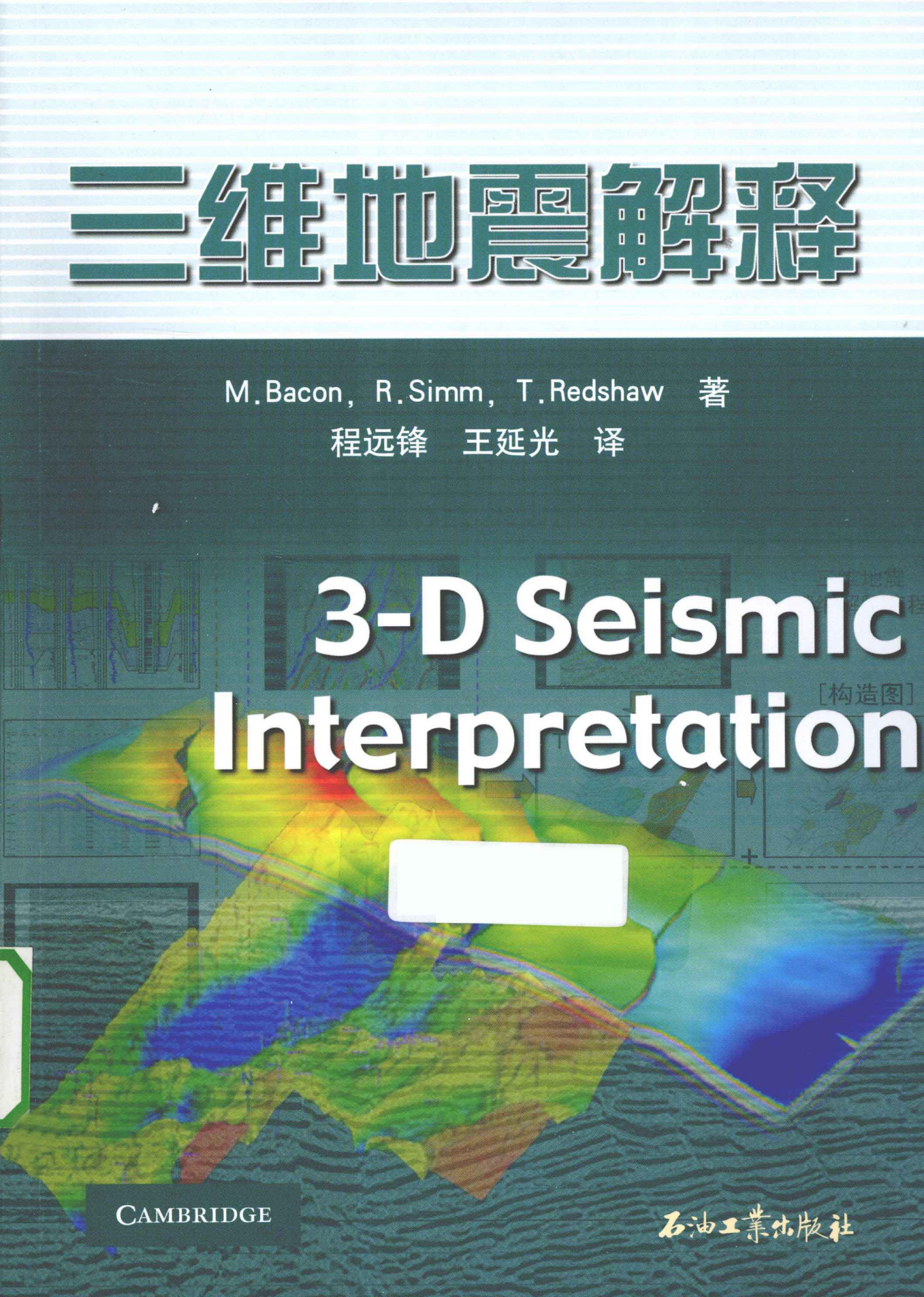


三维地震解释

M. Bacon, R. Simm, T. Redshaw 著

程远锋 王延光 译

3-D Seismic Interpretation



CAMBRIDGE

石油工业出版社

三维地震解释

M. Bacon, R. Simm, T. Redshaw 著

程远锋 王延光 译

石油工业出版社

内 容 提 要

三维地震数据已经成为石油工业界了解地下信息的主要资料。除了能够提供优质的构造成像,高密度采样的三维地震资料有时能够给出储层特性图和油气分布图。本书旨在帮助新入门的地球物理工作者和地质工作者避开三维地震数据解释的陷阱。

本书主要介绍了基础的构图方法和构造解释、地质解释、三维可视化方法的应用、利用振幅与岩石性质和孔隙流体性质的关系进行的地震振幅解释。为了提高解释员对数据质量的理解,本书还介绍了三维地震数据采集和处理的内容。

本书没有大量的数学推导,只详细给出了岩石性质和孔隙流体性质的变化对地震振幅的影响,以使读者能够完成自己的岩石物理计算。

本书适合从事地震地质综合解释方面的科研人员和油田相关勘探开发科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

三维地震解释/(英)培根(Bacon, M.), (英)希姆(Simm, R.), (英)莱德肖(Redshaw, T.)著;程远锋,王延光译. —北京:石油工业出版社,2013.9

书名原文:3-D Seismic Interpretation

ISBN 978-7-5021-9686-8

I. 三…

II. ①培…②希…③莱…④程…⑤王…

III. 三维地震解释

IV. P631.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第167946号

3-D Seismic Interpretation, first edition (ISBN 978-0-521-71066-4) by M.Bacon, R.Simm and T.Redshaw first published by Cambridge University Press 2007

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Petroleum Industry Press 2013

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Petroleum Industry Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)销售。

著作权合同登记号:图字01-2013-6677

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: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010) 64523533 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

2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11

字数:280千字

定价:78.00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

译者的话

本书英文版原著出版以来，在国外受到了广泛的好评。我们非常高兴将原著翻译成中文介绍给国内的读者。本书英文版原著语言通俗易懂，概念清晰，图文并茂，涵盖了三维地震解释的主要内容，甚至也包括了三维地震处理的精髓，起到了纲领性的作用。本书的特点是，原著作者都具有在石油行业生产和科研一线多年的实践经验，以简短精悍的图文内容剖析了三维地震解释和处理的主要内容，可读性极强。对新接触三维地震勘探的地球物理工作者和地质工作者来说，本书是一本优秀的入门引导著作。对活跃于三维地震领域的专家来说也是非常值得经常翻阅的，以便与原著作者的经验总结做一对比和探讨。因此，本书适合于石油地质、石油物探、石油工程等专业的高年级本科生、研究生，以及石油工业界勘探生产一线的专家和研究人員阅读参考。

感谢山东省委省政府和石油工业出版社对泰山学者海外特聘专家的大力支持。感谢中国石油化工集团公司及其胜利油田分公司给予的资助。同时，我们欢迎读者针对译文中可能出现的错误给予指正。

程远锋，王延光

2013年5月15日

作者介绍

本书作者是具有多年石油行业工作经验的职业地球物理学家。他们目前仍活跃于三维地震解释领域，因此能够总结出当前最佳的实践方法。本书对地球科学家了解三维地震数据来说是必不可少的，尤其是地球物理学科及石油地质学科的研究生，以及石油工业界的入门者。

Mike Bacon 剑桥大学地球物理学博士，之后在爱丁堡地质科学研究所 [Institute of Geological Science in Edinburgh, 现为英国地质调查局 (British Geological Survey)] 任首席科学官。离开加纳国 (Ghana) 阿克拉大学 (University of Accra) 地质系讲师位置后，他在英国壳牌 (Shell UK) 工作了 19 年，做地震解释员和地震专项研究组组长。Bacon 博士与 McQuillin 等于 1979 年一起著有《地震解释入门》(Introduction to Seismic Interpretation) 一书。他是石油工业界杂志 First Break 的编委，地质协会 (The Geophysical Society of London) 的会员和欧洲地质科学家与工程师联合会 [European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE)] 的成员。

Rob Simm 具有 16 年石油工业界经验的地球物理学家，是岩石物理解释和地震数据用于勘探和生产方面的专家。在完成了伦敦大学 (University College London) 海洋地质学硕士和博士学位后，他的早期职业生涯是作为地震解释员在 Britoil 有限公司和 Tricentrol 有限公司度过的。之后他在企业石油公司 (Enterprise Oil) 工作，做过北海 (North Sea) 勘探生产项目以及权益决策的工作，之后为投资团队和管理做内部顾问。1999 年以来，Simm 博士通过他的岩石物理联合有限公司 (Rock Physics Associates Ltd.) 为众多的独立和跨国石油公司提供独立的咨询与培训服务。

Terry Redshaw 在威尔士大学 (University of Wales) 取得数值分析专业博士学位，之后在西方地球物理公司 (Western Geophysical) 做地球物理研究员。1985 年以来任英国石油公司 (BP) 的多个职位，研究地震成像和反演算法，同时领导一个小组为 BP 的全球部门提供地震模拟、岩石性质、AVO 和地震反演领域的服务支持。Redshaw 博士目前在 BP 卓越勘探团队工作，帮助运营部门实施技术工作，以评估油气前景，决定是否进行钻井开采。

前言

应用地球物理学学科使用大量方法研究地下地质体的地球物理信息。由于具有以几十米的分辨率给出地下几千米图像的能力，地震勘探方法成为了目前油气工业界最常用的地球物理方法。在过去的 20 年里，通过使用三维地震方法，地震信息质量得到了大幅提高。然而，解释员的基本技能仍然是只从地震图像中提取出有用的地下信息，这其中，需要综合运用地质学和地球物理学的基础知识。本书有意为开始发展这种解释技能的人员而作，或者可以作为大学课程的一部分，并且适合刚踏入石油工业界的人员参考。笔者假定读者具有地震勘探方法大致的背景知识。尽管已经存在许多全面介绍三维地震理论和应用的著作 [例如，R.E. Sheriff 和 L.P. Geldart, 勘探地震学 (Exploration Seismology, 第二版, 1995)]，但是笔者的目标不是取代这些著作，而是专注于三维地震所特有的解释技术，或者应用到三维数据体而大大体现其价值的技术（例如振幅解释、AVO 分析、反演和时移地震）。然而，本书也包括了对基础原理详尽的解释，以使本书自成一体，比如，本书详细描述了三维地震数据的采集和处理，部分原因是，解释员需要理解数据的局限性，以及给他的图像是否存在造成误导的人为错误，而且，解释员有时需要与采集和处理专家进行交流，这就需要去了解他们的专门语言。考虑到读者群具有各种各样的学科背景，笔者没有使用大量的数学推导。

本书需要包括的内容范围很广，笔者试图专注于自以为是最切实的应用技术。过去的几十年，解释技术经历了飞速发展。部分得益于桌面计算机能力的提高，通常几天就能完成第一轮解释，而不是几个月。同时，数据质量也提高了，应用合适的方法就可以提取出详细的地下信息。笔者试图描绘出这些技术的发展水平。解释员智能的提高与计算能力的增强必将带来地震解释新的发展。

为了阐明不同的解释技术，并给读者带来对现代地震数据质量的感受，笔者使用了很多地震可视化的例子。笔者感谢提供插图版权许可的组织和个人：BP 勘探公司提供了图 2.2，图 2.8，图 2.16，图 2.23，图 2.24，图 2.27，图 2.30，图 2.34 至图 2.37，图 8.3，图 8.7 至图 8.8；ChevronTexaco 和 Statoil 提供了图 5.12；Shell 英国勘探与生产部提供了图 3.1，图 3.3，图 3.5 至图 3.6，图 3.8 至图 3.13，图 3.17，图 3.18，图 3.20 至图 3.24，图 4.4，图 4.6，图 5.6，图 6.2 至图 6.8 和图 6.10；Wytech 联合体 (BP Exploration Operating Co Ltd,

Premier Oil plc, Kerr McGee Resources (UK) Ltd, ONEPM Ltd 和 Talisman North Sea Ltd) 提供了图 7.1 至图 7.6; 伦敦地质协会和 R. Demyttenaere 博士提供了图 1.6b; McGraw-Hill 公司提供了图 5.3; 欧洲地质科学家与工程师协会 (EAGE) 和 J. Hendrickson 博士提供了图 5.16; EAGE 和 P. Hatchell 博士提供了图 8.4, 图 8.5; EAGE 和 J. Stammeijer 博士提供了图 8.6; 勘探地球物理家学会 (SEG) 提供了图 4.1, SEG 和 S. M. Greenlee 博士提供了图 1.6a, SEG 和 G. H. F. Gardner 教授提供了图 5.1, SEG 和 H. Zeng 博士提供了图 4.7, SEG 和 W. Wescott 博士提供了图 4.8, SEG 和 L. J. Wood 博士提供了图 4.9。图 3.1, 图 3.3 和图 3.24 由 Landmark Graphics 的软件制作, 图 4.6 由 Stratimagic 软件 (Paradigm Geophysical) 制作, 图 5.15b 由 Hampson-Russell 软件制作, 图 6.3 由 Jason Geosystems 软件制作。

本书旨在帮助理解三维地震解释技术。笔者不可能一一描述每种方法的使用范围及其精度范围。关于这一点, 读者在实际使用中需要引起注意。如果存在疑问, 就需要向有经验的地球物理学家和地质学家寻求建议。

目 录

1 绪言	1
1.1 地震数据	2
1.2 地震数据的偏移	2
1.3 数据密度	6
1.4 地震数据的使用	6
1.5 内容安排	10
1.6 地震显示和单位制	10
1.7 单位转换	12
参考文献	12
2 三维地震数据采集与处理	14
2.1 海上三维数据采集	15
2.2 海上横波采集	21
2.3 三维陆上采集	23
2.4 其他类型的地震调查	27
2.5 三维数据处理	27
参考文献	43
3 构造解释	45
3.1 连井	45
3.2 工作站解释	55
3.3 深度转换	69
参考文献	78
4 地质解释	80
4.1 地震分辨率	80
4.2 地震地层学	83
4.3 解释工具	85
4.4 示例	89
4.5 断层	91

参考文献	92
------------	----

5 地震振幅解释 94

5.1 岩石的基本性质	94
5.2 反射系数随偏移距的变化	96
5.3 解释振幅	97
5.4 AVO 分析	101
5.5 用于地震模拟的岩石物理	108
5.6 评估振幅异常的意义	119
参考文献	120

6 反演 122

6.1 原理	122
6.2 步骤	123
6.3 反演的效益	129
6.4 AVO 效应	133
参考文献	134

7 三维地震数据可视化 136

参考文献	142
------------	-----

8 时移地震 143

8.1 岩石物理	145
8.2 地震测量	146
8.3 地震可重复性	147
8.4 地震处理	148
8.5 示例	149
参考文献	152

附录 A 工作站问题 153

A.1 硬件	153
A.2 软件	154
A.3 数据管理	154
参考文献	155

附录 B 术语表 156

1 绪言

寻找油气聚集区域和对其进行有效的开采，这都需要掌握地下地质情况。最简单的例子就是对地下构造成图以便寻找油气圈闭构造，或者在生产区对断层成像以便了解油气运移被阻隔的情况。对储层特性成图（例如储层厚度和孔隙度）也是大有益处的，一方面可以用来评估油气圈闭的储量，另一方面也可以帮助提供最佳开采方案。我们当然更希望知道油气的实际聚集位置以防止勘探钻井的失败，以及在生产过程中追踪油气在储层中的运移方式，从而可以最大化地提高采收率。理想情况下，需要最经济化地获取这些地质信息，其中对海上勘探来说这也意味着应该最小限度地钻勘探井。

掌握地下情况的传统方法是在地表做地质勘探。然而，对许多地区来说，仅在地表做地质调查是不能够推断出几千英尺深的地下构造和地层情况的。这就需要通过钻勘探井来获取地质信息。勘探井能够提供井点地下的详细信息。对井点之间想要插值得到的信息，以及想要得到未钻探区的地质信息，地球物理方法则是更好的选择。

重力勘探和磁法勘探分别依赖于岩石的密度变化和磁性变化，尽管已经得到部分应用，但是在获取地下信息的各种地球物理方法中，目前应用最为广泛的仍然是地震勘探技术。其原理非常简单，高能量震源（例如小剂量炸药）在地面激发低频声波，声波向下穿过地层，在地层界面上下方存在岩性差异的情况下被反射回地表，并被类似于麦克风的接收器记录下来。通过声波从地表向下到达反射层并返回地表的传播时间可以推断出反射层的深度，通过反射振幅可以推断出地层界面两边的岩性变化。这就好比通过船舶的发声器来了解水深和判断海底是软泥还是硬石一样。

早期的地震数据是沿着直线采集的（二维地震），即通过在某区域对一系列的地震测线用震源激发出地震波以获得绘制勘探图所需的地震数据。这一过程类似于沿许多航线激发声波的回波，以此来绘制海深图。近年来，高密度数据的巨大优势得到了认可，例如通过靠得很近的平行直线簇采集到高密度数据。舍弃了在零星的二维地震数据间插值的方法，三维数据体（ x 和 y 在地表面， z 是垂直向下的时间轴，并非长度单位）能够给出地下的详细信息，这就是人们所熟知的三维地震。

本书是利用三维地震来提高对地下认知的入门著作。虽然已经有很多全面介绍地震方法原理和应用的教科书和综述（例如 Sheriff 和 Geldart, 1995），但是作者的目的是关注三维地震相对于二维地震的特点，相同处只做梗概介绍。本章指出了三维地震相对于二维地震的优越性。然而，三维地震采集花费高，对于特定的实例，需要寻求地震质量和成本支出间的合理平衡。接下来，笔者将会给出本书其他章节的技术路线图，同时声明用于显示地震数据和其他数据的重要约定。

Brown (1999) 的著作可作为本书的补充读物，对于地震数据解释的内容，他在书中给出了带有彩色图示的优秀实例。

1.1 地震数据

最简单的地震测量是一维点测量，即将单个震源（经常称作单炮，以炸药为最常见震源）和单个检波器置于地表同一地点进行的测量。作为显示结果的单个地震道，仅仅是一条地震信号振幅随传播时间变化的曲线，通常时间轴垂直向下为正。高于背景噪声的振幅指出了反射层。对于更实用的二维地震，震源和接收器是位于地表同一条直线上的。沿这条直线的一系列地点重复许多一维地震测量就完成了二维地震测量。实际操作中通常沿线等距离布置一系列检波器，同时记录来自一系列震源的信号，这样就可以提取出具有相同炮检距中心点的所有地震道，组成一个共中心点道集（CMP）。传播时间随偏移距增加而增大的效应被校正过（动校正，NMO）之后，共中心点道集中的许多地震道就可以被加在一起了（叠加）。第2章将详细讨论这一过程。

一个叠加道可以被看做是一个将震源和检波器置于同一地点而得到的一维观测地震道，但是信噪比却显著提高了。将这些叠加道综合在一起就可以显示成一个地震剖面，每一道都被垂直放置在相应的一维观测点之下。道间距取决于震源组和检波器组的间距，典型值为12.5m或者25m。尽管具有以下几点局限性，但仍可以将地震剖面近似当成地下地层的剖面。

（1）垂直轴并非深度，而是地震波传播到反射层并被反射回来所用的时间（通常称作双程旅行时，TWT）。

（2）当地层倾斜的时候，真实反射点并不处在地面观测点的垂直正下方。虽然可以把反射信号重置到正确的地震道位置上，以使地震剖面更接近真实的地下结构，但是对二维地震来说，这只能取得部分成功（参见1.2节）。

（3）要想地层有反射，穿过地层界面必须有波阻抗（即地层密度和地震波在其中传播速度的乘积）变化，因此并非所有地质上有意义的地层都一定会有地震数据上的显示。地震波速度即地震波在岩石中传播的速度（参见附录B中的术语表）。

（4）地震剖面的垂向分辨率最高可能只有5ms，在第4章中将进一步讨论这一问题。（TWT通常以毫秒为单位， $1\text{ms}=1/1000\text{s}$ ）。除了这些局限性，二维地震剖面还是能够较好地反映出地下几何形态的。

尽管实际上并非是这样来采集三维数据的，但是仍可以简单地将三维数据体看成是一系列紧密排列的二维剖面。剖面间距可能是12.5m或者25m，这是由剖面中的道间距决定的。三维覆盖具有以下两个优势：

（1）在三维情况下，偏移处理能给出更好的地下成像结果。

（2）有了三维地震的高密度覆盖，就可以得到调查区清晰的几何构造图和地质情况。我们将对这些问题按顺序逐个进行讨论。

1.2 地震数据的偏移

真实反射点相对于地面震源、检波点具有横向移位，为了应对这一事实而对地

震剖面进行变换的处理步骤就是人们所熟知的地震偏移。对于二维剖面，图 1.1 给出了偏移问题的由来。假设地震记录数据已经被校正成了零偏移距下的观测结果，即震源和检波器是重合的，以至于二者间没有炮检距。对于零炮检距，反射波返回路径就是入射到反射层的路径，因此在反射层的入射角需为 90° 。地层倾斜时，反射点不在地面点正下方，不仅如此，某些地面点可能会接收到来自几个不同地层反射点的反射信号，另外一些地面点可能没有接收到任何反射信号。如果地震道被垂直显示在地面点正下方，如图 1.1 下半部所描绘的那样，想要进行精确地震解释就会遇到困难。一个叫做地震偏移的处理步骤能够解决这一问题，反射点因而会被重置到正确的空间位置上。实际操作中实现地震偏移的方法有多种，其中一种方法（Kirchhoff 求和）的原理见图 1.2。将均一速度介质中的一个散射点看成是一个猫眼，入射波线因此会正好沿入射路径被反射回去。如果在具有这种散射性质的一个反射点之上的地面激发一条地震测线，就会得到一个双曲线反射剖面。这导出了以下的偏移方法，即可以通过沿以散射点 A 为顶点的双曲线进行振幅叠加，从而就会得到偏移剖面上 A 点的振幅。标记出双曲线所扫描过的地震道各点的振幅，对这些振幅的求和就是偏移剖面上 A 点的振幅。虽然并非所有求和中用到的振幅值都与 A 点的散射有关，但是，如果有足够多的求和地震道，接收到的来自其他散射点的能量就会互相抵消掉，因而 A 点辐射出的能量将会沿双曲线被叠加到同一相位上。一项全面的研究表明，求和前必须应用各种校正处理，参见 Schneider (1978) 的著作。

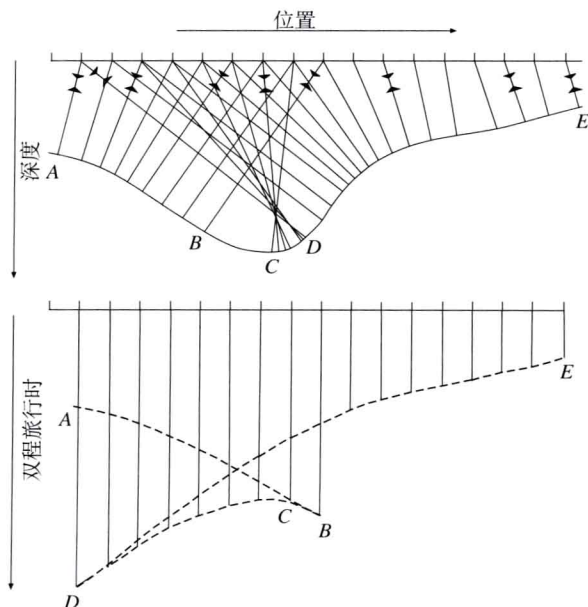


图 1.1 垂直界面入射的地震波波线及其旅行时间剖面示意图

上述偏移过程的局限性在于，只能在二维剖面内做数据偏移。如果数据是沿着倾向采集的，这没有问题；可是，如果数据是沿着走向采集的，偏移就不能给出正确的结果了。对于 2.5 维结构，即所有倾向剖面都相同的三维结构，由于走向剖面内所有

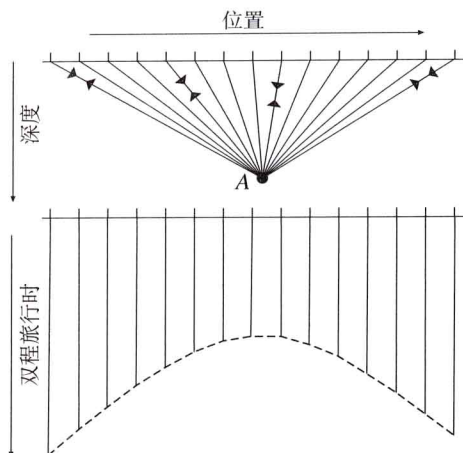


图 1.2 经过一个散射点反射的地震波线及其旅行时间剖面示意图

的反射层都是水平的，偏移过程不能将他们重新定位。因此，偏移后的倾向剖面 and 走向剖面不能沿着交叉线闭合（图 1.3a）。对复杂构造上用密集网格二维测线采集的数据，解释起来就很困难，尤其是在实际中沿着倾向和走向都会存在构造的局部变化。

一般而言，任何地震测线都会接收到并非位于地震测线正下方地下点的反射，可是偏移时会假定这些点位于地震测线下垂直剖面内，这将会误导偏移结果。例如，图 1.3b 展示了一副倾斜穿过一个斜坡的地震测线。反射点根据局部倾角的不同以不同的距离偏离测线正下方，一般是 250m。如果根据此测线寻找地质特征（例如小断层或振幅异常体）以便精确定位探井的话，我们就要留意这些特征实际上比所显示的要偏离测线 250m。当然，对这个简单的例子，通过解释一网格的二维测线就可以很容易掌握这些偏移。然而，如果地质构造复杂，也许存在多个小断块的情况，而且在目标深度每一个断块都具有不同的倾角，这样的话，就几乎不可能从一网格的二维测线中得出正确的构造图了。

另一方面，三维数据的偏移是在三维情形下聚焦的，比如 Kirchhoff 求和是沿着双曲面的，而不是双曲线（图 1.4）。三维调查中对一个地震道的偏移是通过沿着整个 (x, y) 平面从其他地震道收集所有属于它的能量。这意味着反射记录在三维体内可以被正确定位（假设偏移过程中使用了精确的算法和参数，将在第 2 章中对此进一步讨论）。这是复杂地区成图的一个巨大进步；舍弃了一网格的并不能彼此闭合的二维测线，有了一个三维地震数据体，可以有选择地显示任意一个角度的剖面。而且，数据的聚焦性能提高了。对未偏移数据，Fresnel 带被当成是水平分辨率的极限，即反射层内围绕某点的面，从面内反射回检波点的地震波相位大体一致，因此被当作是一个反射点。此带半径近似为

$$f^2 = \frac{\lambda h}{2}$$

式中， λ 是地震扰动波的主导波长； h 是震源—检波点下反射层的深度 [参见

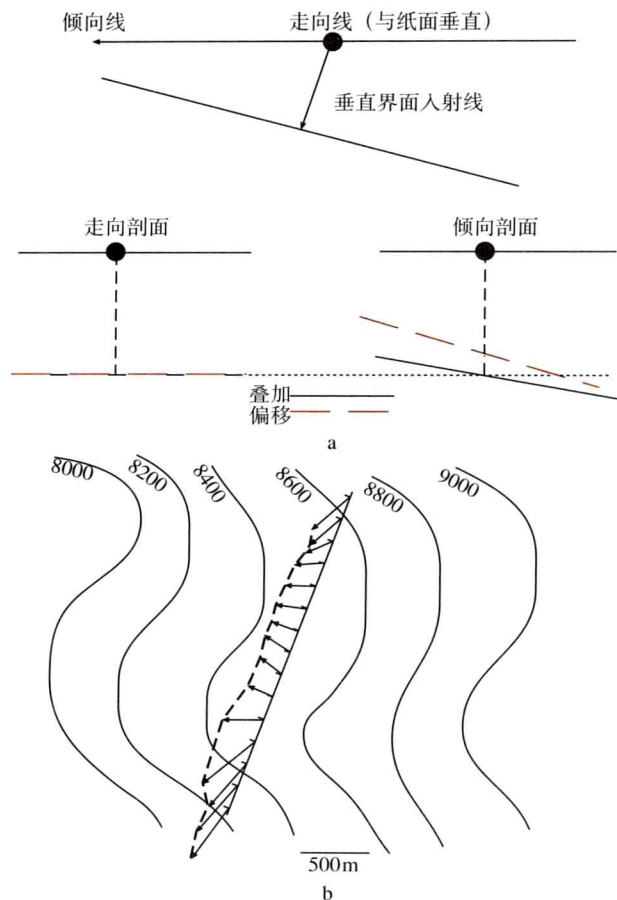


图 1.3 对于 2.5 维构造，实施地震偏移后倾向线和走向线是不能闭合的 (a)；
一条二维地震测线下反射点分布的平面图 (b)。等值线为深度 (ft)

McQuillin 等 (1984) 的著作]。Fresnel 带典型的半径值可以达到几百米。偏移会收缩 Fresnel 带；二维偏移仅仅沿测线收缩 Fresnel 区，但是三维偏移既沿主测线也沿横测线将 Fresnel 带的半径收缩到 $\lambda/2$ ，可能达几十米的量级。尽管其他各种因素仍将限制实际上能获得的分辨率，三维偏移无疑将会提高地震图像的细节显示能力 (参见 4.1 节)。

1.3 数据密度

一旦拥有了三维数据，就可以立即提高地下构造的成图精度。一方面是因

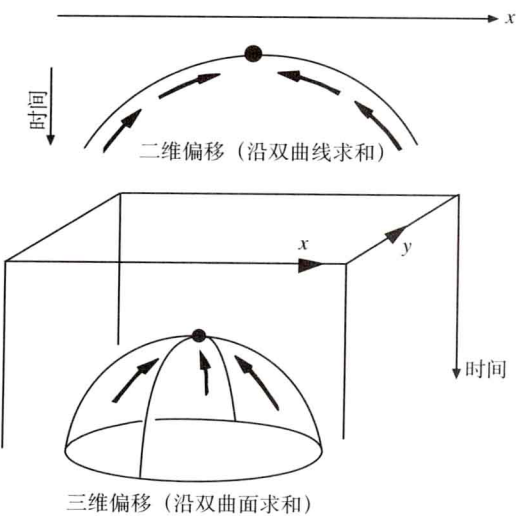


图 1.4 二维 Kirchhoff 偏移和三维 Kirchhoff 偏移

为上节讨论过的三维调查对成像的改进作用，另一方面更是因为我们拥有了高密度的数据信息。网格的二维数据对复杂构造图是一个主观过程，因为解释员不得不人为决定如何来连接不同测线上相距 1km 甚至更远的地震特征。这意味着判定复杂区域的断层模式将会非常耗时，成果图也往往具有很大的不确定性。三维数据具有密集网格的地震道，因而有更大的把握从中来找出断层和地层尖灭等地震特征并对这些构造进行成图（参见 3.2.2 节）。

近来人们认识到，高密度覆盖数据有利于我们更多地利用地震属性。将在第 5 章中详细讨论这一问题，一个典型例子是，我们在储层顶部测量振幅，一旦有油气存在，振幅就会增加。但是，这种效果常常难以捉摸，因为振幅变化也许很小，从而被噪声淹没掉了。相比沿着一条二维测线的振幅变化，在三维数据体中能够更清晰地显示出振幅的一致性变化。

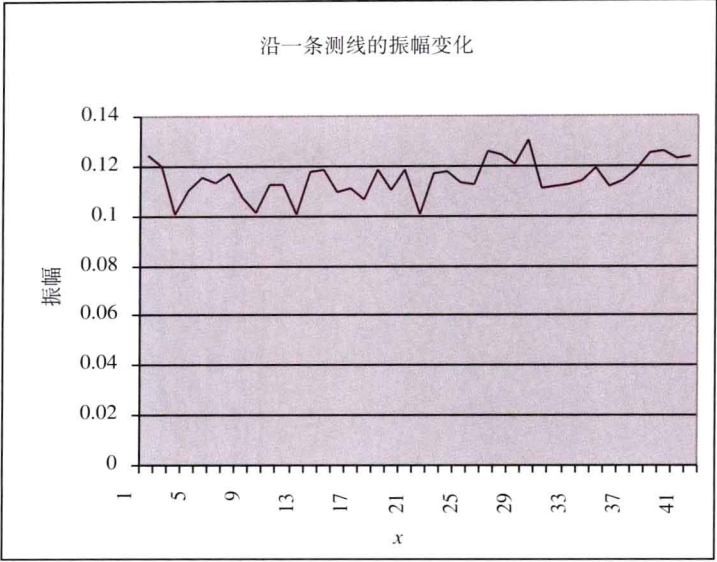
图 1.5 是一个合成记录的例子，阐明了在二维平面图下观测密集数据的优势。a 图是沿一条测线的振幅曲线图；左半部平均值为 0.11，右半部是 0.12，整条曲线被加上了幅值为 0.01 的均一分布的随机噪声。仅凭此曲线，很难断定右半部具有更高的均值振幅，或者判断何处开始变化。b 图是一个 40 条测线的振幅等值平面图，每一条振幅曲线的台阶都处在相同的位置，只是随机噪声的模式不同而已；测线是从下到上排列的。振幅均值的台阶变化展示的非常明显。我们会在第 5 章中看到，将振幅异常与构造进行关联会有力地指示出油气的存在；这个合成记录的例子展示了在三维数据下进行的振幅异常解释比在一网格的二维测线下更加可靠。

1.4 地震数据的使用

在油气勘探和生产阶段都使用地震数据。需要在成本和收益之间寻求平衡来最终决定所要采集的数据类型和质量。总体思路如下。

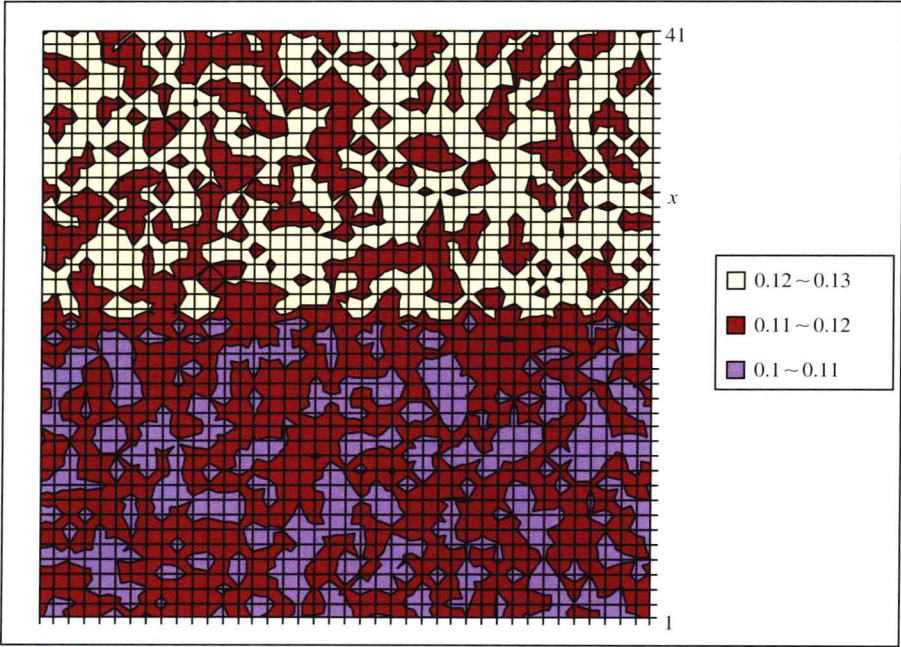
(1) 勘探初期。该阶段对地下信息的了解是概括性的，调查区只有很少的井信息或者根本没有，利用露头地质学或者间接利用重力勘探和磁法勘探来推断沉积盆地的存在，即根据密度异常或磁力异常从变质岩基底区分出沉积岩的方法（Telford 等，1976）。该阶段，如果有穿过盆地的哪怕零星几个相距几公里的地震剖面，都非常有利于确定沉积的大体厚度和总体构造特征。

(2) 也许在盆地钻了几口有价值的井之后，就会进入详细勘探阶段。这一阶段的目标是确定和钻探有价值的圈闭。这时需要更多的地震数据，尽管实际需求量是由构造的复杂度来决定的。少数几个地震剖面也许就能确定出简单的背斜构造，但是仅靠二维数据就想对复杂断层构造成像来做确定性解释，这还远远不够。如果钻探井比较便宜，而地震数据采集花费较高（陆地情形常常如此），也许最好的方式就是在—网格的二维测线的基础上进行钻井。如果相对地震采集来说钻井的代价更高（典型的海上情形），在此阶段更值得做的是使用三维地震搞清楚钻井是否处于圈闭的正确位置。例如，这关系到是否是在断层的上升盘处钻的井，或者是在正确的岩丘侧边与预期层尖灭的交界处钻的井。图 1.6a 展示了一个三维地震完全改变了一个地区构造图



a

振幅：平面图



b

图 1.5 振幅沿测线位置变化的曲线 (a) 和用许多条类似的平行测线得到的振幅变化的平面观测图 (b)

的例子 [根据 Greenlee 等 (1994) 的论文重绘]。这是在 Alabaster 区域，位于墨西哥湾的一个岩丘之上。根据二维地震图钻的第一口探井是干井并被抛弃了，在期望的含油层遇到了盐岩。三维调查显示，这口井恰恰是在主要含油层尖灭的上倾处钻取的。

三维地震的一个用武之处是，振幅可以作为油气存在的指示并且在三维情形下更容易对振幅成图。

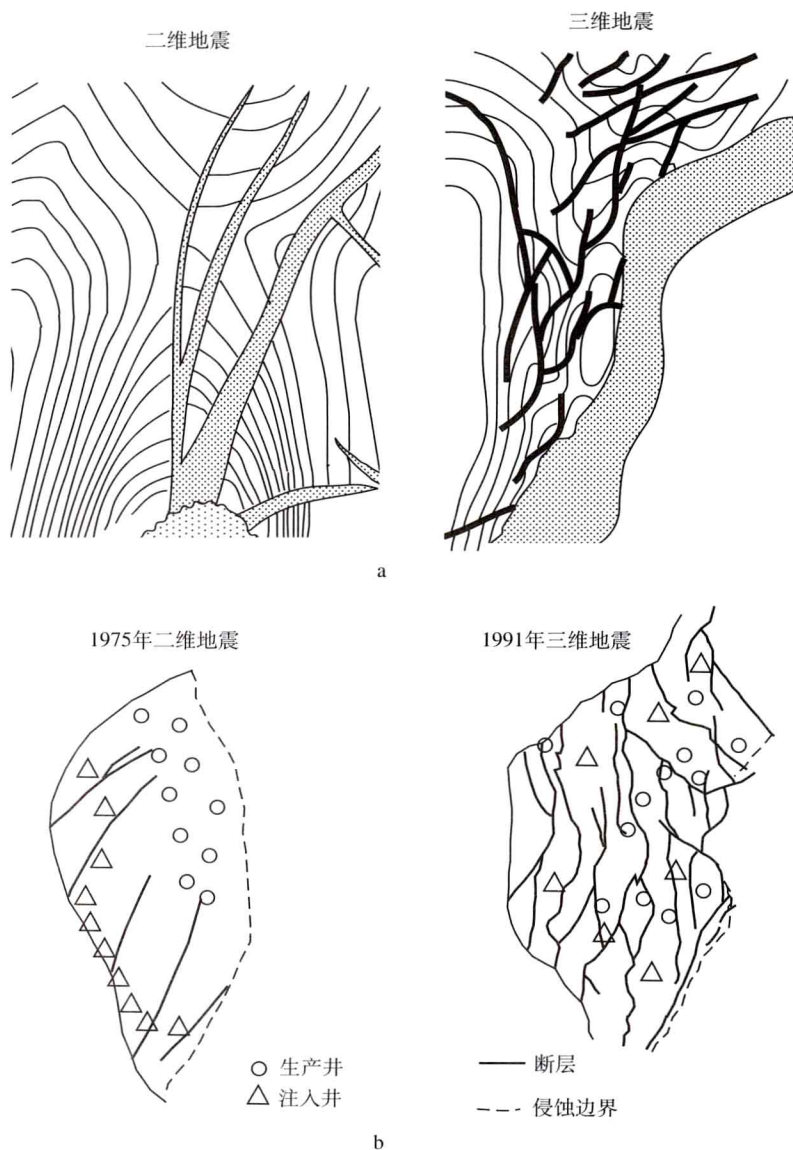


图 1.6 三维地震改变了构造图的几何结构

a—墨西哥湾 Alabaster 地区 (根据 Greenlee 等 (1994) 的论文重绘, 得到了作者及 SEG 的授权);

b—英国北海 Cormorant 地区 [根据 Demyttenaere 等 (1993) 的论文重绘, 得到了作者及伦敦地质协会 (GSL) 的授权]

(3) 在有所发现之后, 下一步就是了解油气储量。这是决定开发是否有利的关键因素。在这一阶段, 需要评估井来证实油气的存在, 并通过沉积岩心来考察储层的特性。详细的地震图可以减少所需要钻取的评估井的数量, 这对于典型的成熟油