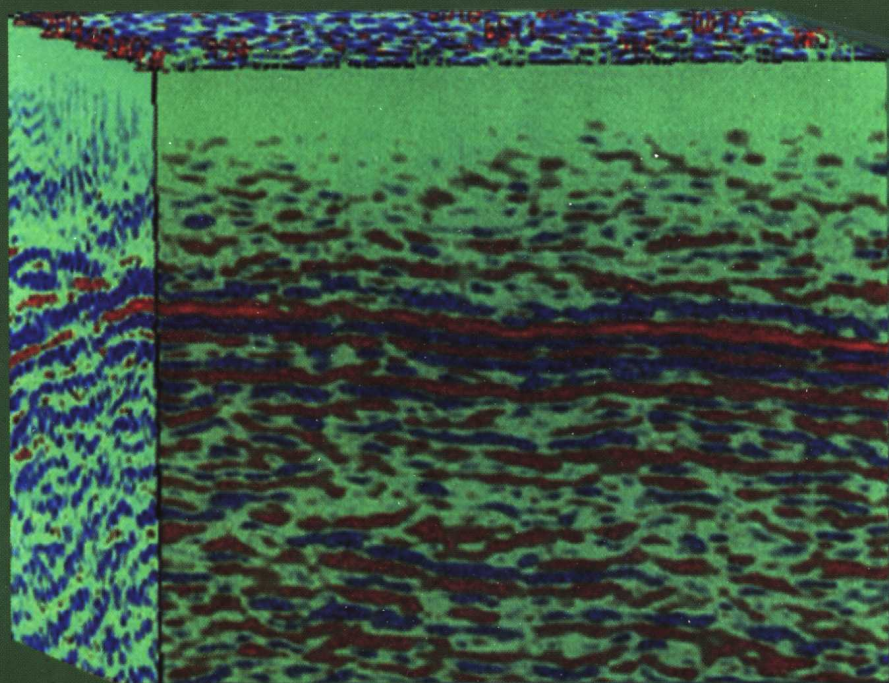


三维地震资料 微机解释性处理技术

煤炭科学研究总院西安分院

程建远 著



石油工业出版社

三维地震资料微机解释性 处 理 技 术

程建远 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对目前高分辨率地震勘探系统工程中存在的几个薄弱环节,提出了一套基于微机的三维地震资料解释性处理技术,其主要内容包括三维地震资料野外采集质量的量化评价方法,三维地震资料高信噪比、高分辨率和高保真度处理流程的搭配原则,三维地震成果数据体微机解释软件平台的建立,地震属性参数的提取、提纯、分选和优化方法以及将图象处理技术、图象识别技术与三维地震技术相融合,实现地震多元信息的空间叠合与综合解释等,并应用该技术剖析了三维地震的勘探实例,结合实际生产验证的结果进行了探采对比分析。最后,本书展望了三维地震资料微机解释性处理技术今后的发展趋势和应用前景。

本书取材着眼实用,文字表述力求简明,内容丰富,资料翔实,可供从事石油、煤炭、地矿等行业的地质、物探专业技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三维地震资料微机解释性处理技术/程建远著.

北京:石油工业出版社,2002.9

ISBN 7-5021-3946-X

I. 三...

II. 程...

III. 三维-地震数据-数据处理-方法

IV. P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 072572 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)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 211 千字 印 1—1500

2002 年 9 月北京第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3946-X/TE·2846

定价:28.00 元

目 录

绪论	(1)
1 三维地震资料微机解释性处理的基础	(5)
1.1 问题的提出	(5)
1.2 地震野外采集质量与地质解释目标的关系	(5)
1.3 地震资料野外采集参数的技术论证	(9)
1.4 地震野外采集质量的量化参数	(12)
1.5 三维地震采集质量的模糊综合评判	(17)
1.6 地震采集质量模糊评判方法的特点	(22)
2 地震资料常规处理流程的模型测试	(24)
2.1 地震地质数学模型的建立	(24)
2.2 地震资料不同处理流程的对比	(27)
2.3 地震资料对比处理基础数据的生成	(29)
2.4 地震理论模型资料的对比处理	(30)
2.5 地震资料不同处理流程的保真度对比	(34)
3 三维地震资料微机解释性处理软件平台的建立	(38)
3.1 问题的提出	(38)
3.2 三维地震数据体的微机管理	(39)
3.3 三维地震数据体微机解释平台的设计	(40)
3.4 三维地震数据体的空间相干算法	(45)
3.5 三维地震数据体同相轴的空间自动追踪	(49)
3.6 三维地震沿层相干切片的生成技术	(55)
4 三维地震数据体的属性分析技术	(56)
4.1 地震属性参数的分类	(56)
4.2 地震属性参数的提取方法	(57)
4.3 地震属性参数的提纯技术	(60)
4.4 地震属性参数的分选和标定	(64)
4.5 地震属性参数分析的模型测试	(66)
4.6 地震属性参数分析的实际资料测试	(72)
4.7 地震属性参数的神经网络模拟	(76)
4.8 地震属性参数的适用条件与应用前景	(77)
5 三维地震数据体的图象分析技术	(79)
5.1 三维地震数据体图象处理的基本思路	(79)
5.2 三维地震属性数据体的直方图增强	(81)
5.3 三维地震属性数据体的边缘增强	(85)
5.4 三维地震属性数据体的边缘检测	(91)

5.5	三维地震属性数据体的多信息空间叠合.....	(93)
5.6	三维地震数据体图象处理的应用实例.....	(96)
6	三维地震解释处理技术的应用实例与发展前景	(101)
6.1	新疆戈壁复杂地区应用实例	(101)
6.2	陕北沙漠地区应用实例	(107)
6.3	山西黄土塬区应用实例	(112)
6.4	其他地质异常体解释应用实例	(116)
6.5	三维地震资料解释性处理技术的发展前景	(122)
结束语.....		(126)
参考文献.....		(127)

绪 论

一、三维地震资料微机解释性处理技术的研究现状

地震资料的解释性处理技术是最近几年国外提出的(目前尚未见到对其明确的定义)、将地震资料处理与解释融为一体的综合技术,例如处在发展完善阶段的叠前深度偏移可作为地震资料解释性处理技术的典型代表;1994年,我国著名的地球物理学家李庆忠院士首次从地震资料采集、处理和解释一体化的角度,提出了高分辨率地震勘探系统工程的概念。在此之前,国内外很多学者在高分辨率地震勘探系统工程的单项技术研究上,取得了很多研究成果。下面,分别从地震资料的采集、处理与解释这三个主要环节,对国内外目前的技术发展现状做一简要的回顾。

1. 地震野外采集技术

国内外有关石油地震勘探采集方面的文献较多,主要集中于地震的野外采集方法,如国外学者以 A. K. Kerekes、Fred W. Schroeder、A. J. Berkhout 等人为代表,国内学者以李庆忠、钱绍湖、姚姚、俞寿朋等为代表,分别从理论和实践两方面,进一步论述了传统的高分辨率地震勘探在仪器、检波器、激发井深、药量、药型等选择上可能存在的误区;而有关采集质量监控方面的论文相对较少。近几年的 SEG 年会上,法国的 D. Wloszczowski、瑞士的 R. Spitger、美国的 Richard L. Gibson 以及 Mundy Brink、M. Doyle 等学者在地震采集质量评价方面作了有益的探讨;国内以原石油部地球物理勘探局(简称石油物探局)第二地质调查处、石油物探局研究院、大庆油田、中原油田等单位为主,其研究成果集中体现在“地震采集工程软件系统”上。1994年,中国矿业大学和安徽煤田物探测量队联合开展的“煤矿采区高分辨率三维地震勘探技术研究”项目,充分汲取了石油地震勘探的先进经验,结合煤层埋藏较浅、分辨率要求较高等特点,开展了野外高分辨率地震采集技术的研究,首次将断层解释精度由 10m 提高到 5m 的水平,并得到成功应用。

2. 地震资料处理技术

从国际 SEG 年会最近五年的论文统计数字来看,有关地震资料数字处理的新方法、新理论、新软件等方面内容,数量最多,其内容归纳起来主要以静校正、多域去噪、叠前偏移等方面的研究为主,如:初至折射静校正、 $f-k$ 滤波、 $f-x$ 滤波、 $\tau-p$ 变换、倾角滤波、矢量分解去噪、地表一致性振幅补偿、多项式拟合、相干加强、扩大面元叠加等为提高资料的信噪比而发展起来的几项关键技术,并在低信噪比资料处理中发挥了极大的作用。但是,有关地震资料高信噪比、高分辨率和高保真度(以下简称“三高”)处理中的保真度分析、处理结果与地质解释之间相互关系的论文数量很少。国内学者李庆忠、熊翥、刘学伟、刘企英、勾精为、林继武等人,从实际地震资料处理结果对比分析的角度,阐述了“三高”处理之间的关系。

3. 地震资料解释技术

关于三维地震资料的地质解释,以前主要是利用了反射波的波至时间(运动学特征)来解决构造问题,而没有充分利用与地下构造和岩性有关的动力学信息;另一方面主要依靠解释人员的经验进行解释,很难同时利用地震波的振幅、相位和频率等变化来进行综合解释,无形中

浪费了大量的有用信息。1994年由 Amoco 公司的 M. Bahorich 与 S. Farmar 首次提出了三维地震相干体解释技术,并在当年的 SEG65 届年会上首次展示就引起了很大的轰动,三维地震相干数据体切片非常直观的从平面上揭示了总体构造特征、使得对于断层,特别是小断层进行计算机自动识别变为可能。此后,西北石油地质局、江汉石油管理局物探处、原地矿部第二物探大队等单位,也在国内相继开展了利用三维相干数据体,进行断层、古河道、地层边界、岩丘形态、风化壳等地质解释的尝试。但是,上述应用还仅局限于直接利用三维数据体的空间相干信息,在综合利用三维地震多种属性信息进行地质解释方面,只能见到零星的报道。

在煤矿采区三维地震勘探领域,中国矿业大学的刘天放、崔若飞、张爱敏教授等领导的研究队伍,将地震技术与现代数学、计算机科学以及信息科学等多学科领域加以融合,进行了开拓性的研究,取得了可喜的效果;中国矿业大学(北京校区)彭苏萍教授以三维三分量地震勘探技术为依托,将岩石力学、地质学、地球物理学和计算机等有机结合,在岩性地震勘探领域中取得了丰硕的研究成果。另外,煤炭科学研究总院西安分院、中国煤田地质总局物探研究院以及山东、江苏、安徽等煤田地震勘探单位,结合煤矿采区三维地震勘探的工程实践,也开展了大量的应用技术研究工作。这一切,都极大地提高了现有地震资料地质解释的精度和可靠性。

二、三维地震资料微机解释性处理技术的研究内容

综观整个三维地震勘探技术的发展历程,仪器制造业和电子技术的飞速发展直接带动了地震野外采集仪器性能的提高和计算机室内处理软件的不断完善,因此地震资料采集和处理技术发展较快,现已全部实现了数字化和模块化;地震资料的解释方法在储层预测、参数反演等技术的研究上,获得了长足的进展,地震资料地质解释的新方法、新理论的发展相对滞后。诚然,任意一个单项技术的发展都会对取得较好的最终成果起到积极作用,但从目前地震采集、处理和解释“一体化”的发展趋势出发,以最终地质目标对地震资料的基本要求为出发点,将高分辨率地震勘探三大环节结合起来进行综合研究则显得不足。

本书正是从地震勘探“一体化”的发展趋势出发,针对常规三维地震资料采集、处理和解释三个方面可能存在的薄弱环节,以普通微机为平台、以三维地震资料的地质解释目标为主线,紧紧围绕最终地质目标对三维地震资料的要求,提出了三维地震资料微机解释性处理技术的总体技术思路和研究方法。

1. 三维地震资料微机解释处理的基础

由于地震野外采集处在地震勘探诸环节的首位,野外采集的第一手资料质量的好坏,直接关系到能否很好地完成地质解释。

本书从地震野外采集质量与地质解释目标的关系入手,通过理论模型资料分析,初步建立了根据不同的地质解释目标要求,野外地震采集质量所必须达到验收的最低量化标准;提出从原始地震资料的信噪比、分辨率、保真度和信噪比谱四个方面,选取 14 个属性参数对地震采集质量进行量化;最后,提出了利用模糊相似优先比方法,对影响地震资料采集质量的多种因素进行模糊综合评判,为地震采集方案的最优化选择提供定量评价依据,实现了地震采集质量控制由以往依靠专家经验定性判断,向着采集设计方案的理论化论证、采集质量的量化监测与评价的转变。该部分研究内容是作为整个后续三维地震资料微机解释性处理技术研究工作的基础和前提。

2. 地震资料常规处理流程的模型测试

目前常规的地震资料处理,主要侧重于提高资料的信噪比和分辨率,但是在“三高”处理中

往往对地震资料保真度重视不够。

本书设计了水平地层、不同深度、不同落差、存在陷落柱和薄互层厚度、结构变化等单因素变化的组合地质模型,采用波动方程地震数学模型正演,分别模拟单炮入射常规流程处理和平面弹性波入射两种情况,并设计出了覆盖次数、振幅恢复、去噪处理、反褶积、偏移处理等 9 组单因素变化地震资料对比处理流程,对不同处理流程的保真度结果进行相互比较。在上述定性分析、定量对比的基础上,本书提出了为了实现准确解释构造和进一步研究岩性、进行储层横向预测的地质目的,将“三高”处理统一起来、利用“一个流程、两种数据流”进行资料处理的思路和方法。

3. 三维地震资料微机解释性处理软件平台的建立

经过大中型工作站处理后的三维成果数据体的数据量大大减少,已经具备在普通微机上实现数据管理和可视化的技术条件。

本书介绍了在 Windows 操作系统下,采用面向对象的编程技术,利用 Visual C++ 语言开发的“三维地震成果数据体微机可视化解释软件”的主要功能。该软件实现了三维地震数据体的微机输入、输出、灵活显示与打印、波的对比、频谱分析与滤波等功能。该软件能够在普通微机上实现工作站的基本解释功能,同时为进一步开发特殊解释软件(如属性参数提取、空间相干计算、三维地震数据的地质动态管理等)提供了开放式的数据输出平台与接口。

4. 三维地震资料的属性分析技术

考虑到目前地震属性参数的实际应用现状,本书将地震属性参数的提取种类主要局限在时间(t)、振幅(A_m)、频率(f)三个方面的 14 个参数。这些参数是直接三维成果数据体上交互拾取的,也可以在经过“层拉平”后的数据体上进行拾取,从而克服了以往地震属性参数提取时拾取时窗不易选准的不足。

本书中提出采用归一化、中值滤波和平滑滤波等去噪处理,进一步提纯地震参数;采用相关分析、主因素分析和 $K-L$ 变换的方法,实现属性参数的分选与优化;利用人工神经网络的学习和标定,在现有已知地质资料约束的前提下,进行实际地震资料的精细解释和地质推断。

5. 三维地震资料的图象分析技术

目前,应用于空间遥感领域的计算机图象处理技术已经比较成熟。如果将一张三维地震属性数据体看作是一幅经过必要变换的二维图象时,则它与遥感图象之间具有极大的相似性,对其进行数字图象处理可以突出“构造迹线”的空间相干性,达到三维地震资料精细解释和自动化解释的目的。

本书提出在对三维地震属性数据体进行预处理(归一化、平滑、去噪等)的基础上,采用直方图变换技术进行图象增强,以突出不同级别的地质异常,使之变换为一幅更适合于人工或机器识别的图象;图象的边缘增强主要用于增强图象的边缘和灰度突变部分的对比度;图象边缘检测能够自动检测出图象局部不连续性的“边缘”或“边界”,因为图象的轮廓或边缘与地下构造和岩性的变化密切相关;为了把三维地震不同属性数据切片上所反映的特征,尽可能集中于一幅图象上,可以将多幅图象利用离散的 $K-L$ 变换技术,进行图象信息压缩以利于综合地质解释,书中列举了大量的实例,直观地显示出三维地震图象处理的应用效果。

6. 三维地震资料微机解释性处理技术的应用与前景

基于微机的三维地震资料解释性处理技术,最终目的在于实现地震资料的微机辅助解释或自动化解释、提高地质解释的精度以及实现地震地质成果图的自动绘制。本书以三维地震资料的地质解释目标为核心,利用前面建立起来的“三维地震成果数据体微机可视化解释软

件”,以新疆哈密、江苏徐州等地经过生产揭露验证的煤矿采区三维地震资料为例,通过对实际三维地震资料的属性分析、属性数据图象处理,对所提出的三维地震资料微机解释性处理技术进行大量测试,取得了非常显著的地质效果。

另外,从高分辨率三维地震勘探的发展趋势来看,基于微机的三维地震资料解释性处理技术在岩性横向预测、地震地层学解释和三维三分量地震综合解释等诸多方面,具有广阔的应用前景。

三、三维地震资料微机解释性处理技术的主要成果

(1)系统地提出了基于微机的野外三维地震资料采集质量量化参数和模糊优选评判的方法和软件,它不但适合二维或三维地震野外采集资料的质量评价,也适用于地震资料处理成果评价,同时可以满足单分量或多分量地震资料综合评价的要求;

(2)通过设计理论地质模型、地震数学模型正演和实际资料不同处理流程模拟等方法,比较系统地对于目前地震资料“三高”处理的保真度问题,进行客观的评价;

(3)在普通微机上 Windows 界面下联合开发研制了“三维地震数据微机解释服务系统”软件,从而能够在微机上实现工作站的基本解释功能,并为进一步开发特殊的微机解释处理软件提供了数据接口;

(4)总结出适于二维、三维地震资料属性参数的提取、去噪、优选、标定等数学模型和方法,提出将图象处理技术(Image Processing)、图象识别技术(Pattern Recognition)与三维地震属性分析(Three Dimension Seismic Exploration)技术相融合,实现三维地震属性信息的图象增强、特征提取、边缘锐化和多信息空间叠合等,该技术思路在目前具有一定的创新性;

(5)首次提出“三维地震信息的地质动态管理”这一具有一定前瞻性的研究方向,并有可能成为未来开发地震勘探技术的发展趋势,并探索了建立三维地震信息地质动态管理、自动化解释与可视化成图的方法和步骤。

总而言之,高分辨率三维地震勘探是一个系统工程,本书紧紧围绕最终地质解释目标对三维地震资料各个环节的质量要求,提出了在普通微机上对三维地震资料进行特定的质量监控、分析性处理与精细解释的一项综合技术,初步取得了一些研究成果。

本书共分六章,其中第三章由傅金生、程建远合作完成。张孝文、朱红娟两位同志参与部分内容的编写和讨论。本书除引用的文献外,大部分内容都是在作者博士论文及相关科研成果的基础上改编完成的。

1 三维地震资料微机解释性处理的基础

本章从地震野外采集质量与地质解释目标的关系入手,重点讨论了地震采集质量的量化参数,对于地震资料信噪比的估算提出了改进算法;并首次采用模糊评判中相似优先比方法,实现地震资料质量量化评价,取得了较好的效果。高分辨率地震勘探是一个系统工程,野外地震资料采集质量直接关系到地震资料解释工作的成败,因此本章也是后续的微机解释处理技术研究工作的基础。

1.1 问题的提出

通过大量的国内外文献调研,有关地震采集方面的论述主要集中于地震勘探的野外数据采集方法方面,李庆忠院士首次系统提出高分辨率地震勘探系统工程的概念,钱绍湖、姚姚、俞寿朋等人分别从理论和实践两方面,进一步论述了传统的高分辨率地震勘探野外施工在检波器主频、仪器低截频率、井深、药量、药型等选择上可能存在的误区。上述研究成果表明:高分辨率地震勘探发展到今天,野外采集仪器已大部分实现了数字化、遥测化、24位 A/D 记录,无论是速度型、加速度型还是压电型检波器的性能指标上,可以满足高分辨率采集的要求;今后研究的重点除了严格野外采集质量的施工管理外,应该不断突破原有的一些“误区”,从高频信息可激发性、可记录性和高频干扰可压制性三大关键技术问题入手,开展理论研究和野外试验。

地震资料野外采集作为高分辨率地震勘探系统工程的最重要一环,有关地震采集质量监控方面的论文相对较少。国内以原石油部地球物理勘探局第二地质调查处、大庆石油管理局、中国地质大学等单位为代表,其研究成果以“地震采集工程软件系统”软件包的形式集成推出;国外 Mundy Brink、M. Doyle 等学者也都在野外地震资料采集质量监控方面作了一些有益的探讨。上述研究成果和论著,都为作者提出的“野外采集方案的量化选择与现场质量监控技术”提供了很好的思路。

众所周知,高分辨率地震勘探是一个系统工程,需要采集、处理和解释三个环节的密切配合。这三个环节之间的脱节,就会直接导致地震勘探成果质量的下降。由于野外采集处在地震勘探诸环节的首位,野外采集的第一手资料质量的好坏,直接关系到能否很好地完成地质任务。另一方面,目前的高分辨率三维地震勘探正处于两难境地:即一方面要求地震采集的精度尽可能地高,又要求采集成本尽可能地低。为此,从地震勘探的施工设计阶段,就要根据预定的地质目标建立起采集、处理、解释等各阶段可以达到验收的最低标准,利用计算机进行辅助设计、质量监控和量化评价,依靠先进的技术手段,通过优化设计才可能在二者之间达到一个恰到好处的折中。

1.2 地震野外采集质量与地质解释目标的关系

一般地,地震资料的地质解释目标可以分为常规构造勘探和岩性精细解释两个方面。常规构造勘探任务的完成,主要取决于地震资料信噪比、分辨率的高低和偏移归位的准确性,当

然也要求能够克服诸如静校正难关和解释中的“低速陷阱”等误区,保证资料的真实性和可靠性;而岩性精细解释任务的完成,首先要求资料要有足够的“保真度”,尽可能做到保持振幅叠加,以免破坏地震资料的动力学特征,同时能够用于岩性精细解释的资料,也必须具有足够的信噪比和分辨率。地质解释目标对于地震资料的要求可以归纳为“高信噪比、高分辨率、高保真度和准确归位”,即“三高一准确”。因此,对于野外数据采集而言,其采集技术目标应该主要集中于尽可能满足地质解释要求的地震资料“三高”采集方法和保障技术。

1.2.1 信噪比与地质解释的关系

地震地质解释的首要目标是进行高精度的构造解释,而构造解释的基础又在于反射波的连续追踪。可见,地震资料信噪比的高低直接影响构造解释的精度。下面仅以构造勘探为例,从正演模型的角度,对二者之间的关系加以说明。图 1-1 给出了水平界面情况下三层介质地质模型,其中:

$$\rho_1 = 1.8 \text{ g/cm}^3, v_1 = 2800 \text{ m/s}, h_1 = 200\text{m};$$

$$\rho_2 = 1.4 \text{ g/cm}^3, v_2 = 2000 \text{ m/s}, h_2 = 5\text{m};$$

$$\rho_3 = 2.2 \text{ g/cm}^3, v_3 = 3000 \text{ m/s}, h_3 = 200\text{m}.$$

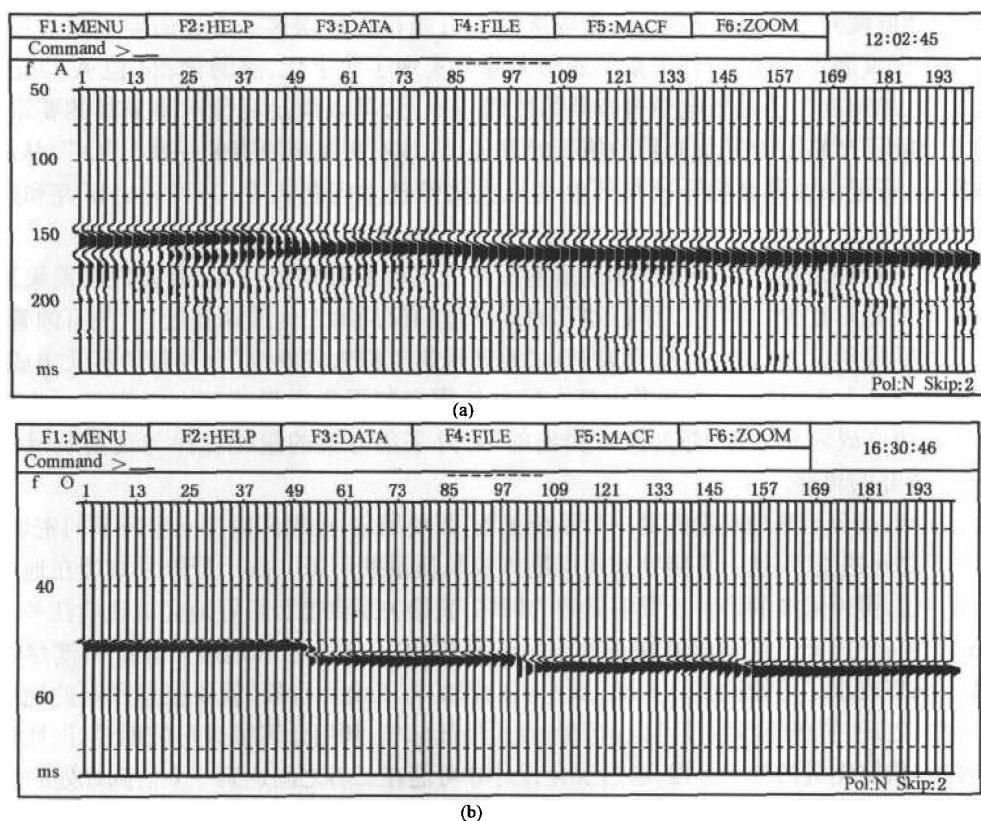


图 1-1 构造地质模型的声波方程正演剖面

(a)水平叠加记录;(b)偏移时间剖面

在地震数学模型理论正演记录中,第二层介质剖面上从左到右设计了三条断层,即 $DF_1 = 10\text{m}$, $DF_2 = 5\text{m}$, $DF_3 = 3\text{m}$ 。图 1-1 上的水平叠加记录,可以看到明显的断点绕射波;而偏

移剖面为无噪音条件下的偏移时间剖面,断点显示非常清晰,其中 3m 小断层表现为同相轴的轻微扭曲,并伴随着能量的微小变化。

图 1-2 是对图 1-1 的偏移剖面分别加入不同比例的高斯白噪声的输出结果,其中

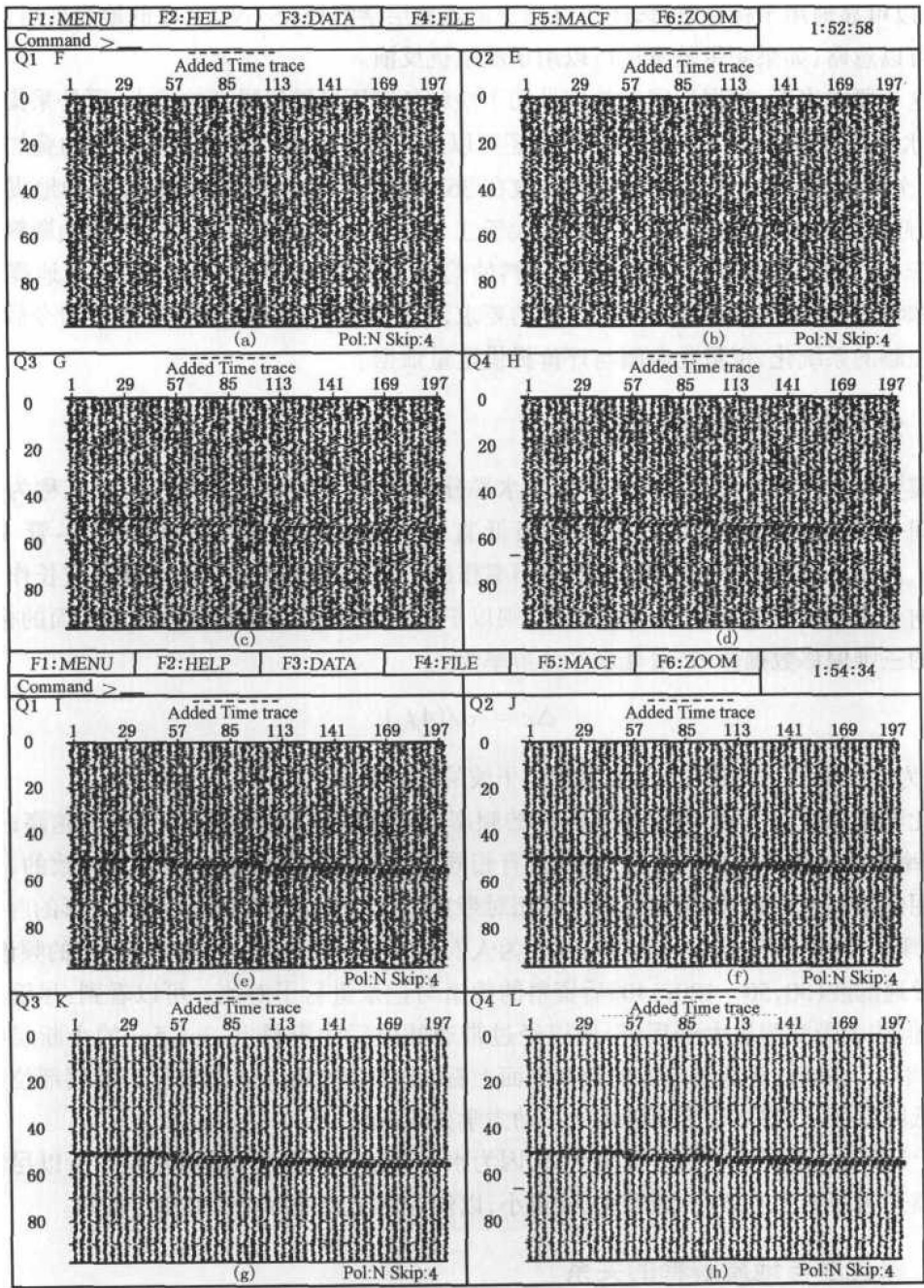


图 1-2 构造地质理论模型的信噪比对比试验

图 1-2 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h) 理论上的信噪比分别为 0.34, 0.68, 1.36, 2.72, 5.42, 10.84, 21.68, 43.36。可以看出: 当信噪比 S/N 低于 1.0 的地震资料, 基本看不到同相轴的影子, 资料根本无法用于地质解释; $1.0 < S/N < 4.0$ 的地震资料上, 反射波同相轴可以进行对比, 能够用作一般的构造解释, 但振幅不均匀, 小断层解释不准; $4.0 < S/N < 8.0$ 的地震资料, 可以可靠地用于构造解释, 还可以用于地震地层学解释; $S/N > 8.0$ 的地震资料, 干扰波的影响可以忽略, 如果频带较宽还可以用于波阻抗反演。

从这一要求出发, 根据地震有效信号相干性和各态历经随机噪音的特点, 野外采集资料通过 n 次水平叠加, 最终成果剖面的信噪比还可以提高约 $n^{1/2}$ 倍。煤田地震勘探的叠加次数一般在 12 次以上, 石油地震勘探的叠加次数在 36 次以上。所以, 要取得高质量的地震解释资料, 煤田野外原始地震数据的信噪比必须大于 2.0 以上, 石油地震勘探的野外原始资料信噪比必须大于 1.0 以上, 才有可能保证成果资料的信噪比大于 6。传统的煤炭、石油地震勘探规范, 只是对野外地震资料采集提出了定性的要求, 上述量化标准和方法无疑将会对今后实现采集质量控制的系统化、量化监测与评价提供定量依据。

1.2.2 分辨率与地质解释的关系

地震资料的分辨率包括垂向分辨率和水平分辨率, 对于三维地震勘探可以统称为地震资料的空间分辨率。地震资料分辨率的高低直接关系到地质解释的精度。尽管 Widess, Rayleigh, Ricker 等人从不同角度, 都对分辨率作出了定义, 目前基本上以 $\lambda/4$ 视波长作为定量估算垂向分辨率的标准; 对于水平分辨率, 则以 Frenel 半径作为衡量水平叠加剖面的标准, 在高精度的三维偏移数据体中, 最佳水平分辨率为

$$\Delta r = v / (4f_c)$$

式中, v 为反射面的平均速度; f_c 为零相位子波的中心频率。

由此可见, 地震资料分辨率与地震波的频率成正比关系, 频率越高, 分辨率越高; 另一方面, 分辨率也与地震资料的带宽有关系, 具有相同绝对带宽的子波其分辨率是一致的, 但分辨率不能用倍频程来衡量, 以倍频程表示的相对带宽一样的子波, 其波形一致而波形的胖瘦不一样, 并且瘦的子波分辨率高。这一点, 往往为人们所忽视。图 1-3 中将理论模型的频谱、记录与经过带通滤波 (30, 50~120, 140) 后资料的频谱与记录进行了对比。可以看到: 尽管二者主频接近, 但前者带宽明显大于后者, 所以经过带通滤波后的资料上, 3m, 5m 的小断层明显模糊, 分辨率大大降低; 从滤波前后的频谱剖面上看, 滤波前的频谱剖面对应于断层部位表现为明显的低频特征, 滤波之后剖面则丧失了动力学变化特征。

综上所述, 从地震资料的分辨率上讲, 因为水平叠加本身具有“低通效应”, 所以尽量要求野外地震采集资料的主频高、频带宽、噪音小, 以便为后续高分辨率处理奠定基础。

1.2.3 保真度与地质解释的关系

为了提高保真度, 则要求野外数据采集尽可能保证激发与接收条件的一致性, 减少各种信号畸变以及非地质因素造成的反射波动力学特征损失, 同时按照“小道距、小炮距、小组合”的工作方法来进行, 以便从采集阶段保持地震资料的动力学特征。

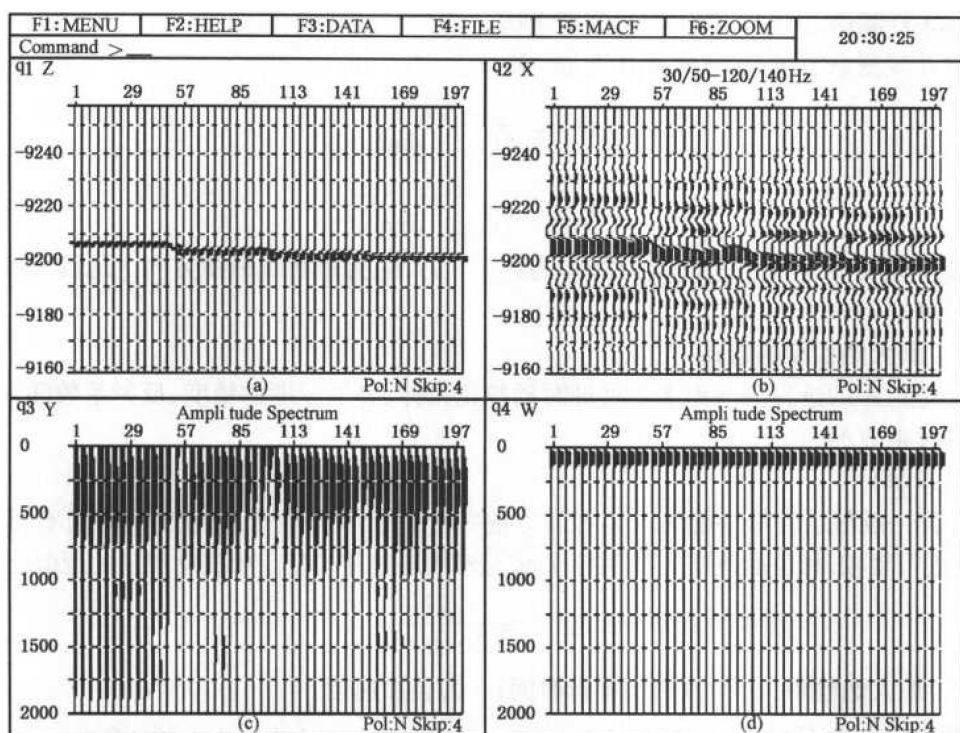


图 1-3 构造地质理论模型分辨率的对比试验

(a)、(c)图为原始记录及其频谱剖面,(b)、(d)图为滤波记录及其频谱剖面

1.3 地震资料野外采集参数的技术论证

据统计:目前三维地震勘探中,费用最大的部分是数据采集,几乎占到全部费用的 70% ~ 80%,而且数据采集质量的效果好坏直接影响其后处理和解释成果的质量。优化三维采集设计、降低勘探成本、从技术和经济上统筹考虑最优化的三维设计,显得格外重要。三维地震要在覆盖次数、面元大小、最大炮间距、偏移半径和方位角范围等一组参数中,选择最佳参数。而作为采集参数的选择,可以借助于地震资料的野外采集参数论证和正演模拟等手段,并不一定要通过野外实际试验来解决。

地震资料野外采集的主要难度在于地震地质条件复杂多变。以往为了获得较好的原始单炮记录,要在工区内选择若干个试验点和试验段进行激发与接收条件的系统对比试验。实际上,在地质任务明确后,可以根据工区以往的地震、钻探等资料,给出地下地质模型,利用地震数学模型正演技术,按照勘探任务的要求设计采集参数,然后仅需在野外作少量验证,实时修改采集参数设计,再作正演模拟反复修正,即可获得最佳的采集参数设计。

1.3.1 三维地震采集参数的选择论证

1.3.1.1 空间采样间隔

空间采样,是指三维的地面采样道距和测线距,也可以用地下共深度点(CDP)网格面积(D_x, D_y)的大小来讨论,其中: D_x 表示沿纵测线方向(x 方向)的 CDP 点距, D_y 表示垂直于纵测线方向(y 方向)的 CDP 点距。只有在这两个方向上都满足采样定理的要求时,才能获得完

整的空间采样频率,否则将产生空间假频干扰。

在设计观测系统时,按下式来计算 D_x 和 D_y :

$$D_x \leq \frac{v_{rms}}{4f_{max} \cdot \sin\theta_x}$$

$$D_y \leq \frac{v_{rms}}{4f_{max} \cdot \sin\theta_y}$$

式中, v_{rms} 为均方根速度; f_{max} 为有效波最高频率; θ_x 、 θ_y 为沿测线纵横方向上地震射线入射到地面的角度;

1.3.1.2 最大炮检距的选择

最大炮检距的选择应注意考虑处理时动校正拉伸、叠加速度的精度、反射系数随入射角的变化及共反射点的离散等。

动校正拉伸

对于同一反射层的相位曲线,未动校正之前完全平行,由于两个相位的 t_0 时间不同,用不同的 $v(t_0)$ 进行动校,相位曲线变成不平行,这就是动校正拉伸畸变。根据动校正的近似公式:

$$\Delta T \approx \frac{x^2}{2 \cdot t_0 v^2}$$

式中, x 为最大炮检距; t_0 为目的层旅行时间; v 为叠加速度。

动校正拉伸率为

$$\left| \frac{d(\Delta T)}{dt_0} \right| \approx \frac{x^2}{2t_0^2 v^2} = \frac{\text{动校正量}}{\text{双程反射时间}}$$

可见,动校正拉伸率与炮检距成正比,和 t_0 成反比。若 $x = h$ 时,动校正拉伸率为 12.5%,若 $x = 2h$ 时,就变成 25%。从这个计算结果来看,一般要求最大炮检距小于或等于勘探目的层的深度。

图 1-4 给出了一个两层介质的理论模型,经过常规动校正后波形被严重拉伸,而且浅层拉伸大、深层拉伸小、近炮点拉伸小、远炮点拉伸大的直观实例。

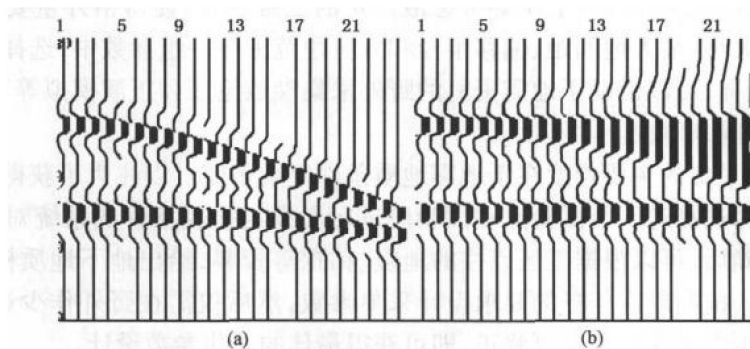


图 1-4 常规动校正前后波形对比

(a)原始单炮记录;(b)常规动校正结果

速度分析精度

均方根速度和叠加速度都是根据正常时差求取的,从动校正近似公式可以得出:

$$\Delta T \approx \frac{x^2}{2 \cdot t_0 v^2} = \frac{x^2}{4hv}$$

可见,正常时差随炮检距的增加而增大,随速度的增大而减少。

若 v 为 t_0 时间的均方根速度, Δv 为可分辨的速度变化量, $\Delta(\Delta T)$ 为速度分析中可以检测出的最小正常时差(动校正量), 一般为一个视周期, t_0 为法线反射时间。可推导最大炮检距 x 与速度增量 Δv 的关系:

$$\frac{\Delta v}{v} = 1 - \frac{x}{[x^2 - 2t_0\Delta(\Delta T)v^2]^{1/2}}$$

反射系数的变化

反射波的反射系数随入射角的变化而变化。当入射角 α 小于临界角 α_c 时, 反射系数变化不大, 当 $\alpha \rightarrow \alpha_c$ 时, 反射系数 R_{PP} 急剧增加; 当 $\alpha > \alpha_c$ 时, R_{PP} 又急剧减小。

为了防止因入射角过大造成目的层反射系数不稳定, 引起振幅不均匀, 最大炮检距要有所限制。

1.3.1.3 最大非纵距的选择

最大非纵距即横向上(y 方向)最大炮检距。与纵测线比较, 非纵观测存在非纵观测误差。在非纵观测线上, 由于相邻检波点接收到的反射波时差对 Δx 的变化率小于纵测线相邻点时差的变化率。所以, 非纵距越大, 这个变化率越小, 不利于叠加速度的分析。一般地, 最大非纵距可按下式计算:

$$y_{\max} < \frac{\bar{v}}{\sin \phi} \cdot \sqrt{2t_0\delta_t}$$

式中, ϕ 为地层倾角; $\bar{v}$ 为平均速度; t_0 为双程反射时间; δ_t 一般取有效反射波视周期的 $1/8$ ($\delta_t = T/8$)。

按上式所确定的最大非纵距, 可以使任意接收道所产生的非纵观测误差不超过 δ_t 。

1.3.1.4 覆盖次数

由于覆盖次数直接影响最终资料的信噪比和分辨率, 为此, 可以根据以往地震施工经验, 综合勘探区地震地质任务的难度来确定。

通过采集参数的室内技术论证, 将采集、处理和解释相结合、理论研究和现场试验相结合的设计方法, 有利于缩短野外试验时间, 提高施工效率; 有利于地震采集参数由定性评价向定量评价发展; 有利于准确选出最佳施工参数。

1.3.2 三维地震野外采集观测系统的计算机辅助设计

三维地震资料野外采集过程中, 经常会出现由于村庄、河流、公路、鱼塘等地面障碍物的存在, 造成局部的空炮、空道, 从而造成地下覆盖次数的不均, 最终影响处理与解释。对于跨越障碍物的特殊地震观测系统, 二维地震特殊观测系统的设计相对比较容易, 而三维地震则由于工序复杂、工作量大, 人工设计的难度较大。野外施工中, 常常由于村庄、河流等复杂地物的存在, 影响了地震检波器的正常安置。检波器位置的偏移, 造成地下 CDP 点发生相应的移动, 从而形成不均匀的覆盖次数和观测盲区。这就迫切需要采用一种操作简便、反应迅速又适于野外使用的数据采集辅助系统, 实时指导野外施工条件下观测系统的复杂设计。

在水平或单斜、层状均匀介质的假设条件下, 通过计算地震反射波法中激发点、接收点和地下反射点的空间几何关系, 编制出一套地震野外观测系统人机交互设计软件, 一方面可以在采集前指导施工方案的设计, 另一方面可以在现场实时监测地下 CDP 点的分布范围和覆盖次数的均匀程度, 为野外采全第一手资料提供帮助。

该软件不仅适用于三维地震勘探的模拟方面,它也可以模拟二维地震勘探、宽线地震和弯线地震勘探等,是野外施工和室内处理的好帮手。地震资料解释人员利用它来进行野外监控,确定出叠加次数高低可能对时间剖面产生的影响;同时可以对实际的覆盖次数进行浏览,以确定需要补做的区域和模拟补做方法,有效地确保施工质量。

1.4 地震野外采集质量的量化参数

1.4.1 地震数据采集质量的影响因素

(1)仪器系统:包括仪器的 A/D 位数、采样率、前放增益、低切与高截频率、去假频滤波器的陡度以及检波器谐振频率、低截陡度、灵敏度、假频等。

(2)激发条件:包括成井方式、激发深度、激发层位、炸药类型、炸药量等。

(3)接收条件:包括道距、炮距、偏移距、非纵距、最大炮检距、接收道数、观测系统以及检波器的耦合条件等。

在以上众多影响因素之中,仪器因素的选择相对比较容易确定,激发条件和接收条件中可选因素较多,但也不可能全部在野外安排大量的试验来确定,然后通过对实际试验效果的分析评价来完成参数选取。以往对地震采集参数的选取和确定,是在野外点、段试验的基础上,依靠一些有经验的专家来肉眼分析、比较。由于人工定性分析没有去噪手段、静校正功能等,加上评判结果无法量化比较,最终参数选取往往带有一定的模糊性和人为因素的影响;尤其对于复杂地区地震资料而言,人工肉眼分析确定采集参数难度较大。如果不借助于计算机技术实现现场的质量监控,则有可能导致勘探失败或者盲目增加覆盖次数而造成野外费用直线上升。

为了能够直观地说明上述问题,图 1-5 给出了受地形影响较大的野外原始记录,经过现场人工初至拟合静校正前后的效果对比图;图 1-6 是复杂地震地质条件下,利用普通微机对地震资料进行现场预处理前后的效果对比。可以明显看出:如果单凭现场解释人员的经验,很难准确给出一个明确的结论;而借助于必要的监控处理手段,则便于迅速地作出可靠的判断和决策。

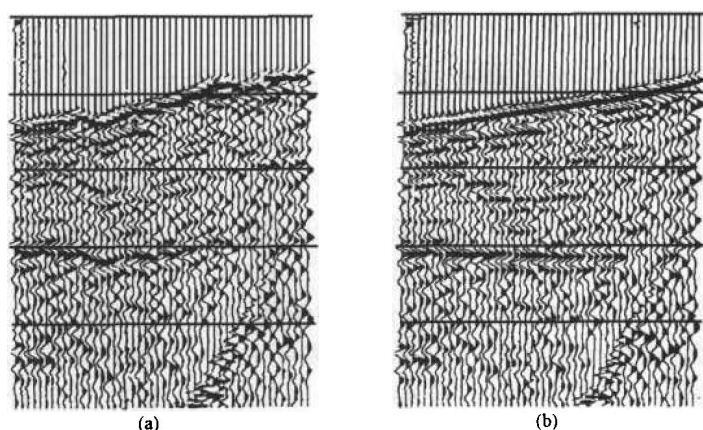


图 1-5 山区地震野外单炮记录地形校正效果对比
(a)初至折射静校正前;(b)初至折射静校正后