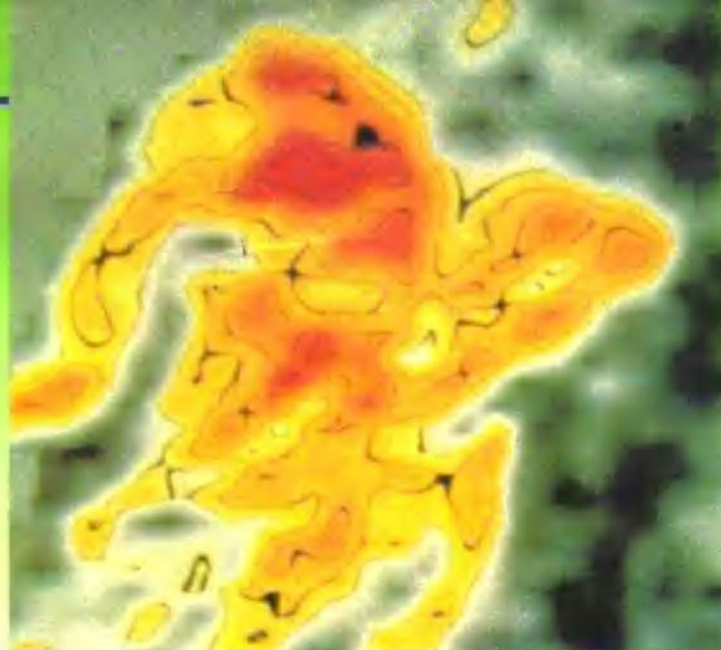
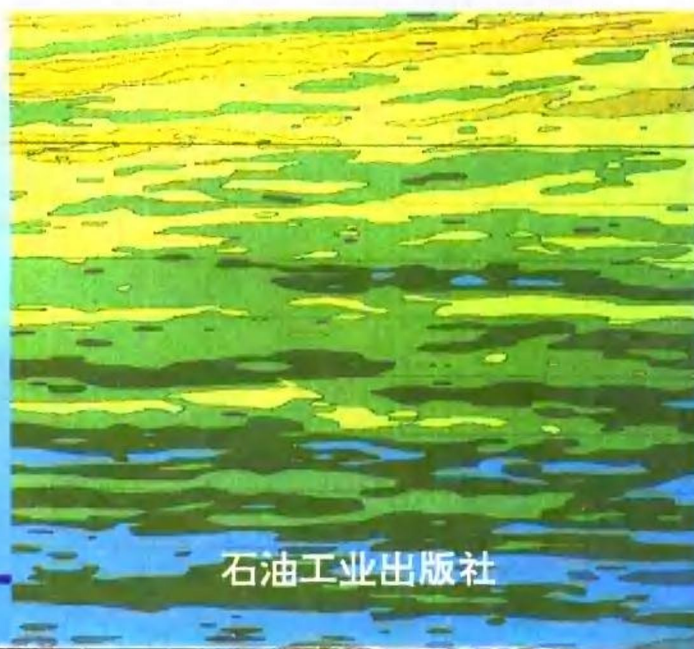




三维地震资料解释

A.R. 布朗 著



石油工业出版社

京)
8

三维地震资料解释

A. R. 布朗 著

张孚善 译

石油工业出版社

内 容 提 要

该书从三维地震资料解释的一些基本概念出发,着重阐述了如何利用颜色特性和水平切片认识地层与储层的变化并作构造图。该书还结合亮点确认和调谐效应进行储层评价和储量计算。并通过三维地震勘探的实例阐明了如何解决复杂构造地质勘探中的难题。

本书采用大量彩图说明问题,形象易懂。书中还附有三维解释的练习。

该书可供从事地震资料处理和解释的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

三维地震资料解释/(美)Brown 著;张孚善译.

北京:石油工业出版社,1996.1

ISBN 7-5021-1443-2

I. 三…

II. ①B…②张…

III. 地震,三维-数据-动态资料分析

IV. P315.63

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开 5印张 28插页 117千字 印1—1200

1996年1月北京第1版 1996年1月北京第1次印刷

定价:80.00元

译者的话

本书为美国“AAPG”论文集 42。它总结了 1975 年以来三维地震资料解释的方法与经验。该书紧密联系地质概念,对储层的空间结构形态、储层物性的定量变化、油气藏的确认与储量计算等进行了研究。通过人机联作交互解释,能够完成从勘探到开发的一整套地质研究任务,从而实现地震勘探的时代性飞跃。

为了使国内三维地震勘探解释工作尽快跨入世界先进水平,译者经“AAPG”及原文作者允许,将原英文版译成了现在的中文版,供从事三维地震勘探研究工作的技术人员及专家们参考。

限于时间和本人翻译水平,难免有不妥之处,请指正。另外,在此特向“AAPG”及 A. R. 布朗先生表示感谢!

前 言

整体大于各部分之和。

——亚里士多德

三维地震资料解释已经形成了一套独特的解释方法。该书涉及到了一些方法,但不是无限的。其主题分为两个方面:

- (1)如何以最佳方式使用地震资料;
- (2)如何以目前的地震资料取得最多的地下信息。

本书适用于对基于地质和地震基本原理的地震资料解释有一定了解的读者。多数的读者应是刚刚接触到三维资料和想扩大其知识领域的地震解释人员,或者是想重点研究地下的详情或储层特征的解释人员。

颜色正在成为地震解释的最重要部分,本书颜色图解部分强调了这一点。

编写和组织该书是一种挑战,困难与收益并存。若没有许多朋友的帮助和鼓励,完成该书是不可能的。首先,我要感谢 GSI(地球物理服务公司),特别是 Bob Graebner,他对编写计划给予了鼓励。休斯敦大学的 Bob Sheriff 是我的良师益友,他帮助我找到了编写该书需要的资料。Bob McBeath 则一直给我提供帮助,也是我写该书的技术顾问,他审读了全部手稿。我感谢许多为该书出版提供资料的公司和公司内许多向我提供他们的资料并与我讨论其解释成果的同行人,尤其是美国 Chevron 公司的 Roger Wright、Bill Abviel 和 New Orleans,对我帮助很大。在 GSI 公司内提供大量帮助的伙伴是 Mike Curtis、Keith Burkart、Tony Gerhardtstein、Chuck Brede、Bob Howard 和 Jennifer Young。最后,我要感谢我的妻子 Mary,她一直保持着清醒的头脑,在打印和编辑手稿时对争议词进行了处理。

目 录

第一章 绪 言	(1)
第二章 颜色特性与零相位	(13)
第三章 用水平切片作构造解释	(20)
第四章 用水平切片作地层学研究	(32)
第五章 亮点确认	(40)
第六章 调谐现象	(48)
第七章 储层评价	(54)
第八章 三维地震勘探实例	(59)
第九章 解释练习	(73)

第一章 绪 言

一、三维地震的发展过程和基本概念

地球是三维的,而且我们企图寻找或评价的石油储存在三维的圈闭内。然而,试图反映地下地质情况的传统地震方法,是一种二维方法。Walton 介绍三维地震勘探的概念时,是 1970 年。1975 年,三维地震勘探首次以正式合同的方式被推广。第二年,Bone、Giles 和 Tegland (1976)向世界介绍了这一新技术。

三维方法的实质是区域性的资料采集,加上密间距数据体的处理与解释。因为三维地震勘探能非常详细地认识地下现象,可对油田的评价、开发和生产问题起到重要的作用。许多三维地震测量成果的完成和获得最大的经济效益,是在油田发现后的阶段内。Tegland 于 1977 年首次公布了关于油田开发的三维地震工作区。

在十年的三维勘探历程中(1975~1985),获得了许多的成绩和效益。这里摘录的三段话就是明证。

“……似乎一致同意:三维测量能得到较清晰和更加准确的详细地质图象;而且它们的成本不仅由消除不需要的开发井,还由发现的可能被漏掉的独立的油藏使可采储量增加而被更多地补偿”(sheriff 和 Geldart,1983)。

“就减少开发井的最后数量而论,它超过支付三维地震本身费用的许多倍,这个杠杆作用看来是极好的”(West1979)。

“三维资料的质量比二维资料高得多。另外,特别密集的测线网使它有可能进行更精确与完善的构造和地层解释...根据三维解释已成功地钻了四口油井。它们处在根据以前的二维地震资料由于其质量太差而不能准确成图的范围之内。向东扩大而增加的估算储量,致使 1980 年末公布该油田具工业价值能成为可能”(Saeland 和 Simpson,1982)。

三维地震方法的主要目的是提高分辨率。分辨率包括垂直与水平两个方面,而且 sheriff (1985)定性地讨论了这个问题。有几种不同的能够测量地震资料分辨率的标准;Embree (1985)比较了它们并试图将其定量化。图 1-1 归纳了分辨率问题。偏移是改善水平分辨率的主要技术,反褶积是改善垂直分辨率的主要技术。第二章将从解释的观点考虑子波处理和子波相位问题。

偏移起到三个不同的作用,它们皆与地震分辨率有关。偏移处理能使:(1)倾斜层反射归位;(2)在非涅耳带内分布的能量聚焦;(3)来自点与边界的绕射现象减弱。地震波前是以三维形式传播的,因此,如上所有的三维问题,一般是明显的。如果我们按二维方式处理,仅能要求可能改善的那部分。事实上,二维测线通常布置在主要构造特征的走向与倾向上的目的是为了能尽量减少难以消除的三维影响。

三维偏移的精度取决于速度场、信噪比、偏移窗口和使用的方法。假定由这些因素产生的误差很小,那么,该资料将容易进行构造和地层解释。交叉同相轴将被分开,绕射现象将消失,倾斜同相轴将移到其准确的地下位置。绕射能量的减弱和非涅耳带内分布能量的聚焦,将使

得振幅更准确,和更直接依照储层特征进行解释。

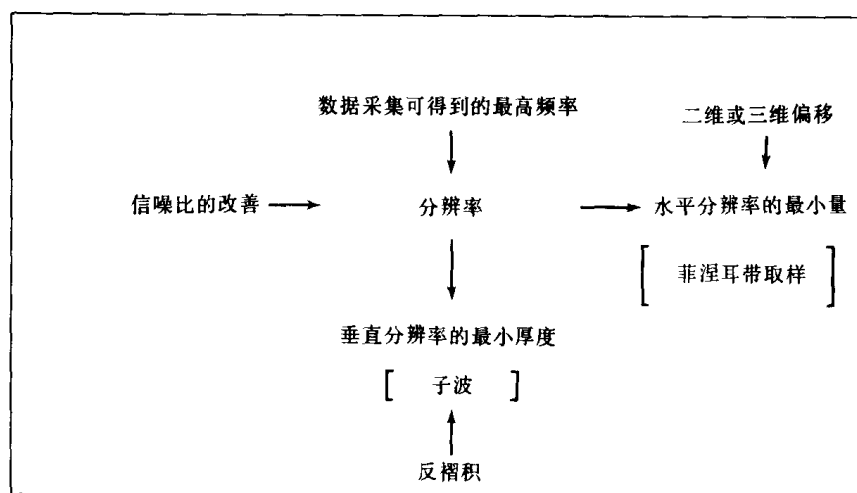


图 1-1 影响水平与垂直地震分辨率的因素

二、三维资料改善的例子

二维垂直剖面解释人员通常假定:资料是按照炮点和检波器所经过的测线以下的垂面范围记录的。这个范围并不是随正交于该测线的构造复杂性而定的。图 1-2(彩图)说明:在具有中等的构造复杂性的情况下,得到的这些正常反射深度点实际上是沿着不规则的“之”字形轨迹分布的。只有沿着和正交于测线的方向偏移,才可能解决这些反射点所属的地下位置。

French(1974)利用模型试验很清楚地说明了三维偏移的重要性。他收集了包括两个背斜和一个断崖的模型范围的地震资料(图 1-3)(彩图)。虽然仅表示了测线 6,但收集了 13 条测线的资料。因为原始资料具有两个背斜和断层的绕射现象,所以剖面显得很杂乱。用二维偏移极大地改善了情况,并精确地反映出了 1 号背斜(以绿色表示),正如通过其顶部的测线 6。然而,2 号背斜(以黄色表示)不应该出现在测线 6 上,断崖倾斜也是错误的。三维偏移更准确地反映出了断崖,并将黄色背斜由测线 6 移到了它所属的位置。

图 1-4 说明了实际资料的三维同相轴移动。三维偏移前、后的 6 条测线分别位于同侧。这里我们能观察到在左侧的分散状大面积组合的反射和它们按照较大测线号中的方向的移动。

图 1-5 表示一个不整合反射连续性的改善。二维偏移已减弱了大部分的绕射现象,但尚有某些混乱残余。三维偏移横向测线消除了不在该剖面平面内的能量,并且澄清了不整合面的详细形态。

图 1-6 表示由消除不属于该剖面平面的能量来增加流体接触面反射清晰度的三维偏移效果。

图 1-7 和图 1-8 表示通过和靠近刺穿盐丘的三条测线部分。测线 180 表示用三维偏移归位的盐体边缘的陡倾斜反射。在图 1-8 内的测线 220,表示与盐体表面成正交的向上陡倾斜的反射所引起的貌似背斜。在该探区内,三维偏移反映出了盐丘悬挂形式的反射,且提供了以盐丘面为背景的有价值圈闭部分(Blake, Jennings, Curtis, Phillipson, 1982)。

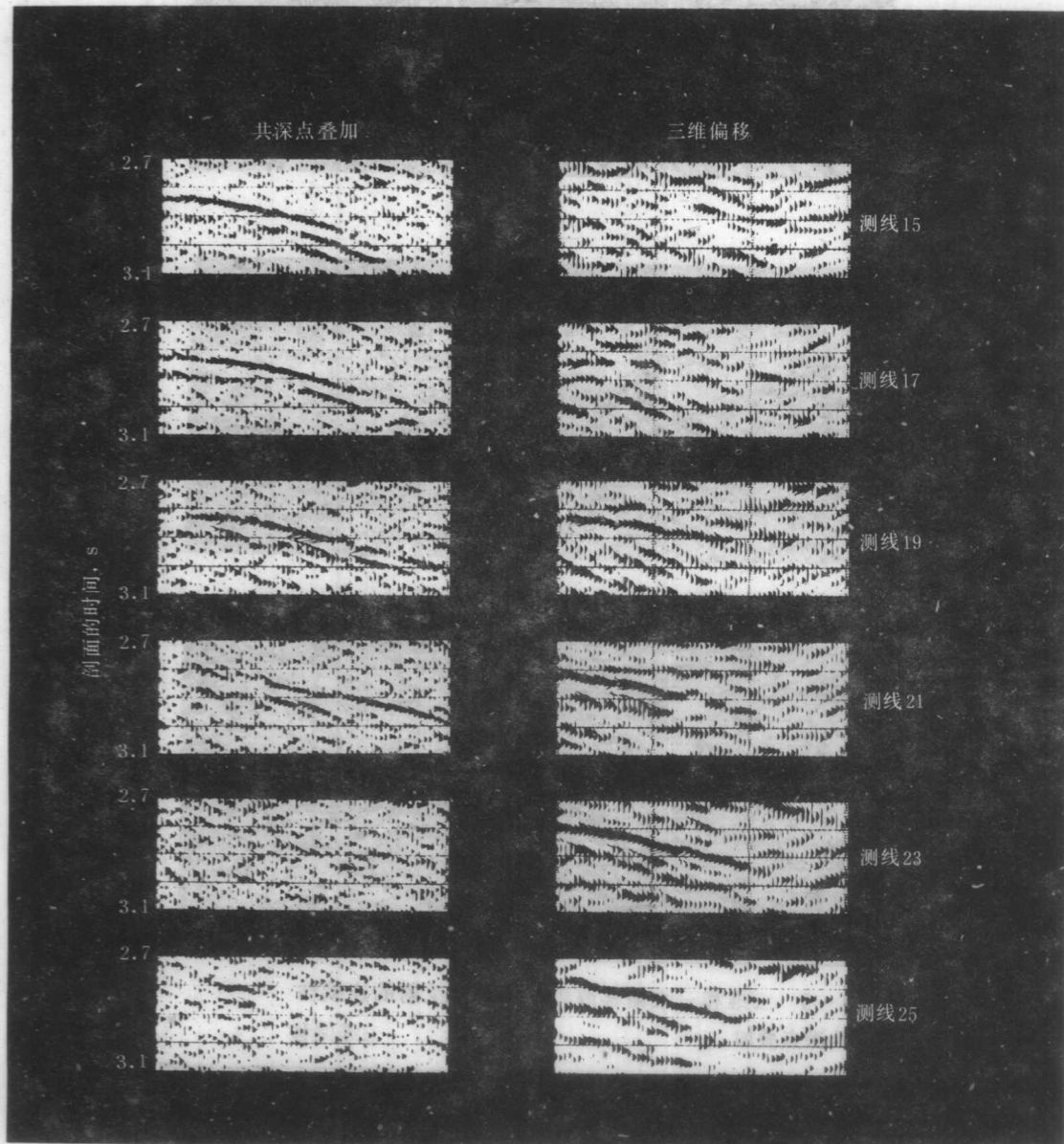


图 1-4 经过三维偏移的倾斜反射的三维移动

当比较三维偏移前、后的剖面来评价其效果时,识别反射在附近移动的样式是很重要的。经详细研究,在倾向与剖面垂直的情况下,三维偏移前、后的可见数据是不同的。通过比较它们的详细特征来判断三维偏移效果是不合理的。比较一个剖面上三维偏移前、后的相同位置而发现高质量的反射消失了,这是可能的。该偏移剖面并不因此是差的,那种好的反射已经简单地移到了它在地下的准确位置。

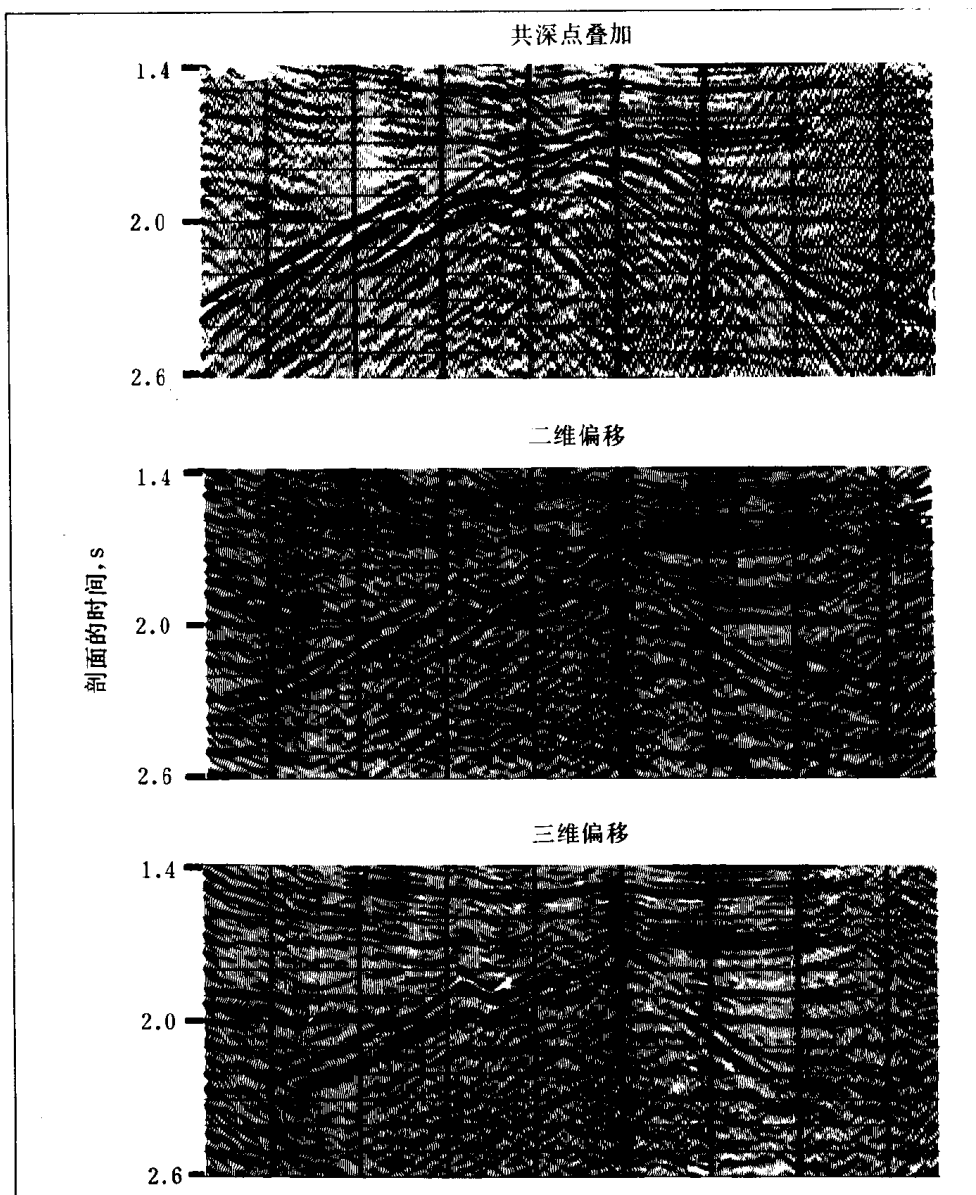


图 1-5 二维和三维偏移改善了不整合反射的连续性

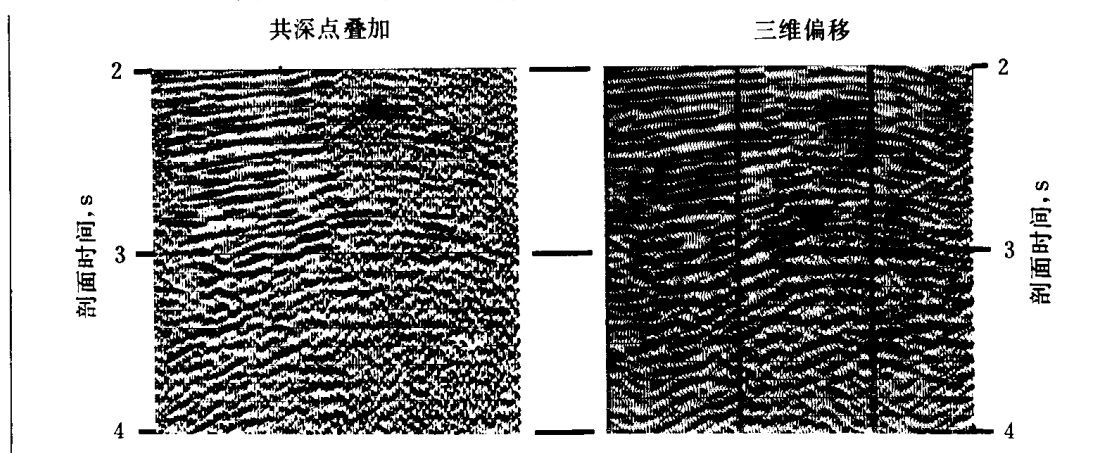


Fig. 1-6. Improved visibility of

图 1-6 三维偏移消除了干扰同相轴,提高了平点反射的清晰度

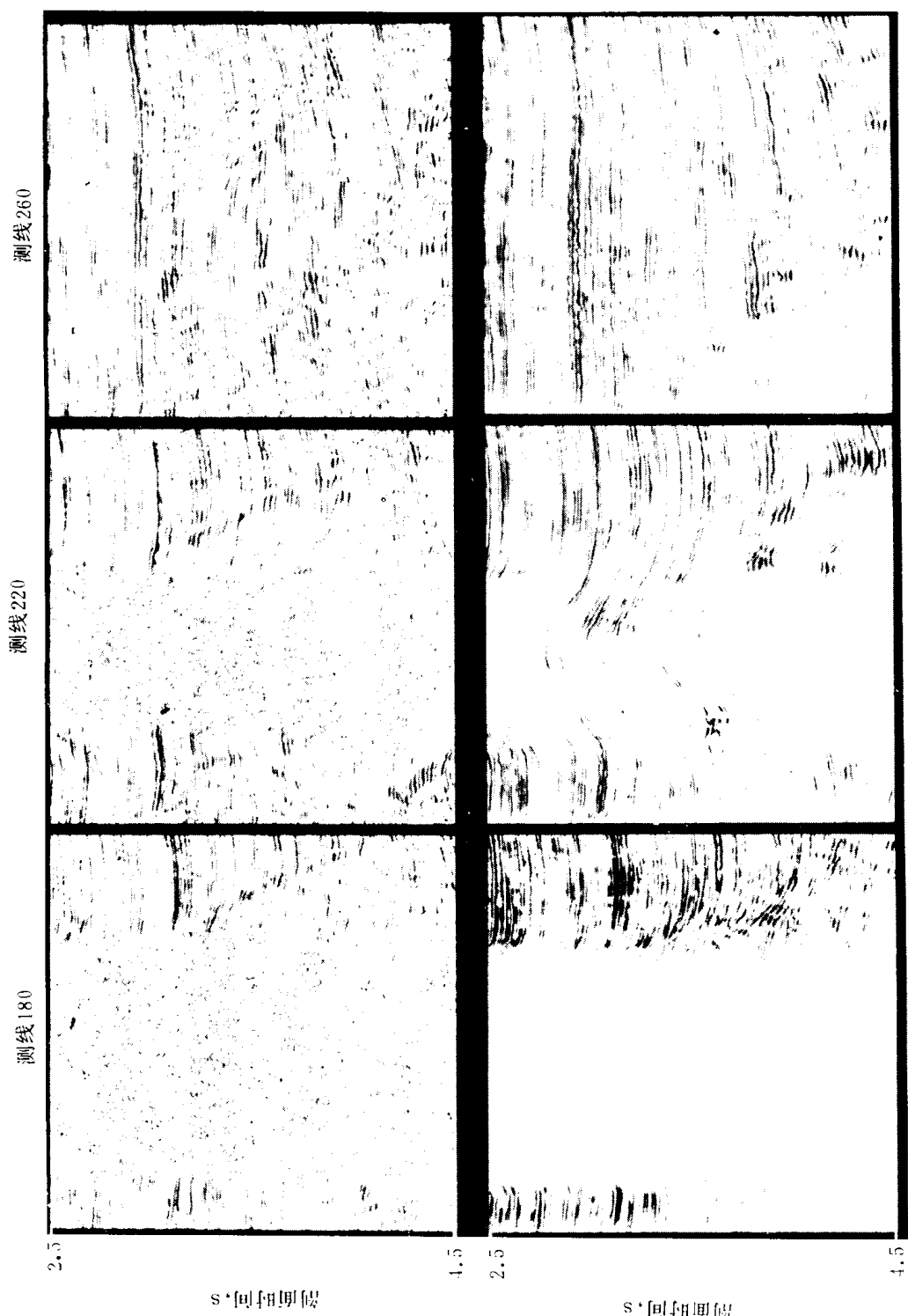


图 1-7 (上部)偏移前的三条通过或靠近墨西哥湾盐丘的垂直剖面(据 Hunt 石油公司)

图 1-8 (下部)三维偏移后相同测线的垂直剖面。表示盐丘面附近的一些反射归位(据 Hunt 石油公司)

三、采样技术要求

采样定理要求:为了保存信息,一个波形必须是如此采样的——在最高频率信号的每个周期内,至少要采两个样。自从数字化时代以来,我们总是采集时间地震道。例如,4ms 采样,对于频率高达 125Hz 的信号,理论上是足够的。实际上,因为系统不完善,我们通常要求:对于最高频率信号的每个周期内至少要采 3 个样。用该保险系数,4ms 采样对于高达 83Hz 的频率是适合的。

空间上,采样定理转换为:在每个最短波长的各个方向上至少要采两个、最好三个样。在正常的二维测量中,按沿测线的深度点间距,而不是按照测线之间的间距将是合适的。因此,宽间距二维测线的确定可以单独地以二维为基础(而不同三维密度一起)处理。

如果未满足采样定理,所得资料是假频的。在倾斜同相轴的情况下,专门采样的那个同相轴的基本列线必须是清楚的。否则,经多道处理后,会产生假频和形成假倾角。表 1-1 表示

表 1-1 对于 2500m/s 的均方根(RMS)速度,假频(Hz)为地下间距(m)和倾角(°)的函数

倾角	地 下 间 距				
	12.5	25	50	75	100
5	574	287	143	96	72
10	288	144	72	48	36
15	193	96	48	32	24
20	146	73	37	24	18
25	118	59	30	20	15

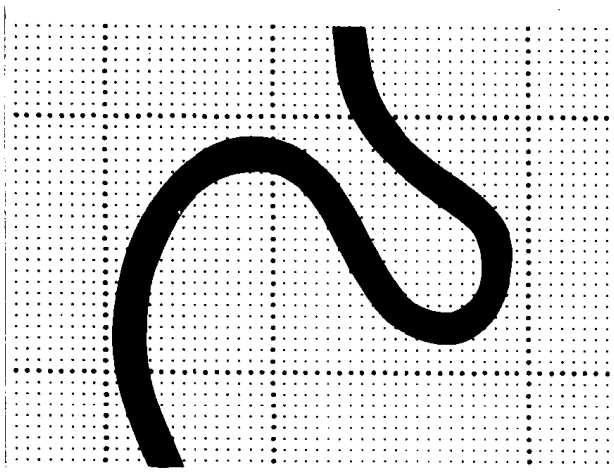


图 1-9 三维测量的面积覆盖与五条二维测线网的覆盖相对比说明它们各自描绘曲流河道的能力

各种倾角与地下间距产生假频的频率。显然,三维测量的设计必须保证在处理过程中不产生假频。表格正像所提到的那样,考虑其现存的倾角和速度,能用来设计所必需的间距。为了采用每个最短波长三个样(而不是两个样)的安全系数,通常考虑的频率范围为表内每个数值的三分之二。

一个恰当的三维测量设计,是其成功的关键。足够小的间距必定总是首要条件(其它包括:适当的偏移窗口和共深点叠加)。图 1-9 展示了二维和三维地下采样的典型对比。黑点表示沿各条测线满足于采样定理的二维测量深度点。

三维测量在全区内的两个方向上需要同样的采样间距。除了提供面积覆盖的三维布署情况外,还表明了曲流河道的采样与可能性。在实践中,三维深度点的间距范围是在 12~100m 之间。

四、数据体的概念

全区范围的小间距地震数据采集,允许将数据作为一个数据体进行三维处理。对于地震解释人员,数据体的概念是相当重要的。在有了三维数据的情况下,解释人员直接地用数据体进行工作,而不是由观测的宽间距网格内插获得数据体进行解释的。控制这个数据体和从中能提取到什么,为该书的主要研究对象。数据体的特性渗透到三维解释人员所作的一切工作中。地下地震波场是按各个方向被密集采样的,以至没有解释人员必须与周围联接的空网格,而且也没有他必须推测的地下构造和地层的网格单元。因此,在同探区内,三维解释人员将会作出比二维解释更准确的图。

图 1-10 表示通过盐穹窿的三维数据体剖视图。它很好地示范了数据体概念,从而,解释人员能够应用这种显示帮助做地下三维识别。图 1-11(彩图)表示交互产生的另一个立方体形态,它帮助做更详细的地质体的三维识别。然而,没有一种显示能允许解释人员观察到数据体内部。

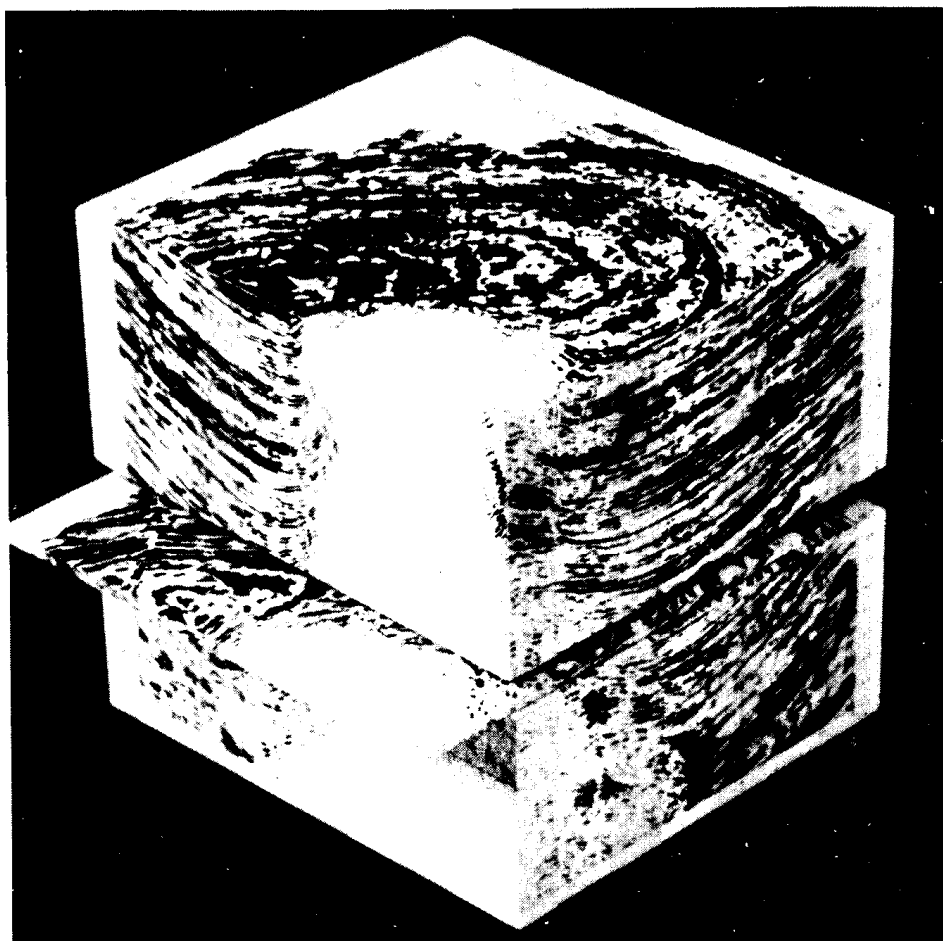


Fig. 1-10.

图 1-10 显示墨西哥湾盐穹窿与伴生环边向斜的三维数据体(据 Hunt 石油公司)

数据体图象的真实三维显示,是个困难的问题。Nelson(1983)评价了这些可应用的技术,但皆达不到地震解释确实需要的功能。大多数方法生成的数据体小,并且动态范围也小。作者亲自用现存的全息和一些地震数据全息图做了实验。然而,解释人员不能与图像交互,而且该动态范围与大多数的目的是不相适应的。

对于地震数据体的真实三维显示的最有用方法,是“地震模型显示装置”(图 1-12)。来自该数据体的这些垂直剖面被复印到透明胶片上,这些胶片被装入金属盒中精确设计的槽内。然后,由后方照明这组胶片并从前方看。解释人员可沿断层面或构造的轴部向下观看。如图 1-12 所示,可以移动由解释人员作了标记的片,然后,返回到该组内的位置。根据该剖面的解释,则能看到与邻近剖面的关系,并相应地标记出其他的那些片。地震模型显示装置的主要缺陷为:为了增加各片的透明度,必须仅以很低的增益和峰值显示数据。因此,显示的数据动态范围是低的,限制了它对于构造解释的应用。



图 1-12 地震模型显示装置,属于真实三维显示方法之一

五、切割数据体

绝大多数的三维解释,是根据通过数据体的切片实行的。对于任何一个切片显示的动态范围并没有限制,因此,可以发挥颜色、双极性等的优点(见第二章)。该三维数据体包括由采集的几何形态确定的(处理期间可能调整的)规则间距的正交数据点排列。排列的三个基本方向确定了通过数据体的三组正交切片或剖面,如图 1-13(彩图)所示。

按照船移动或电缆布置方向的垂直剖面,被称为测线(有时称纵测线)。与它成正交的垂直剖面,被称为横向测线。水平切片被称为水平剖面、水平切片剖面或时间切片。关于通过三维数据体的切片所应用的术语,已变得有些混乱了。本章的目的之一是澄清目前常使用的术语。

通过数据体的三组正交切片(如上所定义的),被认为是解释人员的基本资料。然而,还可获得通过数据体的许多其它切片。为了联系两个重要位置,例如井之间可以提取斜测线。为了将探区内所有井联系在一起,“之”字形系列的斜测线是必要的。在生产平台的设计阶段,可通过平面位置沿着定向井的预定方位提取斜测线。这些皆属垂直剖面,通常称为随机测线。

由于某些特殊用途,需获取更复杂的切片。沿着或平行于构造解释层位,因而也平行于层理面的切片,称为层位切片或层位水平切片剖面。这种切片对于地层解释具有专门的用途,将在第四章研究。切片还可能是平行于断层面和沿着由两口定向井确定的面产生的。

六、熟练地操作切片

因为三维解释是利用数据切片进行的,且有大量的关于标准数据体的切片,而相继产生了一些关于熟练操作数据的革新方法。三维发展过程的早期,一系列的水平剖面是显示在胶卷上作为活动图片放映的(Bone, Giles, Tegland, 1983)。由此发展为水平切片解释台——插入 16mm 分析影片的放映机,为一台最初具有使用价值的设备。起初,该设备是教练员为了精确地测验专业运动员的动作而研制的。

现今的水平切片解释台(图 1-14),是按要求专门定做的设备。无论水平或垂直切片的数据,都是由 35mm 胶卷投影到大屏幕上的。解释人员为了作图,在大屏幕上定一张透明纸,然后调整数据图象的大小、焦距、图象前进速度(或用简易装置控制影片的速度)。

当今的许多三维解释是交互进行的(Gerhardstein 和 Brown, 1984)。解释人员由磁盘引入数据,在彩色监视屏幕上观察它们(图 1-15)。在三维数据体中有规律编排的大量数据,赋予交互方法巨大的好处。事实上,许多交互解释系统首先按照较容易的问题编址三维数据,然后开发后面的二维解释性能。

在该书中所讨论的使用交互系统产生的大多数解释和大多数的数据图解,是实际的屏幕照片。另外,该设备系统利用了多种有效方法,这里发表的是许多项目的成果。因此,作为评价交互解释系统的解释效益是适合的。

(1)数据管理——解释人员很少需要或不需纸;选择的地震数据显示是呈现在彩色监视屏幕上的,而且累加解释成果返回到数字化数据库中。

(2)颜色——灵活的颜色显示,向解释人员提供适合于正在研究的专门问题的最大光学动态范围。

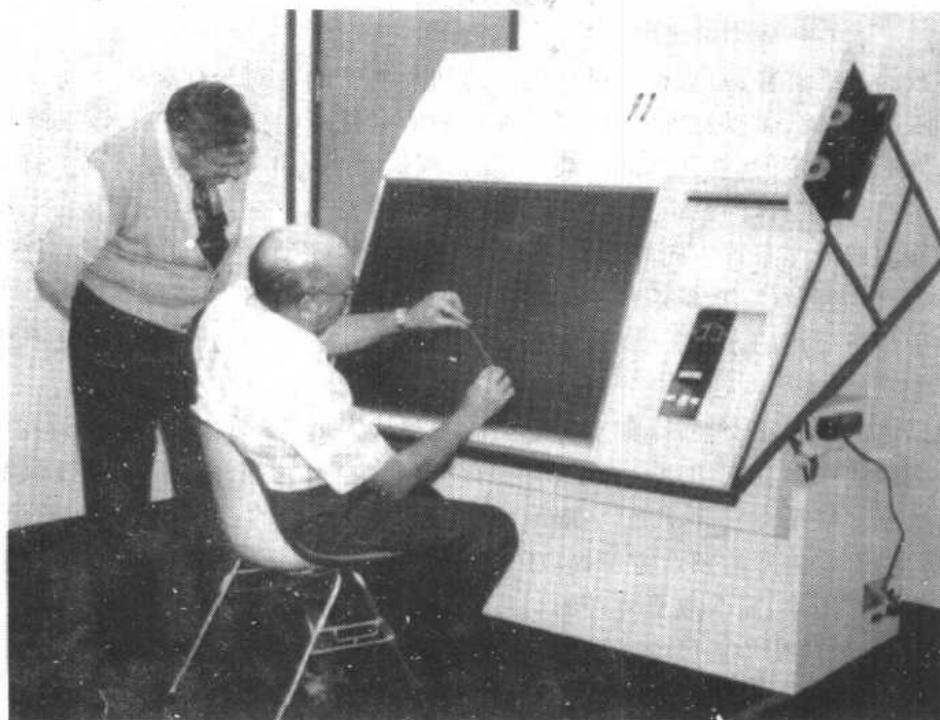


Fig. 1-14.

图 1—14 水平切片解释台



图 1—15 正在工作的地震资料交互解释系统

(3) 图象的构成——在屏幕上能构成数据图象,为的是让解释人员只看所需要的那些数据部分,对于所研究的专门问题即不多、也不少。为了对比或帮助三维空间确定,可以并列数据部分。

(4) 概念变化——快速反映系统使它能容易地尝试新概念。为了求得较好的解释,解释人员可以很快地得到改进的图或剖面成果。

(5) 时间——包括二维及三维的追踪、标定和划等值线等一些自动设备,节省解释人员大量的时间,它们可被专门用于制定关键性的解释决策。

七、在解释中的技术协助作用与经验发挥

近年来,地震技术变得越来越复杂。过去,常常由野外队队长掌管数据采集、处理和解释,而现在的专家们却被日益限制到各个学科内。数据处理包括了许多高难度的作业,它将非数学头脑的解释人员引入到不熟悉的范畴。现正在研究数据反向转换的可靠处理技能与有效方法。

当今的地震解释人员必须详细了解对数据作了些什么处理,还必须完全懂得数据处理,以便向处理工作人员提出有意义的问题。当今的解释人员还将通过使用高技术辅助设备(如交互系统)而极大地提高工作效益。取得最大成效的关键是对颜色的优点的了解和如何利用水平剖面、声阻抗剖面、频率剖面及垂直地震剖面从事研究。

因此,现代地震解释包括地震技术的广泛领域。如果这些成果被解释人员综合研究,可产生有效的技术协助作用。然而,经验主义在维持地位。为了完成作业任务,解释人员必须继续扩大视野,将地质和地球物理相结合并简化假设。地震解释的进步依赖于技术的协助作用和创造性的经验发挥二者的继续共存。

参 考 文 献

- Blake, B. A., J. B. Jennings, M. P. Curtis, and R. M. Phillipson, 1982, Three-dimensional seismic data reveals the finer structural details of a piercement salt dome: Offshore Technology Conference paper 4258, p. 403-406.
- Bone, M. R., B. F. Giles, and E. R. Tegland, 1976, 3-D high resolution data collection, processing and display: Houston, Texas, presented at 46th Annual SEG Meeting.
- Embree, P., 1985, Resolution and rules of thumb: Monterey, California, presented at SEG seismic field techniques workshop.
- French, W. S., 1974, Two-dimensional and three-dimensional migration of model-experiment reflection profiles: Geophysics, v. 39, p. 265-277.
- Gerhardstein, A. C., and A. R. Brown, 1984, Interactive interpretation of seismic data: Geophysics, v. 49, p. 353-363.
- Nelson, H. R., Jr., 1983, New technologies in exploration geophysics: Houston, Texas, Gulf Publishing Company, p. 187-206.
- Saeland, G. T., and G. S. Simpson, 1982, Interpretation of 3-D data in delineating a sub-unconformity trap in Block 34/10, Norwegian North Sea, in M. T. Halbouty, ed., The