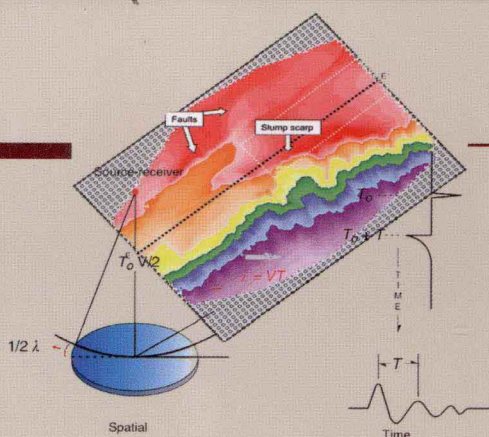


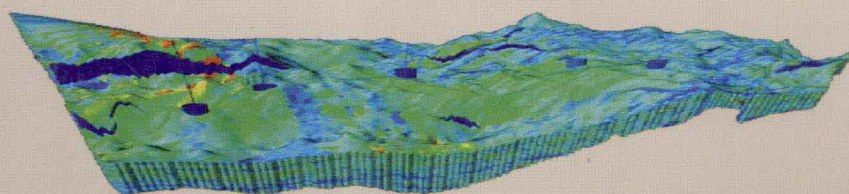
地震属性 在有利圈闭识别 和油藏表征中的应用

[加] S. 肖普拉 [美] K.J. 马弗特 著

李建雄 夏义平 柯宗强 等译



Seismic Attributes for
Prospect Identification and
Reservoir Characterization



石油工业出版社

地震属性在有利圈闭识别 和油藏表征中的应用

[加] S. 肖普拉 [美] K. J. 马弗特 著
李建雄 夏义平 柯宗强 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从现代体属性（倾角和倾向方位角、相干性、曲率、振幅变化性、谱分解等）的物理和数学原理出发，详细介绍体属性以及各种体属性在不同地质环境（构造变形、碎屑岩沉积体系、碳酸盐岩沉积体系、深海沉积和浅海钻井危险区）成图中的应用，特别强调它们在识别和对油藏非均一性成图的意义，并给出了数个地震属性应用的实例。

本书适合从事油气勘探开发与油藏工程的科研人员参考阅读。

图书在版编目（CIP）数据

地震属性在有利圈闭识别和油藏表征中的应用 / [加] 肖普拉, [美] 马弗特著, 李建雄等译. —北京: 石油工业出版社, 2012.4

书名原文: Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization
ISBN 978-7-5021-8958-7

I. 地…

II. ①肖…②马…③李…

III. 地震数据—应用—油气勘探

IV. ① P315.63 ② P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 037607 号

Translation from the English language edition: “Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization” by Satinder Chopra and Kurt J. Marfurt

978-1-56080-141-2 (print ISBN)

978-1-56080-190-0 (eISBN)

Copyright ©2007 SEG and EAGE, All Rights Reserved

The work is available in English for purchase from SEG or EAGE.

本文经 SEG 和 EAGE 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。

著作权合同登记号图字: 01-2010-2482

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523537 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 38.75

字数: 939 千字

定价: 230.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

作者简介

S. 肖普拉 Arcis 公司（加拿大艾伯塔省卡尔加里市）油藏服务部主任。1984 年，他加入印度石油和天然气有限责任公司（ONGC），在该公司工作至 1997 年。1998 年，他加入卡尔加里市的 CTC Pulsonic 公司，该公司后来成为 Scott Pickfold 和岩心实验室油藏技术公司。他的研究领域是常规地震数据处理和交互解释，但在涉及地震属性的地震资料特殊处理方面花费了很多时间，包括相干性和纹理、地震反演、AVO、VSP 处理、地震数据的频率加强等。他的主要研究兴趣是油藏表征技术。已出版了三本专业著作并发表八十余篇论文，作过多次讲演。他和 K.J. 马弗特教授共同撰写了《构造和地层的地震属性成图》（SEG 优秀教师教材系列第 9 卷）一书。该书成为马弗特教授 2006 年 SEG-EAGE 优秀教师短期培训的授课教材。肖普拉教授在印度的喜马偕尔邦大学获得地球物理学硕士和博士学位，目前任 SEG 出版委员会主席，是 SEG 属下的 The Leading Edge 编辑委员会成员，还是 CSEG Recorder 的编辑。他在印度石油和天然气有限责任公司（ONGC）曾多次获得奖励，还与同事共同获得 2002 年至 2005 年 SEG 优秀张贴论文奖。他是 SEG、CSEG、EAGE、AAPG、职业工程师协会、艾伯塔省地质学家和地球物理家协会以及职业地球科学家得克萨斯州委员会等学会的会员。肖普拉教授与他的妻子和两个孩子目前生活在卡尔加里。

K.J. 马弗特 在哥伦比亚大学亨利克拉姆矿业学院（纽约州）任助教时开始他的职业生涯，教授矿产地球物理学。五年后，到塔尔萨市阿莫克公司研究中心工作。阿莫克公司改组后，K.J. 马弗特教授在地震模拟、偏移、信号分析、盆地分析、地震属性分析、反射层析、地震反演和多分量数据分析等多个领域进行研究并取得丰富经验。在阿莫克公司工作期间，他获得五项专利，两项属于地震相干性技术。1999 年，马弗特教授到休斯敦大学工作，是地球科学系的教授，并担任应用地球科学和能源中心的主任。他的工作侧重点是地震属性新技术研发和检测。

马弗特教授在 SEG 杂志发表论文数十篇。他和 S. 肖普拉教授共同撰写了《构造和地层的地震属性成图》（SEG 优秀教师教材系列第 9 卷）一书。该书成为他在 2006 年 SEG-EAGE 优秀教师短期培训的授课教材。曾经获 SEG 地震模拟优秀展示奖（1989），SEG 地震相干研究优秀论文奖（1999）；十七年间，先后担任地球物理学《Geophysics》杂志的助理主编和副主编。马弗特是 GSH、SEG、EAGE、AAPG 以及 AGU 等学会的会员。他和夫人及女儿目前居住在休斯敦。

译 者 的 话

地震属性是由地震数据衍生出的几何形态、运动学、动力学或者统计学特征的专门量度，近年来，已引起重视并被广泛应用于勘探开发和油藏工程。应用地震属性，可将井中与之对应的各种地质参数经地震测网或数据体外延；可重塑构造活动、沉积和成岩作用演化，推测目的层段的岩性、孔隙度、封堵性分布，断裂密度及其延伸方向；监测油气藏特性变化动态，调整开发井井位；调查深海探区中灾害性地体的位置，选取钻井平台位置并确定钻井轨迹；可用于地震数据处理的各个阶段，选取压制噪声和能够提高数据品质的合适算法；同时，彩色显示的各种属性图像及多种属性组合图像也有利于研究分析、交流和演示。

本文主要介绍一系列新研发的体属性，强调这些最新属性的物理和数学基础、属性算法和实现、不同算法的效果比较、属性对不同地震信息的敏感性，数据的体估算及其在解释中的应用。文中展示的基本概念、算法，对构造变形、各类沉积环境及地层特征、油气藏参数、流体性质等地质参数敏感的各相应属性体的层切片，时间（深度）切片图像和组合体图像等方面的大量图片，用以说明地震属性在油气勘探和开发、油藏工程以及三维地震地层学和地震地貌学研究中的应用及前景。

《地震属性在有利圈闭识别和油藏表征中的应用》一书的翻译由中国石油天然气集团公司东方地球物理勘探公司研究院组织，参加并完成翻译工作的有：李建雄、夏义平、康南昌、李明杰、张延庆、柯宗强、赵玉光和黄忠范等。张延庆和黄忠范对全文作了校译。最后，李建雄、夏义平、李明杰、柯宗强对全文作了审读。工作中得到徐礼贵和郑良合等专家的指导和帮助，译者对此深表谢意。

限于译者水平，译文中难免有不当之处，敬请指正。

译 者

2011年10月

目 录

第一篇 几何属性：物理基础和对地震信号、噪声的敏感性

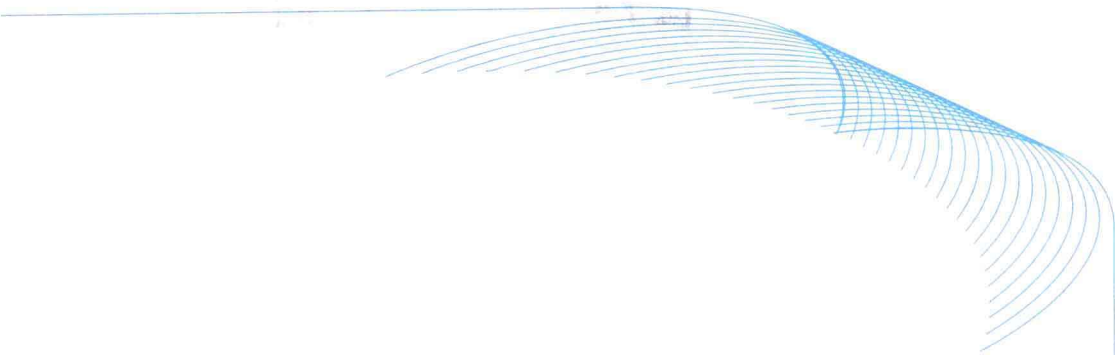
第 1 章	地震属性综述	3
第 2 章	体倾角和倾向方位角	37
第 3 章	相干性	61
第 4 章	体曲率和反射层外形	98
第 5 章	振幅的横向变化和模式识别	130
第 6 章	谱分解和小波变换	162
第 7 章	数据采集和处理对几何属性的影响	199
第 8 章	构造导向滤波和图像增强	244
第 9 章	多属性显示	286
第 10 章	叠前几何属性	311

第二篇 几何属性在三维数据解释中的应用

第 11 章	构造形变的属性表达	341
第 12 章	碎屑沉积环境的属性表达	378
第 13 章	碳酸盐岩沉积环境的属性表达	415
第 14 章	深海沉积环境的属性表达和钻井潜在危险区的成图	453
第 15 章	油藏非均质性成图	482

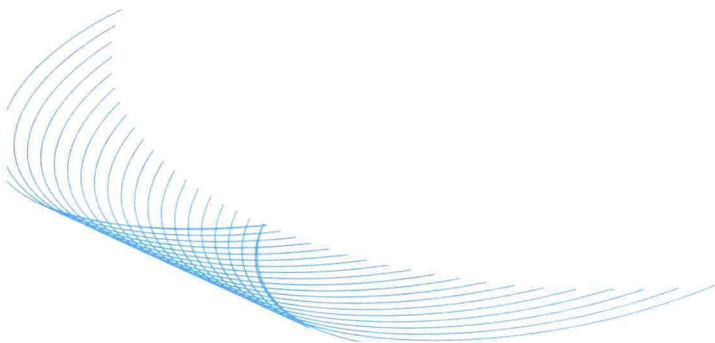
第三篇 研究实例

第 16 章	东得克萨斯早白垩世盐排出盆地中的环状断层	521
第 17 章	体曲率属性在描述中央盆地早、中古生代台地裂缝方向中的应用	534
第 18 章	新地震属性在识别沃思堡盆地筒状坍塌构造中的应用	548
第 19 章	相干体在 UKCS 地区的应用	564
第 20 章	海底附近的浅层灾害性地体检测：相干体处理的应用	575
结束语		580
专业术语汇集		582
地名和部分词的中英文对照		591



第一篇

几何属性：物理基础和
对地震信号、噪声的敏感性



第1章

地震属性综述

阅读本章后，你将能够：

- 将地震属性的发展同其他技术的发展联系起来
- 评价地震属性在当今解释中的作用
- 了解利用地震属性的数种主要定量工作流程

1 概述

地震属性是能够帮助我们增强目的层段视觉效应或者用数字描述目的构造的任何一种地震数据的测量。恰当的地震属性既对直接期望的地质构造敏感，同时也对目的层的储层性质敏感，或者能使我们确定构造以及沉积环境，从而进一步推断目的层的特征或者性质。地震属性自 20 世纪 70 年代（后文若无特殊说明，均为 20 世纪，译者注）早期被采用以来，目前已经广泛地应用于预测岩性和岩石物理性质等储层性质。

浏览地震数据之后，优秀的解释员就会在脑海中建立起一个或者多个地质设想，根据地质设想识别出可能的构造显示并建立有利的成藏组合。虽然科学认知（尤其是以地质原理为基础的）具有重要作用，但是，在地震数据中识别实际的地质构造更大程度上是凭直觉。许多人都认为，地震资料解释工作是艺术和科学的有机结合。解释员一旦识别出与成功钻井相同的地震构造或者地震模式（无论其科学基础是否可行！），他就能很快地发现更多同类的地震构造。经验丰富的解释员的模式识别，对于年轻地球物理工作者是一种望而生畏的工作，年轻的地球物理工作者通常都是从学习大量数学公式中成长起来的。

在计算机上进行一系列的确定性计算，对地震数据中所见到的振幅或者地貌特征进行量化，从而捕获优秀解释员的模式识别专门知识，这是地震属性工作的目标之一。例如，90 年代中期发展起来的相干性属性，它是用于捕获地震数据中所见到的相同的不连续性特征，Rummerfeld (1954) 和其他人在四十年前 (Lindseth, 2005) 将这种不连续特征解释为

断层。

最通常情况下，地震属性包含所有源自地震数据的分量。因此，我们认为，属性应该包括层速度、波阻抗反演、孔隙压力预测、反射终止、各类复数道属性以及 AVO 在内的各种分量。在非常复杂的计算基础上，对各种配置分量进行属性命名，如：波阻抗反演和孔隙压力预测。我们认识到，由于受到各类误差的影响，因此有必要通过地质统计或者其他的数据综合技术，用井数据对这些估算进行校正。

地震属性有助于对地震数据进行有效解释。利用地震属性，地学工作者能够解释断层和河道，识别出各类沉积环境，并且能够快速分析构造形变的过程。用物理模型（如倾角和方位角、波形相似性或者频率成分）对邻近地震样本和地震道进行综合，地震属性往往能将各种不明显的特性组合在一起并将它们显示出来，这既为手工解释人员，也为先进的地质统计或者神经网络计算机分析提供了改进的图像。虽然三维体的地震属性基本都用于地震解释，但三维地震解释不是本书的议题。Brown（2004）对三维地震解释原理和解释实践（包括优秀的属性剖面）作了非常好的介绍，我们将该书推荐给需要了解这方面内容的读者。

2 本书的结构

全书分成三个部分（篇）和术语汇编部分。

第一篇侧重介绍现代体属性（倾角和倾向方位角、相干性、曲率、振幅变化性、谱分解）的物理和数学基础。同时还介绍地震数据的品质、图像增强以及多种属性显示等问题。本篇包含 AVO 和裂缝分析所需的叠前有限角度和有限炮检距的体属性延伸内容。

第二篇侧重介绍属性在不同地质环境制图中的应用：构造形变，碎屑岩沉积体系，碳酸盐岩沉积体系，深海沉积、浅层的钻井危险区。本篇的结尾是综述：体属性在非均质油气藏成图中的应用。

第三篇包含已公开发表的数个体属性应用实例。这些实例描述了得克萨斯—路易斯安那盐穹区、盐排出血盆地区的断层制图；中央盆地台地区古生代地层的多期形变的制图；沃思堡盆地用属性制图识别坍塌构造和相关的断裂；北海地区的河道和断裂制图；墨西哥湾地区检测浅海海流和钻井危险区。

本书的结尾是书中所应用的术语汇编，以此帮助需要了解更多地震数据处理、成像分析等领域知识的解释人员；帮助希望了解更多地质解释领域相关知识的地球物理处理人员和算法研究人员。

本章中，我们将对地震属性作简明的综述，并指出本书中要作更深入阐述的内容。从总结属性的已往发展出发，到归纳目前的属性工作流程结束，中间穿插有令人信服的实例，说明在探索解决地质难题中属性对解释人员的帮助。我们深信，历史的远景将允许从业的地学工作者在未来推动属性和解释的发展。我们希望向地球科学领域的科研人员说明，已往的属性技术发展不仅是商业需求推动的结果，同时也得益于彩色显示、三维地震资料采集和解释工作站等各项技术的进步。科研人员们应该努力工作，持之以恒，面对大量偶然遇到的好运，他们将能够继续推动地震属性技术大步向前发展。

3 已往的属性发展

现在，我们提供兰德马克公司在地震属性方面研发的总体状况，以帮助读者了解各种不同属性是如何达到目前的存在状况的。要了解更多地震属性方面已往的发展状况，读者可以参考 Chapra 和 Marfart (2005) 的著作。图 1-1 展示了各种具体地震属性研发的时间，并展示了每种属性与关键地震勘探技术进步之间的对应关系。

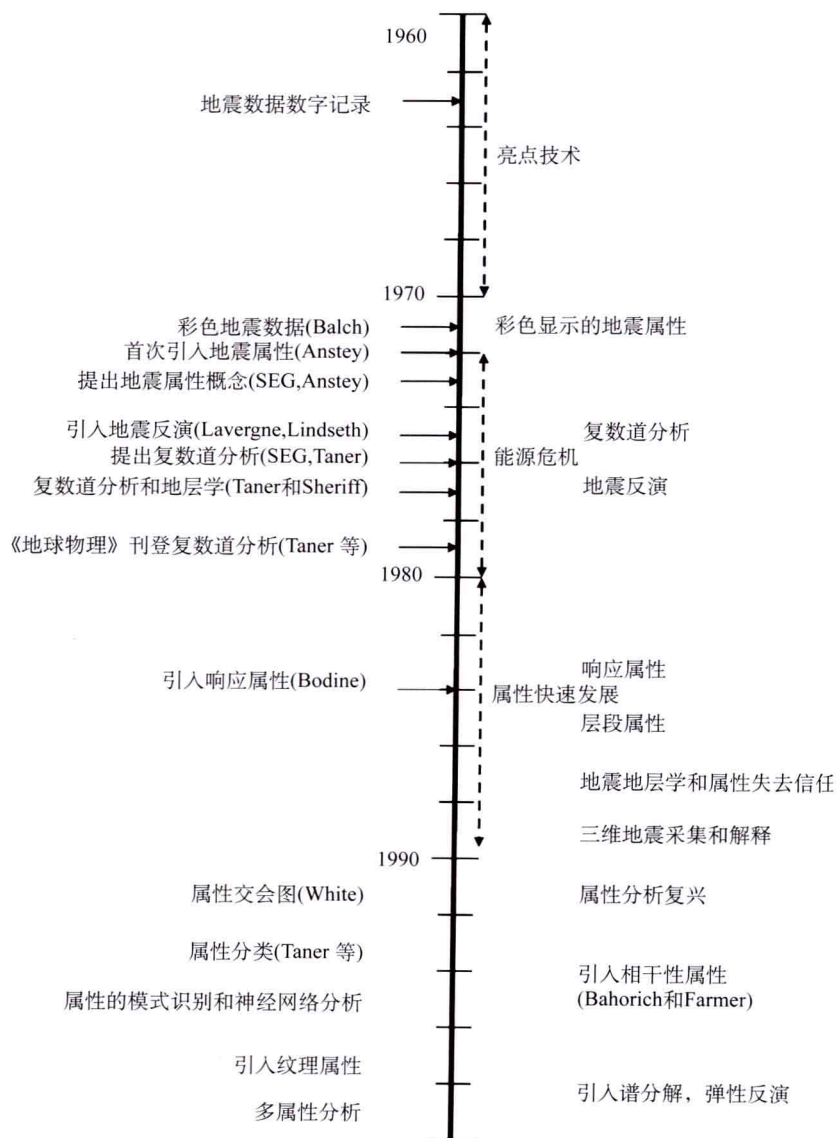


图1-1 地震属性发展的时间分布以及它同地震勘探技术主要进展之间的关系
(据Barnes, 2001)

4 数字记录和亮点检测

到 20 世纪 60 年代，部分地球物理工作者已经开始注意到地震反射剖面中出现的分散强反射和反射特征的变化。1975 年，这些反射现象构成了基于上超、退覆和其他形态模式的地震地层学的基础 (Forrest, 2000)。最初，部分研究人员认为这些反射现象是由坚硬地层条带引起的，人们所观察到的反射现象包含有一定的地质含义。随着时间的推移，当部分强反射层的对应层段钻遇天然气时，解释人员开始认真对待这些反射。地震剖面中所见到的强反射被称作亮点，亮点勘探技术也由此问世。

搜索当时世界范围的科技文献表明，俄国的研究论文 (Churlin 和 Sergeyev, 1963) 早已有过用地震手段直接进行油气检测的报导。文献搜索表明，将亮点同钻井数据和油田研究建立相关关系是研究的一贯努力方向。人们发现，来自充注有天然气储层的反射振幅远高于相邻饱和油层或者水层的反射振幅。据 Bob Sheriff 的回忆 (R.E.Sheriff, 私人交流, 2005)，当时没有人对寻找天然气感兴趣——能够出售所发现的亮点目标仅仅是为了寻找与亮点伴生的原油。我们后来才认识到，这些亮点是由天然气或者原油中的溶解气使气层产生低阻抗异常引起的。在开始时，即使对这类现象没有足够的认识，但较新碎屑岩盆地中具异常振幅的地震反射可能是油气指示的这一新发现却提高了地震勘探方法的重要程度。到 1970 年，许多油公司利用亮点现象成功地识别出许多饱和天然气藏 (Forrest, 2000)。

数字记录极大提高了地震数据的品质，到 1975 年，几乎所有的地震记录都是数字记录。数字记录的出现，使人们意识到保护相对振幅的重要性。经历了早期的成功钻探，亮点技术于 70 年代早期迅速发展，包括用数字表示地震振幅的变化以及计算含油砂层的厚度。当时，这一技术的应用对于路易斯安那海域陆棚区以及墨西哥湾区块的招标都有重大影响。时间构造、速度以及地震振幅至今仍然是正在应用的基本属性。

4.1 采用彩色地震数据显示

1971 年，A. H. Balch 研发出计算机绘图、摄影系统，当时被叫做彩色声呐记录，用于显示随时间变化波形的地震同相轴的频率谱 (Balch, 1971)。在这类显示中，波形用常规的变面积模式表示，用彩色的正向瓣表示地震数据的频率组分。岩石衰减的横向变化或者由于时差速度等因素的横向细微变化导致的高频成分的损失，在显示中表现为彩色移位。Balch 在 1971 年的论文被誉为地球物理杂志首次发表的使用彩色显示地震数据图件的文章。他的文章宣布了新纪元的开始，从此以后，能够为富有意义的地震数据分析提供具更大动态范围的彩色显示图件。

大致在同一时期 (1968—1969)，英国 Seiscom 责任有限公司的 Nigel Anstey 正在进行创新的地震数据显示研究，这对彩色引入地震数据显示的工作具有重要作用 (N.Anstey, 2005；私人交流, 2005)。Anstey 和他的团队 (Ron O' Doherty, Peter Ferrer, Judy Farrell 和 Lloyd Chapman) 在伦敦的分公司首次装置了灰度激光绘图仪 (该类绘图仪是西南工业电子公司或者 SIE 研发的)。在用这套绘图仪进行试验过程中，团队研发出用分

色技术在地震剖面上同时显示两个变量：正常的地震道显示构造图形，用彩色辅助调制显示层速度、反射强度、频率成分或者其他有用的内容。

将彩色的属性叠置在黑白地震剖面上，所产生的显示可以提供更多的信息：黑白地震剖面显示提供构造信息，地震属性可以提供更多隐蔽的地层信息。由于它们出现在亮点革命年代，所以，这类显示中最流行的是反射强度（包络的振幅）。图 1-2 展示了一张 Anstey 的早期属性图：反射强度属性（彩色的）叠置在地震剖面上的组合显示。

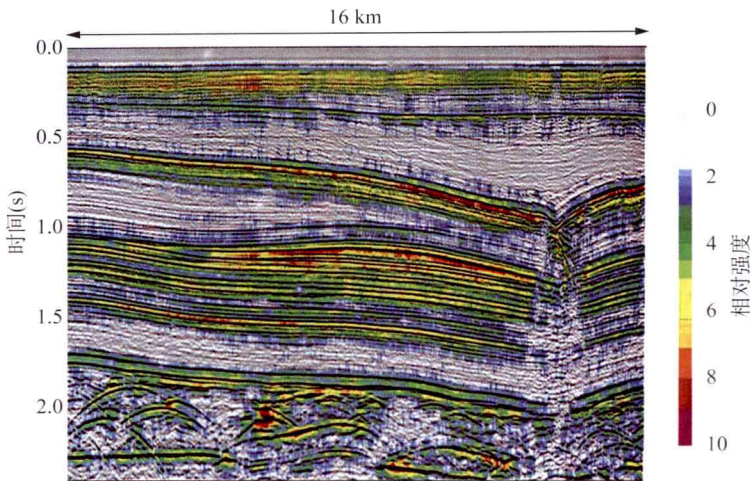


图1-2 20世纪70年代早期的组合属性图，展示叠置在构造地震剖面上的反射强度（早期最流行的属性）（据Anstey, 2005）

1975 年，Anstey 离开了 Seiscom 责任有限公司（休斯敦），他的同事 Tarhan Taner 和 Fulton Koehler 继续进行这方面的研究，并为属性计算研发出稳妥的数学框架（Taner 和 Sheriff, 1977；Taner 等, 1979）。在他们的方法中，将地震道的振幅作为（复数）分析信号的实部，而信号的虚部是取它的希尔伯特变换进行计算。取实部和虚部分量平方之和的方根计算包络，取虚部和实部分量双倍幅角（ATAN2）的反正切计算相位。最后，用相位的变化率作为频率。所有计算都在地震道的各个样点进行，因此都被称为瞬时属性。到 1975 年，已经确立的三种主要属性分别是：瞬时包络、瞬时相位和瞬时频率。

· 瞬时包络（反射强度）对声波阻抗的变化敏感，因此，对岩性、孔隙度、油气以及薄层调谐敏感。

· 瞬时相位可以用于追踪反射层的连续性，因此，可以检测不整合面、断层和地层的横向变化。

· 瞬时频率可以用于识别异常（不规则）衰减和薄层调谐。

图 1-3 展示两张投影片，它们分别是 Tury Taner 在 20 世纪 70 年代中期和 80 年代 AAPG 资助的地震地层学教学过程中使用过。图 1-3a 代表在二维地震剖面中常见的典型反射。图 1-3b 是用作地震地层学解释的模式化反射特征。那些早期的解释工作流程理念是推动后来几何属性（包括体倾角和方位角，反射层平行性，连续性和不整合面的指示）发展的动力。在第 2 章中，我们将介绍体倾角和倾向方位角估算的理论并提供相应的算法。第 12 和第 14 章将介绍地震地层学是如何被用于并融入更常见的地震地貌学研究的。

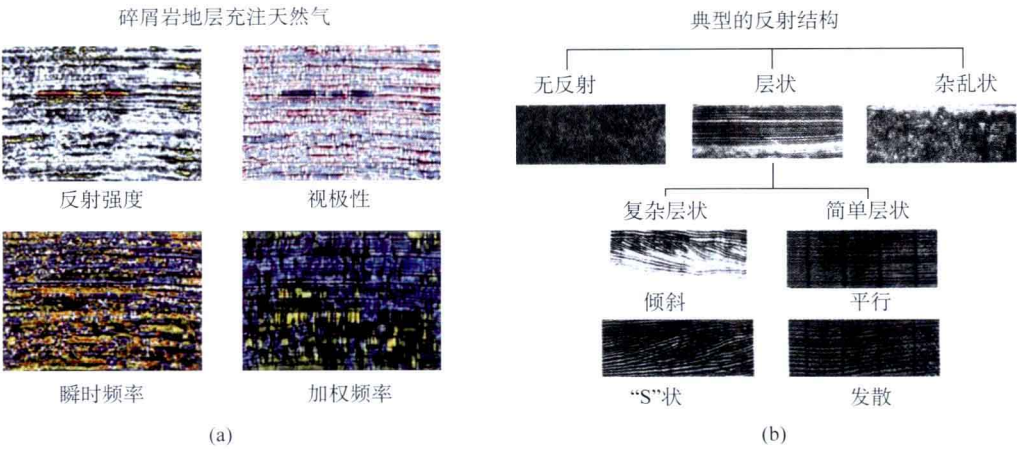


图1-3 Tury Taner在20世纪70年代中期和80年代地震地层学培训班使用过的两张投影片的扫描图。(a) 应用于气藏的复数道分析；(b) 二维地震剖面中的典型反射特征

4.2 地震数据的彩色绘图

除复数道分析的理论发展外，实现有效彩色绘图的硬件和软件当时也在发展中。因此，彩色绘图仪在 70 年代晚期已经涌入市场，当时正是应用复数道分析帮助地震解释的阶段。彩色绘图是演化过程中的重要组成部分，如果没有适当的方式对属性进行彩色显示，则这方面的理论发展也就失去了它应有的意义。在第 9 章中，我们将回顾基础彩色模型，并展示用彩色显示多种属性的现代方法。

4.3 地震波阻抗反演

70 年代中期，来自地震属性方面的另一个重大贡献是对叠后的地震振幅进行反演，转变为声波阻抗，这是一种重要的岩石物理性质，有助于对地下岩石的研究。从反演得到的波阻抗剖面中能获得岩性和岩石孔隙度横向变化的信息。Lavergne (1975) 和 Lindseth (1979) 首次发表了地震道转换为声波阻抗和速度拟测井剖面方面的论文。主要由于能够容易且精确地解释波阻抗数据，同时也因为当时流行的地层解释框架剖面，因此，这类拟测井剖面很快就流行起来。

图 1-4 展示的是斯旺希尔地区泥盆纪礁滩经反演后的地震剖面，Lindseth 用它预测碳酸盐岩的孔隙度。请注意，Lindseth 当时用的是传播时间尺度，而不是速度。他也采用岩性彩色色标来突出传播时间的变化，用这种表示方法，可以在反演得到的声波阻抗剖面中区分碳酸盐岩层段和碎屑岩层段。

因此，70 年代所见到的重要的地震属性技术进展，解释人员至今仍在广泛应用以增加数据的利用价值。

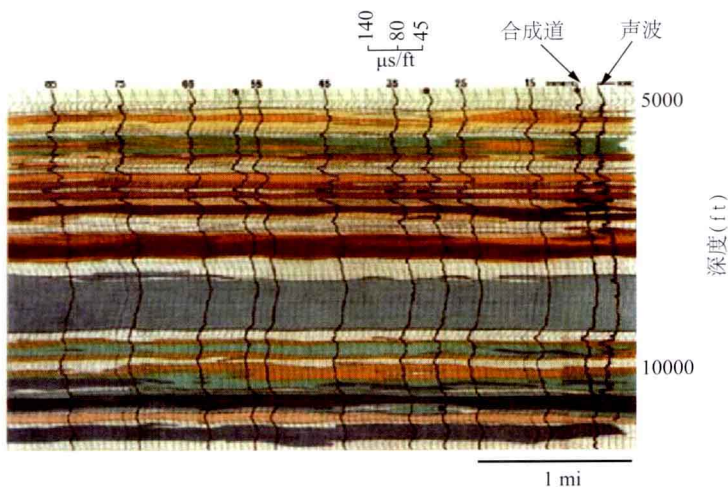


图1-4 斯旺希尔地区碳酸盐岩地层的拟测井反演地震剖面（据Lindseth，1979）

4.4 20世纪80年代是地震属性技术快速发展阶段

地震属性技术在 80 年代得到快速发展，包括瞬时相位的余弦、主频、平均振幅、零交叉频率等。由于瞬时相位的余弦是连续参数，而不是相位本身，所以能得到发展。相位本身在 $\pm 180^\circ$ 处是不连续的。可以对这类连续参数进行内插、处延、平滑、处理乃至移动。80 年代也引入了层段和地层的地震属性，所测定的是以拾取的层位为中心的、用户定义时窗内的平均性质，换言之，是两个拾取层之间的平均性质。当与地震反射相关的储层具有相当严重的非均质性时，不可能追踪某一固定的波峰或者波谷，所以经常利用时窗属性。层段和地层属性更大程度上是一种统计意义的属性，在测井对比时，当我们综合多个不连续的薄砂层时，产生的是有效砂岩厚度与砂岩总厚度比值的平面分布图，而不是单个砂岩层的厚度图。

Robertson 和 Nogami（1984）观察到一个有意义的现象，即零相位地震子波波峰处的瞬时频率与这子波振幅谱的平均频率相等。也就是说，在常规瞬时—频率道中各点的瞬时频率可以直接测定这子波的傅里叶频谱的性质。同样，瞬时相位也相当于那些点子波的真实相位。这些具有物理意义的测定值出现在少数的点上。而其余的瞬时属性测定值则几乎都不能提供有关地震子波的其他任何信息。

然而，解释人员试图用这些信息对储层性质进行数字描述时，他们失败了。后来，White（1991）对此作了说明。他认为，Robertson 和 Nogami（1984）所提出的反射层波峰处的瞬时频率与平均频谱之间的关系在实际上并不具有统计意义，这是因为噪声和波形干涉的原因。

4.5 响应属性

瞬时属性中，最稳定的是包络，经常可以通过计算包络，提供地层层段的精确厚度。

Bodine (1986) 对瞬时包络波峰处估算的反射同相轴的瞬时频率和瞬时相位进行了复核。他证明, 由于地震道上大多数信号能量分布在包络波峰附近, 因此, 波峰上见到数值并不能够用于精确地描述反射同相轴的相位和频率。鉴于 Bodine 将它们称为响应属性, 我们倾向于用 Taner 的描述性术语: 子波属性。因此, 响应(子波)相位是包络值最大点上的瞬时相位。在各个最大值点计算得到相应的响应相位, 并将它应用于从波谷到波谷的能量瓣的宽度范围。这一相位具分段连续性, 可以测量一个能量瓣到相邻能量瓣之间的相位变化。

同样, 响应频率是包络极大值点上的瞬时频率值, 把这个单值分配在两个连续(相邻)波谷之间能量瓣的宽度上。由于响应频率是根据包络波峰上的值计算出的, 这样就避免了瞬时相位(瞬时频率的源)中出现的奇异值, 这些相位的奇异值出现在同相轴干涉处, 尤其在包络的波谷部位最严重。随后, Hordage 等(1998)提倡在解释中利用这些瞬时频率的突变点, Taner (2000) 根据奇异值敏感的瞬时频率同更平滑变化的加权包络瞬时频率之间的差异, 研发出了薄层指示器。

这类奇异值成为 Liner 等(2004) SPICE(相关同相轴的谱成像)属性的主要成分。(我们将在第 6 章谱分解中讨论 SPICE 算法)。最后, 这些波峰值也是 Bahorich 和 Bridges (1992) 地震层序属性成图工作中的成图内容。阅读 Robertson 和 Fisher (1998) 的文章, 可以了解更多有关响应属性方面的内容。

4.6 交互工作站

20 世纪 80 年代, 先进的解释工作站问世。首先进行工作站研发的是几个主要油公司。刚开始时是有外部辅助装置的计算机, 随后是专用的小型计算机, 以后是个人计算机, 最后是 UNIX 工作站。交互工作站的两大优点对属性有利。首先, 彩色应用分布在整个过程, 同时, 彩色显示也经济适用(除非你愿意硬拷贝)。其次, 大多数属性都适合用交互的方式计算求取。这样做的好处不仅加快了速度, 同时也降低了个人风险。敢于创新的解释员经过一整夜的试验, 一旦他的努力使图件得到改善, 第二天就可能向其上司展示所取得的丰富成果。

因此, 80 年代, 地震数据处理和显示能力方面所取得的快速进展, 促进了 90 年代中期出现的属性技术的飞速发展, 因为前者是后者发展的前提。但是, 与 70 年代相比, 属性在 80 年代的实际应用有所下降。

4.7 属性失去关注

复数道属性受制于相邻界面产生的波形干扰, 这种波形干扰使数据内隐含的特征变得模糊。特别情况下, 瞬时频率可能落在地震频宽之外, 甚至产生负值。尽管部分研究人员理解这种现象, 并将这些现象作为不整合面或者薄层的指示器, 但波形干涉的有害影响却没有公开发表。因此, 试图将物理意义与这类属性建立联系的解释人员, 因人为的假象而受挫。解释人员同时也认识到, 很难在那些属性与充注流体的储层性质(如孔隙度)之间建立对应关系, 所以, 这些属性不能用于定量描述油气藏的性质。80 年代以后, 解释人员

对地震属性失去信任。同时，使解释人员失去信任的还有地震地层学，因为大量根据地震地层学预测确定的井位都成了干井。随后，J.D.Robertson (J.D.Robertson 个人交流，2005) 提出了三个促使石油行业从属性和地震地层学错误决策中醒悟过来的三个因素。

1) 分辨率的制约

对于 80 年代分辨率有限的地震数据，解释过程中也缺乏足够的地质信息（资料）输入，与所追求的地层分辨率相比，解释人员对地震数据真正可以解决的地质问题感到迷茫。当地质学家试图对地震属性作地质解释时，他们并不真正了解地震数据固有的局限性，而他们的地球物理学家同事也没有告诫他们有关地震分辨率方面的缺陷。

2) 过渡到三维地震数据

三维地震勘探出现在 70 年代的早期，到 80 年代中期已经显露出它是陆上和海区成像的有效技术。它使地震数据的分辨率大幅度提高，使干井大量减少。即使当时三维勘探的价格昂贵，但与二维地震数据完成的地震地层学分析相比，已经证明三维地震数据解释所完成勘探预测的成功率要高得多。低的钻探成功率使二维地震地层解释的属性剖面遭到失利。只有当解释工作站问世，并将它应用于三维地震数据，属性技术的应用才又得到恢复。

3) 钻井选择不谨慎

70 年代的能源危机以及随之而来的油价飞涨之后，80 年代早期，油公司争夺钻探有前景的圈闭，而不是很谨慎地只钻探那些优质的前景圈闭。从本质上看，勘探管理层允许钻探很多条件不好的圈闭，而地震地层学和地震属性分析却为钻探失利承担责任。钻探失利应该归咎到管理层极差的判断能力，或者归咎到对油价预测的过度乐观。

当时，其他的专家们也曾经直言要注意地震属性的局限性，Bernes (2001) 对这些作了归纳。

4.8 二维属性

80 年代中期，地震数据记录和处理技术的明显改善，使地震数据中可以用作地层解释的信息成分增加。这一时期内，开发出了数种二维连续性和倾角属性，并将它们应用于确定和分析地震相的工作程序 (Conticini, 1984; Uossler, 1988)。通过在二维工区相交测线上应用二维视倾角估算，Finn (1986) 预言需要三维倾角和方位角估算。尽管这是新颖的和有价值的，但这种程序当时并没有得到强烈的响应。因此，结果可能是主观的，二维探测包含太多的来自平面以外的反射假象。

4.9 层位和层段属性

80 年代中晚期开始采用层（位）属性 (Dalley 等, 1989) 和层段属性 (Sonneland 等, 1989)。这些属性表明，解释层位所显示出来的反射层特征在垂向地震剖面中难于观察到。反射特征中的区域变化应该与古地理单元有关 (Brown 和 Robertson, 1985)，而地震层位的振幅提取所揭示的特征直接与地层单元有关。利用振幅提取图可以内插或者外延从控制井中得到的油气藏性质 (Thadani 等, 1987)。Alistair Brown 在 AAPG 论文集 42 (1986)