储层预测技术。预测对象从预测油气、储层厚度和岩性发展到预测孔隙度等。在上述地震储层预测中,地震属性优化主要是解释人员凭经验完成的,在地质条件比较理想、预测对象比较简单、原始地震数据信噪比较高的情况下,效果较好;但在其它情况下,预测效果较差。研究表明,地震属性与所预测对象之间的关系复杂,不同工区和不同储层对所预测对象敏感的(或最有效的、最有代表性的)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,对应的敏感地震属性也是有差异的。目前油田还没有找到有效的解决办法,从而使该问题成为油气田勘探开发中急需解决的问题之一。地震属性优化方法是解决此问题的有效途径。这一问题的解决可以明显提高地震储层

预测精度,更有效地进行储层描述,进一步提高钻井成功率,具有显著的经济效益和社会效益。地震属性优化方法主要用于地震储层预测,也可用于地震数据处理(如模式识别法自动编辑地震道、自动检测初至、自动解释速度谱等)。

随着从地震数据中提取的属性不断增多,对储层预测精度要求越来越高,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适应油田工程实际需要。因此,发展不依赖经验的地震属性优化方法势在必行。

从笔者掌握的情况看,目前国内外发表的有关地震属性优化方面的文献较少,更没见到此类专著出版。本书主要根据作者近几年的科研成果与论文编写的,同时也搜集了国内外的最新研究成果。作者力图写得通俗易懂,便于应用,尽量贴近油田实际。

作者深知本书决不是有关地震属性优化方法的完整著述。作者希望本书能为油气田勘探开发工作者提供地震属性优化方面的一些基本方法,能对油气田勘探开发工作者有所帮助,能有效地提高地震储层预测与储层描述的精度。

本书部分问题的提出源于学术与科研合作的讨论给予的启示,在此谨向哈尔滨工业大学博士生导师冯英俊教授,大港油田研究院教授级高工赵学平、高工祝文亮;江汉油田物探处教授级高工郭东润,西北地质所高工梁秀文,石油物探局二处高工王卫华、高工蒋先义,大庆油田研究院高工陈树民等表示感谢。同时也要感谢江汉石油学院物探系朱广生教授、段天友讲师、桂志先讲师等对本书部分内容的研究工作给予的支持。

限于笔者水平,书中不妥及谬误之处恐所难免,恳请读者指正。

作 者

1997年12月

于江汉石油学院

目 录

第一章 地震属性优化方法概述.....	(1)
第一节 地震属性的概念与分类.....	(2)
一、地震属性的概念	(2)
二、地震属性分类	(2)
第二节 地震储层预测方法回顾.....	(3)
一、地震油气预测方法	(4)
二、地震岩性预测方法	(5)
三、地震储层厚度预测方法	(6)
四、地震孔隙度预测方法	(8)
五、地震储层预测流程	(9)
六、地震储层预测方法的应用条件.....	(11)
七、地震储层预测与属性提取.....	(12)
八、提高地震储层预测精度的途径.....	(12)
第三节 地震属性优化	(13)
一、基本概念.....	(13)
二、地震属性优化问题.....	(14)
三、地震属性优化方法.....	(16)
本章小结	(18)
参考文献	(19)
 第二章 地震属性提取	(20)
第一节 时间属性提取	(20)
第二节 振幅属性提取	(21)
第三节 频率属性提取	(21)
第四节 吸收衰减属性提取	(23)
第五节 分维属性计算	(25)
一、振幅谱分数维.....	(26)
二、容量维.....	(27)

三、关联维·····	(28)
四、Hurst 指数·····	(31)
五、自动判别标度不变区的数学原理·····	(32)
六、用遗传算法确定标度不变区·····	(34)
第六节 小波变换属性计算·····	(36)
一、小波变换及其 Mallat 算法·····	(36)
二、小波变换属性·····	(38)
第七节 其它属性提取·····	(40)
一、速度属性·····	(40)
二、瞬时属性·····	(43)
三、自相关属性·····	(43)
四、线性预测系数属性·····	(44)
本章小结·····	(45)
参考文献·····	(45)
 第三章 基于 K—L 变换的地震属性优化方法·····	(47)
第一节 K—L 变换及其地震属性降维映射方法·····	(47)
第二节 BP 网络及其油气预测方法·····	(50)
一、BP 网络原理·····	(51)
二、BP 网络结构优化·····	(53)
三、BP 网络的容错性·····	(57)
四、地震数据油气预测原理·····	(58)
五、BP 网络模式识别油气预测方法·····	(59)
第三节 基于 K—L 变换和 BP 网络模式识别结合的 地震属性优化方法·····	(64)
第四节 应用实例·····	(65)
本章小结·····	(67)
参考文献·····	(67)
 第四章 基于搜索算法的地震属性优化方法·····	(69)

第一节 搜索算法	(69)
一、最优搜索算法	(71)
二、次优搜索算法	(72)
第二节 基于搜索算法和统计模式识别结合的地震属性优化方法与应用	(76)
一、统计模式识别方法	(76)
二、基于搜索算法和统计模式识别结合的地震属性优化方法	(77)
三、应用实例	(78)
第三节 基于搜索算法和 BP 网络模式识别结合的地震属性优化方法与应用	(81)
一、BP 网络模式识别中属性优化的目标函数	(81)
二、基于搜索算法和 BP 网络模式识别结合的地震属性优化方法	(83)
三、应用实例	(84)
本章小结	(86)
参考文献	(86)
 第五章 基于遗传算法的地震属性优化方法	(87)
第一节 遗传算法	(87)
一、遗传算法步骤	(88)
二、遗传算法参数选取	(90)
三、遗传算法的改进——自适应进化策略	(90)
第二节 基于遗传算法和 Kohonen 网络模式识别结合的地震属性优化方法与应用	(93)
一、Kohonen 网络及算法	(94)
二、Kohonen 网络算法的改进	(95)
三、应用 Kohonen 网络自动划分地震相的方法	(99)
四、基于遗传算法和 Kohonen 网络模式识别结合的地震属性优化方法与应用	(100)

第三节	基于遗传算法和 CUSI 网络函数逼近结合的地震属性优化方法与应用·····	(102)
一、CUSI 网络模型及算法	·····	(103)
二、CUSI 网络孔隙度预测原理与方法	·····	(106)
三、基于遗传算法和 CUSI 网络函数逼近结合的地震属性优化方法·····		(113)
四、CUSI 网络孔隙度预测中的地震属性优化及应用实例·····		(114)
本章小结·····		(117)
参考文献·····		(118)
第六章	基于 RS 理论的地震属性优化方法 ·····	(119)
第一节	RS 理论及其决策分析方法 ·····	(119)
一、RS 理论	·····	(119)
二、利用 RS 理论进行决策分析的方法	·····	(126)
第二节	基于 RS 理论的地震属性优化方法与应用 ·····	(129)
一、地震数据模式识别中的 RS 决策分析方法	·····	(130)
二、RS 决策分析方法在地震数据模式识别中的应用·····		(131)
第三节	基于 RS 理论与 BP 网络模式识别结合的地震属性优化方法与应用·····	(142)
一、地震数据模式识别中的属性优化方法	·····	(143)
二、基于 RS 理论与 BP 网络模式识别结合的地震属性优化方法在油气预测中的应用实例·····		(144)
本章小结·····		(146)
参考文献·····		(147)
第七章	其它地震属性优化方法 ·····	(148)
第一节	基于专家知识的地震属性优化方法与应用·····	(148)

一、BP 网络函数逼近原理·····	(148)
二、BP 网络函数逼近孔隙度预测方法·····	(149)
三、基于专家知识与 BP 网络函数逼近结合的地震 属性优化方法与应用·····	(149)
第二节 基于专家与最优搜索结合的地震属 性优化方法与应用·····	(150)
一、CUSI 网络储层厚度预测原理与方法 ·····	(150)
二、基于专家与最优搜索算法结合的地震属性优化 方法与例子·····	(151)
三、储层参数计算中 CUSI 网络与 BP 网络比较 ···	(153)
本章小结·····	(155)
参考文献·····	(155)
 第八章 地震属性优化方法比较与展望·····	(156)
第一节 地震属性优化方法比较·····	(156)
一、K—L 变换与搜索算法、遗传算法的比较 ·····	(156)
二、搜索算法与遗传算法的比较 ·····	(157)
三、RS 理论方法与其它地震属性选择方法的比较 ·····	(158)
四、专家优化、自动优化及专家与自动结合优化方法 比较·····	(159)
第二节 地震属性优化方法展望 ·····	(159)
一、渗透率、含油气饱和度预测中的地震属性优化 ·····	(159)
二、建立优化的地震属性库 ·····	(163)
三、地震数据处理中的地震属性优化 ·····	(163)
本章小结·····	(164)
参考文献·····	(165)

第一章 地震属性优化方法概述

储层地球物理学^[1]是开发地震与开发地球物理的延伸,是于90年代才逐渐发展起来的。它是利用地球物理学理论和方法(主要是地震和测井方法)进行油气储层研究的一门新学科。其主要内容是研究地震波在油气储层中的传播规律及其它地球物理场在储层中的分布规律。在此基础上,对油气储层进行预测并进一步确定油气储层的空间展布及其储层参数(孔隙度、渗透率和含油气饱和度等),对油气储层进行静态描述和油气开采动态监测,合理制定开发方案。储层地球物理学一般是在高质量构造解释的基础上提取地震属性,在井位处建立地震属性与储层岩性、储层流体性质、储层参数间的关系,进行储层横向预测,建立油藏模型。显然,地震储层预测是储层地球物理学的核心内容。

目前,储层描述与工业应用中居主导地位的地震储层预测方法如表1-1所示。存在的主要问题之一是如何进一步提高地震储层预测精度。经近年研究发现,提高地震储层预测精度的途径主要有两条:(1)目标处理(如要处理用做油气预测的地震资料,需将与油气无关的信息滤掉);(2)地震属性优化。但通过目标处理提高储层预测精度较困难,有些问题有待进一步研究,目前效果还不太明显。本书就地震属性优化方法进行讨论。

地震属性应从不同角度反映储层的物性特征。由合成地震数据与实际地震数据可知,地震属性与储层岩性、储层流体性质、储层参数之间的关系复杂。不同工区、不同储层(或同一工区、同一储层)对所预测对象最敏感(或最有效、最有代表性)的地震属性是不完全相同的。考虑到地震属性间存在相关性,选取单属性较优的一组属性组合不一定能获得最优预测效果(只有在各地震属性间相互独立时才能获得最优效果)。因此,专家优化较为困难。我们有必要研究其它地震属性优化方法。

表 1-1 主要地震储层预测方法

预测对象	预测方法	
油气预测 岩性预测(划分地震相)	模式识别	统计模式识别 模糊模式识别 神经网络模式识别
储层厚度预测 孔隙度预测	函数逼近	BP 网络函数逼近 CUSI 网络函数逼近

地震属性优化方法就是利用人的经验或数学方法,优选出对所求解问题最敏感(或最有效、最有代表性)的属性个数最少的地震属性或地震属性组合,提高地震储层预测精度,改善与地震属性有关的处理及解释方法的效果。

本章概括地介绍地震属性优化方法及其相关内容。主要讨论地震属性的概念与分类,回顾地震储层预测方法中的油气预测、岩性预测、储层厚度预测及孔隙度预测等,给出地震储层预测流程图,简述提高地震储层预测精度的途径之一——地震属性优化方法。

第一节 地震属性的概念与分类

一、地震属性的概念

所谓地震属性^[2]就是根据地震记录测量或计算出来的一些参数,如振幅、速度、时间、AVO、波阻抗、频率等等。过去也有人称为地震参数、地震特征或地震信息。目前 SEG 年会的论文已逐渐统一使用地震属性一词。

二、地震属性分类

Taner 等^[2]对地震属性作了归纳整理,并将其划分为物理属性和几何属性两大类。

物理属性用于岩性及储层特征解释,本身又可分为两类:

(1) 由解析地震道计算出的属性。这是最常用的一些属性,包括:道包络振幅及其一阶二阶导数、瞬时相位、瞬时频率、瞬时加速度、瞬时 Q 值以及他们沿反射界面在一个时窗中的统计量。在地震道包络极大值处计算的瞬时属性称为主属性,也有人称为“响应”属性。另外还有地震道的频谱属性、相关系数以及由它们派生出来的属性。

(2) 由叠前资料计算出来的属性。如振幅及其与炮检距的关系、正常时差、纵波及横波层速度、波的到达时差。

几何属性或反射结构,用于地震地层学、层序地层学及断层与构造解释,如旅行时、同相轴倾角、横向相干性(同相性)等。

这些属性提供地震同相轴的几何特征,确定反射层的中断、连续性、曲率、整一、杂乱、不整合、斜交、平行、发散、收敛以及断层等各种特征,用于确定地震相、体系域等。

A. R. Brown 将地震属性分为四类^[3]:即时间属性、振幅属性、频率属性和吸收衰减属性。源于时间的属性提供构造信息;源于振幅的属性提供地层和储层信息;源于频率的属性提供其它有用的储层信息;吸收衰减属性将可能提供渗透率信息。目前大多数地震属性源于水平叠加数据和叠后偏移数据,而叠前地震属性的典型例子是 AVO。

第二节 地震储层预测方法回顾

目前,地震属性已得到了广泛的应用,主要用于地震储层预测中。由此可见,地震属性优化与地震储层预测是密切相关的。下面先概述地震储层预测方法。

由于地震储层预测方法在油气勘探中的重要作用,吸引不少石油勘探工作者对此产生了浓厚的兴趣,并投入相当的人力、物力进行研究,从而使地震储层预测方法成为正在研究的热门课题之一,并获得了较大的发展。下面就地震储层预测方法研究进展情况

况^[4]作一回顾。

一、地震油气预测方法

当各种新的数学方法、信号处理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较过去大大地增加了,人们很自然地产生了根据反射地震数据直接寻找地下油气藏的想法。首先是70年代出现的“亮点”技术,在这个技术中,反射波的振幅和极性 etc 被用来作为属性以识别油气藏。以后又出现了各种利用多种地震属性综合检测油气藏的技术。从80年代起,模式识别技术受到特别重视,先后研究出了模糊模式识别、统计模式识别、神经网络模式识别等油气预测技术。新近出现的分形油气预测、灰色油气预测与RS理论决策分析油气预测方法是正在研究中的方法。下面对各类方法作一概述。

(1) 单属性油气预测方法,适用于地质条件比较简单、油气藏类型比较理想、原始地震数据信噪比较高的情况。它具有方法简单、快速、方便、经济等优点。但其应用条件难以满足。常出现如下弊端:(a) 只利用一个属性不能很好地分离含油气与不含油气的情况;(b) 利用单项属性预测油气效果差,精度低。因此,本方法已不常用。

(2) 统计模式识别油气预测方法是在单属性方法的基础上发展起来的。它有利于油气的定量分析,可提供丰富的成果。但如何优选含油气信息量大的地震属性是其困难之一。

(3) 模糊模式识别油气预测方法可以充分利用井中目的层有无油气(实际是一模糊概念)的信息,使油气预测更切合实际。本方法存在的问题是标准模式较难选取,隶属函数的确定带有较大的人为因素。

(4) BP神经网络模式识别油气预测是90年代初出现的新方法。具有自学习能力、自适应能力,还有较强的容错能力,是一种较好的油气预测方法。但是,它所用训练样本的选取较为困难且不能优选地震属性,不适宜用于仅有油气井或仅有干井的区域。

(5) 分形油气预测方法属无监督类预测方法,只需有井标定即可,它为油气预测提供了一种新的手段。但对预测结果进行解释时带有一定的人为因素。

(6) 灰色油气预测方法是以样本为聚类中心,以属性变化的规律进行预测,考虑到了井分布的区域性。但它本质上属线性分类器,具有强行分类的欠缺,其应用在少井区将受到限制,它是一种正在走向成熟的方法。

(7) 新近出现的 RS 理论决策分析油气预测方法是一种新颖的模式识别油气预测方法,它既可用于模式分类,又可用于地震属性优化。其缺点是它只能处理量化数据,且推广能力稍弱,是一种正在发展中的方法。

二、地震岩性预测方法

划分地震相是地震地层学的最重要的目的之一,它对油气勘探具有十分重要的意义。我们知道,在一个地震层序内包含着不同的沉积相带。由于沉积环境的不同,在岩性参量上会表现出很大的差异,包括岩石的组成、颗粒的大小和形状、胶结程度、孔隙度、孔隙中的流体成分和饱和度、温度、压力、沉积厚度等。岩性的变化引起弹性参量的变化,包括弹性模量、密度、速度、泊松比、吸收特性等。弹性参量的变化又将引起地震剖面上反射特性的变化,包括振幅、波形、频率成分、波的干涉、相干性等。因此,在地震剖面上表现为不同的地震相属性,即不同的地震相模式。提取和分析地震层序内的这些地震相属性,将具有大致相同的地震相属性、属于同一类地震相模式的地段识别出来,达到划分地震相的目的。

通过模式识别方法,可将地震层序内的地震道样本分类,划分出不同的地震相带。根据地震相带的反射属性、结构属性,再结合其它地质和地球物理知识,可以进行沉积相和沉积模式的分析和推断,从而完成地震岩性预测。

最初划分地震相是手工操作,费时费工。特别当地震剖面上反射属性异常不突出时,此项工作更是困难。后来发展了用统计模式

识别与模糊聚类为工具自动划分地震相的方法。由于统计模式识别对属性提取与选择要求高,模糊聚类方法又难以建立准确合理的隶属度函数,且当数据量大时,运算时间长,有时几乎不能实现。因而影响了上述两种方法的效果与应用。而人工神经网络可处理一些环境信息十分复杂、背景知识不清楚、推理规则不明确的问题,且允许样本有较大的缺损与畸变,具有比一般模式识别更强的分类能力和更少的局限性,故选用 Kohonene 网络来自动划分地震相,试用效果良好。

应当指出,对于一个工区,尤其是新工区,要确切地说出有几类模式,且对每一类模式还要求提供相当数量的已知样本是困难的。对于类别未知、缺乏已知样本的新工区,应根据先验知识,先作无监督的聚类分析,再进行初始分类,可能会得到更好的结果。

三、地震储层厚度预测方法

储层厚度的求取是油气藏描述的一个重要环节,在岩性勘探和油气田开发评价过程中起着举足轻重的作用。随着对储层厚度预测研究的不断深入,人们提出了多种储层厚度预测方法,其主要方法大致可分为三大类。

1. 单参数与多参数法

(1)振幅图版法。此方法的依据是薄层和薄互层的地震振幅与储层厚度呈线性关系,适用范围为薄层和薄互层。

(2)时差法。适用于储层厚度大于 $\lambda/4$ (λ 为波长)的厚层。

显然,振幅法和时差法都只能适用于一定范围,且对地震地质条件要求比较严格。实际上,振幅法和时差法所要求的激发和接收条件要稳定,目的层上、下界面波阻抗变化要很小,夹层及邻近地层对目的层反射波影响要较小,这些条件很难满足。特别是在地层变化剧烈,探井稀少、甚至无井的地区,如果应用上述两种方法则会产生相当大的误差。实际应用时,又具有以下缺陷:

(a)在层厚介于 $\lambda/4$ 和 $3\lambda/8$ 之间时,双层反射时差 Δt 随厚度变化平缓,线性关系不明显,计算时容易产生误差;在层厚小于

$\lambda/4$ 时,振幅随厚度变化为一准线性关系,影响计算的精度。

(b)需要制作解释量板,选取合适的子波和提取准确的速度、密度参数,实际上很难做到。

(c)在实际地震记录中,找出调谐点相当困难。

(d)由于在调谐点厚度($\lambda/4$)附近,一个振幅值对应两个真厚度,因此利用地震振幅预测储层厚度会出现明显的多解性。

(3)反射波特征点法。此方法依据褶积理论,认为薄互层的反射波形是薄层厚度及顶、底反射系数的函数。找出波形的峰点、零点及谷点为特征点,便可求取薄层厚度。本方法可以用于无钻井的情况,但要求地震数据除了做常规处理外,必须做精细处理,高保真的振幅处理和子波提取(子波提取很难准确)。这些都说明了该方法的局限性。

(4)频率法。频率法与振幅法比较,能克服振幅法的缺陷,对地震采集和振幅处理无严格要求,且适用于岩性横向变化的地层。因此,频率法比振幅法更优越。

(5)主振幅、主频率法。储层厚度与主振幅、主频率关系复杂,既可为线性,也可为非线性。为我们的预测工作增加了难度。

(6)有限带宽反射波波形分析法。本方法不受储层岩性的制约,但要求地震数据处理尽量保真,不使用严重改造波形的模块。并且,一个地区需要事先建立一个模型,计算关联度,建立起储层厚度分级表。预测时仍需计算关联度,增加了工作量。

2. 反演方法

(1)振幅频率综合反演。此方法采用 A/F^n 变换,其中 A 为振幅, F 为频率。通过增加频率随厚度变化速度的办法,选择出最佳 n 值,使拟合的参数与厚度的关系持续到 $3\lambda/8$ 处。

(2)约束反演法。将波峰与波谷间的振幅绝对值积分乘以波峰与波谷间的时差得到一个量值,然后建立此量值与储层厚度的线性关系,从而可进行储层厚度预测。

概括第一类中的六种方法,从适用条件、工作量等方面都大大限制了其使用范围。第二类中的两种方法与第一类中的方法相比,