

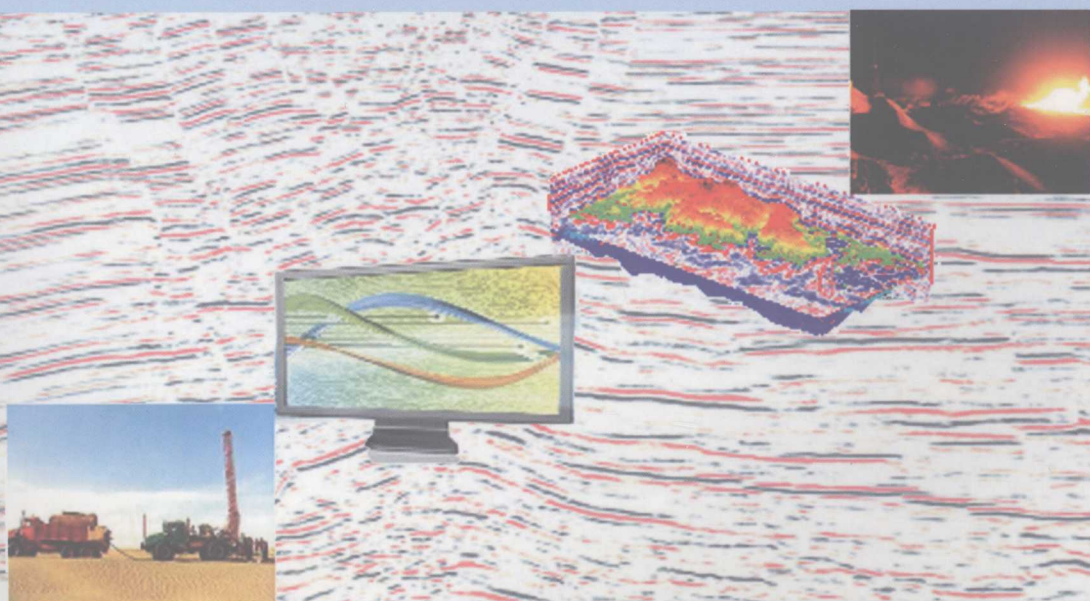
东方地球物理公司研究院资料处理中心

地震资料处理技术系列丛书

# 地震数据处理 应用技术

(修订版)

熊 翥 编著



石油工业出版社

东方地球物理公司研究院资料处理中心  
地震资料处理技术系列丛书

# 地震数据处理应用技术

(修订版)

熊 翥 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍当今地震勘探数据处理中所使用的一些处理方法。对预处理、静校正分析及应用、速度分析及应用、信号增强处理、子波处理与反褶积、叠后偏移成像等六个方面,总共200多个处理模块分章节进行了讨论。在介绍每一个模块的方法时,除给出基本原理外,还着重讨论实际应用技术,并给出处理实例。从内容来看,它是地震数据处理和解释人员的一本工具书,也是地球物理和地质勘探工作者的一本重要的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

地震数据处理应用技术/熊翥编著. —修订版.

北京:石油工业出版社,2008.3

(东方地球物理公司研究院资料处理中心地震资料  
处理技术系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6345 - 7

I. 地…

II. 熊…

III. 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(2007)第 178506 号

---

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

发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京晨旭印刷厂

---

2008 年 3 月第 2 版 2008 年 3 月第 2 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:25.25

字数:640 千字 印数:1501—2500 册

---

定价:48.00 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

# 《地震资料处理技术系列丛书》编委会

主任：王克斌

副主任：曹孟起 郭向宇

编委：(按姓氏笔划排列)

冯许魁 申尽志 刘在枢 陈殿卿 侯肖娥

贾福宗 徐子伯 黄志 梁桂美 彭章礼

赖能和 熊翥 蔡希玲 戴晓云

# 前 言

由中国石油东方地球物理勘探有限责任公司(简称东方地球物理公司)研究院资料处理中心组织编写的《地震资料处理技术系列丛书》,即将陆续地和大家见面,这是值得庆贺的一件事。

在中国石油天然气集团公司和东方地球物理公司的正确领导下,在各油田的长期大力支持下,经过中国各种复杂地表地质条件勘探的磨练,经过我国两代地球物理工作者的不懈努力,经过处理方法和处理技术人员多年的自主创新和引进集成再创新,东方地球物理公司研究院资料处理中心从早期(1973年)的150计算站起步,经过近35年的发展,在处理技术、处理经验和处理能力等方面已成长为亚洲乃至世界著名的地震数据处理中心之一。多年来,作为国内资料处理行业的主力军,为我国油气勘探和开发的不断突破发挥了重要的作用。随着勘探和开发的深入,其任务将越来越艰巨,作用将越来越大。

组织编写这套丛书,首先是适应油气勘探形势的需求。随着全球油气勘探程度的提高,油气勘探目标将越来越复杂、越来越隐蔽,物探技术的作用和地位也就越来越重要,原石油工业部王涛老部长有一句名言:“石油勘探,成也物探,败也物探”,非常形象地诠释了物探在勘探中的作用。在地震勘探技术领域,地震数据处理已不仅仅作为地震数据采集和地震数据解释的纽带,而是提高地震勘探能力和效益的举足轻重的关键环节。近年来,许多复杂油气田特别是冀东南堡油田的发现和探明都充分证明了这一点。从这点出发,组织出版这套丛书,对进一步提高数据处理水平、更好地为油气勘探服务有着十分重要的意义。

其次,适应地震数据处理技术快速发展的需要。近年来,随着计算机技术的快速进步和石油价格的持续走高,物探技术研究十分活跃,地震资料处理技术日新月异。当前三维地震勘探技术正向高精度、宽方位、多分量、时延化发展,给资料处理技术提出了许多技术挑战,地震数据处理技术也正在适应这一挑战,不断快速发展。所谓高精度三维地震,一是数据的分辨率要高,二是成像的精度要高。因此,提高分辨率处理技术和三维叠前偏移成像技术,就成为实现高精度三维地震的关键技术。另外,围绕提高分辨率和三维叠前偏移成像,提高数据信噪比的处理技术是一项基础技术。没有一定的信噪比,很难实现高分辨率处理和高精度的叠前偏移成像。处理中心近年来在大量的三维数据处理实践中,在提高复杂地表、复杂构造区数据信噪比、分辨率和实现三维叠前偏移成像等方面均取得了许多创新性的成果,并已在多个油田勘探开发中取得显著效果。为了适应处理技术快速发展的需要,迫切需要对现有的处理技术和经验进行总结、沉淀和升华。

第三,适应处理技术传帮带的需要。随着时间的推移,从事地震数据处理的队伍不断扩大,同时也存在着新老交替的自然现象。一大批从事地震数据处理多年且经验丰富的老同志,陆续地离开了一线处理岗位,一大批年青的同志补充上来并使处理队伍更加后继有人。老同志理应把经验留下来,进行传帮带;新同志需要尽快地进入角色,承担时代赋予的更加艰巨而

光荣的使命。组织出版这套丛书,也是为了适应这方面的要求和愿望,这将对推动数据处理技术的进步与发展,起到十分积极的作用。

众所周知,科学、技术、管理被认为是企业发展的三个最重要因素,三者有机统一、缺一不可。我们在组织编辑这一套丛书时,首先从内容上涵盖了科学、技术、管理三个部分,有的分册侧重于科学理论,有的分册侧重于应用技术讨论,有的分册则侧重于管理这门学问。一个高水平的地震数据处理分析员,需要具备一定的数学、物理、地质和与计算机有关的基础知识。同时,物理学、数学、计算机、信号处理等方面的高新技术又是地震数据处理技术的有力支撑,鉴于这一点,在这套丛书中我们收集了一些处理方法的数学公式推导和方法模型的物理解释,这是我们讨论数据处理技术的基础,也是科学理论基础。我们经常听说,地震数据处理既是一门功底较深的技术,也是一门需要精雕细刻的艺术,技术的科学应用直接影响了地震数据处理效果的展现。在这套丛书中,我们安排了地震数据处理应用技术的讨论,目的是为了把现有的技术应用好,做到熟能生巧,并注意经验的积累和升华。要把一个处理项目做成精品是一项系统工程,在执行十分复杂的处理技术流程中,为了保证最终成果的高质量,必须有一套科学严格的质量管理体系来作保障。在这套丛书中,我们安排了有关处理项目和质量管理体系的文件内容和对处理分析员的基本知识要求。由此可见,这套丛书的最大特点是,覆盖了地震数据处理技术领域的科学、技术、管理三大部分的基本内容。

实际上,科学、技术、管理是一个有机的整体,是不可分割的。我们在组织编写这套丛书时,不仅考虑了要包括这三部分内容,而且在编写时力求从一体化的概念上来阐述其内容。当前,地震数据采集、处理、解释一体化已经提到了重要议事日程上,特别是处理解释一体化已成为技术发展的热门话题。需求一体化的因素很多,但最主要的因素是地震勘探技术适应复杂油气勘探、开发形势的需求和地震技术自身深入发展的必然趋势。具体地说,勘探目标越来越复杂,同时还要向油气田开发领域延伸,急迫需求一体化;其次,在隐蔽油气藏勘探中,一体化是发挥地震技术服务潜力的最佳途径,也是必经途径;第三,一体化是在油气勘探与开发过程中降低成本、缩短周期、提高效益的最佳工作模式;第四,一体化是实现科技、生产现代管理的有效和快捷的方式;第五,一体化也是造就和培养高级地球物理师人才的需求。我们在组织编写这套丛书时,只是作了这方面的一点探索,今后还将努力去实现和发挥这一方面的优势,继续深入地走下去。

从整体而言,我们组织编写这套丛书也是一种尝试。从我们掌握到的情况来看,这也是人们涉足比较少的地方。这里充满了未知,充满了可供探求的新领域,当然也就充满了更多的希望与机遇。地震数据处理技术既是交叉科学,也是边缘科学。科学往往是在各种学科交叉之处展现出最强劲的发展势头,这里常常是科学的“生长点”,是最具有生命力的地方,也就正应当在这点上期待着最大的成果。我们衷心地期望广大读者喜欢这套丛书,并从中有所收益,这就是我们最大的欣慰。

没有春天的播种,就没有秋天的收获。勤于动脑,勤于创造,才会有成功。为什么每天都有许多人在看世界地图,而只有魏格纳(A. L. Wegener, 1880—1930)得出了大陆板块漂移说?有些人几乎天天见到猫晒太阳,可为什么只有斐塞司一个人发现了日光疗法?可能我们都认为,要想获得成功,就必须比别人付出足够多的努力。其实在很多时候,天才和普通人的区别就在于比别人多想了一步。在这套丛书中,我们有可能提出了许多问题,但要有成功的启迪,

有可能还在于您的进一步思索,或者依赖于您的深思熟虑,这是我们最大的期望。

最后要说的是,这套丛书出自东方地球物理公司研究院资料处理中心一家之言,是非正谬,见仁见智,读者自辨。勿作书蠹,勿作书痴,勿拘泥之,勿尽信之。

衷心希望读者对书中不妥之处批评指正!

《地震资料处理技术系列丛书》编委会

2007年10月

# 第一版前言

本书是笔者在从事地震数据处理实际工作过程中编写而成的,它收集了当今实际生产中使用到的常规处理(未包括偏移)方法和绝大部分数学模型,还收集了最近几年发展的一些新技术。在介绍每种方法时,除给出一般原理外,重点放在应用技术上,并给出实际数据处理实例,这是与其他同类书籍最大的不同之处。

地震数据处理工作是一项整体工程,尽管可以分成一个个独立的处理方法,但它们之间有着紧密的联系。本书绪论从整体上进行了综述,给出了处理流程的概念;然后分五章详细地讨论了常规处理 CMP(共中心点)叠加所涉及的全部内容。第一章讨论地震数据处理流程中的预处理,它既是后续处理的基础工作,也是一项准备工作,是数据处理过程中最容易发生错误的地方;对处理分析员来说,掌握这方面的知识是十分重要的。第二章讨论静校正方法,静校正是影响叠加效果的关键工作;尽管目前已有不少方法,但做好静校正仍然是一件困难的事。第三章是速度分析及应用,确切一点说仅限于叠加速度,最终剖面处理质量与叠加速度估算是否准确有着紧密的关系,处理分析员往往要把主要精力放在速度分析上;根据叠加速度可以换算成层速度及其他与速度有关的信息,这些内容没有包括在本章范围之内。第四章和第五章分别讨论提高数据信噪比和分辨率的一些方法,高信噪比和高分辨率是常说的“三高”处理中的两高,可见它在整个数据处理中所占的地位;这两章在介绍一些基本的常用方法的同时,还综合介绍了最近几年国内外发展的、在实际数据处理中见到处理效果的一些新方法。

在全书编写过程中,笔者主要参考了国内外几家地球物理勘探公司的处理应用软件,直接或间接地引用了中国石油天然气总公司物探局研究院物探方法研究所多年的一些研究成果。凡属公开发表的成果,笔者在每章末尾参考文献中列出,供读者进一步研究与考证;但有些章节内容可能引自公司内部的研究开发资料,笔者在引用时均在原作者名右角上标以“\*”号,以示与公开发表成果之区别。在这里,笔者向提供资料和方法试算结果的所有同事表示衷心的感谢,这本书之所以能出版,与各位同事的辛勤劳动是分不开的。此外,本书的编写得到了俞寿朋、周兴元等数据处理方法研究专家的指导;傅仲刚等同志为全书所有图幅的整理和加工做了大量的工作,笔者也向他们表示诚挚的谢意。

作者

1993年8月



# 再版前言

《地震数据数字处理应用技术》一书于1993年10月出版,首印1500册,不到两个月就销售一空。在1994年初,曾着手讨论再版的问题,但因笔者工作变动等多种因素,一直没有再版,一拖就是14年之久。

这本书之所以得到读者的厚爱,不是因为有什么高深的理论,而是因为对当时地震数据常规处理技术流程中的各个模块,从方法原理、参数选择到应用效果分析,进行了较全面的介绍和总结。书中所讨论的全部内容,离地震数据处理中心工作现场实际应用的距离非常接近,甚至没有距离。正如原书“内容提要”中所说,它是地震数据处理和解释人员的一本工具书。同时,它也是在现场从事地震勘探的地球物理师和技术人员了解地震数据处理过程的一本十分重要的参考书。对于在高等院校和科研院所的地球物理勘探研究人员,本书也是他们了解现场实际操作和理论与实践相结合的重要参考书。

这次再版,作了如下几个方面的修改:

(1)将原书名《地震数据数字处理应用技术》改为《地震数据处理应用技术》,删掉了“数字”两个字。既然是“数据”,必然是“数字”处理,“数字”两个字,在这里有点画蛇添足,起不到强调的作用。在正文中涉及同类的问题,也进行了删除和修改。

(2)对石油工业出版社提供的“勘误表”中15处错误的地方,均进行了纠正;对“勘误表”中未提供的在使用过程中已发现的错误也进行了校正。

(3)最重要的修改,这次再版增加了第六章“叠后偏移成像”。当前,叠前时间偏移技术正在快速全面地推广应用,但作为常规处理流程,仍以叠后偏移成像为主。增加这一章,从常规处理流程着手,就相对完整了,但这不是增加这一章的主要原因。真正的原因是,在这一章内讨论的三种基本的偏移方法,是当前发展各种偏移方法的基础。如果你想了解当前各种各样的偏移技术,你就必须先掌握这三种最基本的叠后时间偏移方法,否则,你很难把握住各种先进的偏移处理方法中的技术奥妙在哪里。偏移剖面的处理效果已经是众所周知的事情,因此在这一章各节中都没有给出实际数据处理的效果剖面,这与前面各章在效果展示上有所不同。

(4)在第一章的末尾,增加了一个附录A“数字带格式描述”。当前,有一种趋势是:我们使用的应用软件中,技术说明越来越简单,很多内容都放在“黑盒子”内,或者就在制造商手里,使用者不仅看不到,而且找也找不到。这既不利于软件的二次开发,也不利于用户深入理解和掌握软件的技术所在。磁带格式若不明白,不仅不能编写和开发输入和输出软件,有时候出了问题也无从查起。在这里,我们把它作为一份“历史”资料收录在这本书内,这不仅有其收藏的意义,而且还有实际使用和参考的价值。

(5)这次再版,是作为东方地球物理勘探有限责任公司(简称东方地球物理公司)研究院资料处理中心组织出版的《地震资料处理技术系列丛书》中的一本出版的。笔者十分感谢资料处理中心总经理王克斌博士选择这本书并纳入他组织的丛书中进行再版。因此按照丛书出版的要求,笔者也作了相应的改动。

当前,地震数据处理技术正在稳健地向前发展。(1)随着油气勘探目标的越来越复杂,地表和地下十分复杂地区的地震数据成像技术,已成为地震数据处理技术发展的热点课题;在岩

性油气藏勘探中,对高信噪比、高分辨率和高保真度的成像又提出了更高的要求。(2)围绕地震勘探技术向油气田开发领域延伸,地震数据处理技术正在向更高精度和更深层次的方向发展,通过处理将进一步开发三维地震数据体的解释潜力。(3)围绕地震数据处理解释一体化的思路,许多解释性处理技术(如反演、叠前叠后属性分析等),一方面正在不断地涌现出新的方向,而另一方面也正在逐步完善;这为处理技术的发展开辟了一条新的途径,同时也增加了技术发展的空间。(4)为了适应采集技术的发展,充分展示采集新技术的潜力,在给处理技术发展提出新的研究课题的同时,也促进了处理技术向更深层次的发展,例如高密度空间采样和多波多分量数据采集等。(5)处理技术自身的深入发展,更多的是对已有的技术特别是常规处理技术不断地完善与改进,不断地注入新的技术含量,确保处理技术发展的活力,使处理的质量和水平不断地提高,例如反褶积、噪声压制和振幅相对保持等处理技术都存在着巨大的发展潜力。

处理技术快速发展的另一个重要因素,是当前计算机处理能力的提高提供了技术发展的优良条件。例如,大面积三维连片处理技术和叠前时间偏移技术的发展与应用,首先是计算机能力的扩充。因此,我们在讨论地震数据处理技术发展的同时,一定要加强计算机软硬件配置的扩充,认识这一点是十分重要的。

随着地震数据处理技术的发展完善和处理市场的全面开拓,地震数据处理成果的质量与水平,与处理分析员的技术素质有着紧密的关系。当前,许多数据处理中心正在大力加强处理员的技术培训。办培训班请老师讲课是一种好的培训方式,给处理员提供一本好的参考书或者教材,也是十分重要的。《地震数据处理应用技术》一书的再版,虽然讨论的是常规处理技术流程中的各个部分,但它的意义是十分深远的,发挥的作用将远远超越常规处理技术的范畴,读者从中可以得到很多有益的知识。

作者  
2007年7月

# 目 录

绪论 .....	(1)
<b>第一章 预处理 .....</b>	<b>(5)</b>
第一节 参数填写的一般规则 .....	(5)
第二节 数字磁带格式与数据格式 .....	(7)
第三节 野外数据采集带输入 .....	(9)
第四节 数据解编与重排 .....	(10)
第五节 野外观测系统定义 .....	(12)
第六节 道的编辑与分选 .....	(14)
第七节 可控震源记录相关 .....	(15)
第八节 垂直叠加 .....	(22)
附录 A 数字带格式描述 .....	(23)
参考文献 .....	(53)
<b>第二章 静校正量分析及应用 .....</b>	<b>(54)</b>
第一节 静校正中的参考面 .....	(55)
第二节 基准面校正 .....	(56)
第三节 FARR 显示折射静校正方法 .....	(60)
第四节 扩展广义互换法(EGRM) .....	(66)
第五节 相对延迟时折射校正 .....	(75)
第六节 相对折射静校正方法 .....	(78)
第七节 基于初至模型的静校正方法 .....	(84)
第八节 模型迭代剩余静校正 .....	(89)
第九节 相关法求取剩余静校正值 .....	(97)
第十节 二阶差分最大叠加能量法静校正 .....	(104)
第十一节 长波长剩余静校正 .....	(109)
第十二节 广义线性反演近地表模拟 .....	(119)
第十三节 蒙特·卡罗迭代法实现静校正 .....	(122)
参考文献 .....	(132)
<b>第三章 速度分析及应用 .....</b>	<b>(133)</b>
第一节 叠加速度谱分析 .....	(133)
第二节 相关速度谱分析 .....	(139)
第三节 $L_1$ 相关速度谱分析 .....	(142)
第四节 复地震数据道的相关速度谱 .....	(148)

第五节	几个叠加速度分析辅助程序 .....	(152)
第六节	聚焦时间扫描速度分析 .....	(156)
第七节	应用二维射线追踪方法确定偏移速度 .....	(163)
第八节	DMO 速度分析 .....	(168)
	参考文献 .....	(172)
<b>第四章</b>	<b>信号增强处理 .....</b>	<b>(174)</b>
第一节	一维频率滤波器的计算 .....	(174)
第二节	二维滤波器的设计 .....	(182)
第三节	组合混波和 Beam 处理 .....	(190)
第四节	数据道样点振幅的处理 .....	(192)
第五节	空间方向滤波 .....	(199)
第六节	正交变换去噪 .....	(202)
第七节	$\tau - p$ 变换去噪 .....	(208)
第八节	应用振幅概率分布统计特性分离信号与噪声 .....	(214)
第九节	共中心点道集数据叠加 .....	(217)
第十节	共中心点道集数据加权叠加 .....	(221)
第十一节	中值叠加和中值滤波 .....	(225)
第十二节	倾角时差校正(DMO)叠加 .....	(228)
第十三节	$f-x$ 域中随机噪声衰减 .....	(237)
第十四节	各种相干处理技术 .....	(240)
第十五节	多项式拟合提高数据信噪比 .....	(248)
第十六节	多道相干噪声滤波 .....	(251)
第十七节	矢量分解法压噪 .....	(255)
	参考文献 .....	(259)
<b>第五章</b>	<b>子波处理与反褶积 .....</b>	<b>(261)</b>
第一节	最小平方脉冲反褶积 .....	(261)
第二节	最小平方预测反褶积 .....	(269)
第三节	子波整形反褶积 .....	(275)
第四节	两步法统计子波反褶积 .....	(282)
第五节	地表一致性反褶积 .....	(289)
第六节	自适应最小平方反褶积 .....	(296)
第七节	时变谱白化 .....	(301)
第八节	反 $Q$ 滤波 .....	(306)
第九节	剩余子波的相位校正处理 .....	(313)
第十节	应用同态理论进行子波反褶积 .....	(322)
第十一节	最小熵反褶积 .....	(330)
第十二节	最大熵反褶积 .....	(339)

第十三节	最小均值模反褶积 .....	(346)
第十四节	对反褶积后剩余子波和有色反射系数成分的处理 .....	(351)
参考文献	.....	(357)
<b>第六章</b>	<b>叠后偏移成像</b> .....	<b>(359)</b>
第一节	偏移成像概述 .....	(359)
第二节	波动方程有限差分偏移 .....	(363)
第三节	波场外推的 Kirchhoff 积分法 .....	(369)
第四节	频率波数域( $f-k$ )偏移 .....	(375)
第五节	频率空间域( $\omega-x$ )偏移 .....	(382)
第六节	串联偏移处理思路 .....	(385)
第七节	叠后深度偏移 .....	(387)
参考文献	.....	(389)

# 绪 论

地震勘探是物探方法中极为重要的一种勘探方法,20 世纪 20 年代就开始应用于石油天然气资源的勘查。60 多年来,随着科学技术的进步,它得到了飞速的发展。如果以野外数据采集仪器的更新作为发展的标志,它经历了光点纸记录、模拟磁带记录和数字磁带记录三个阶段。数字磁带记录出现以后,整个地震勘探工作就逐渐形成数据采集、数据处理和资料解释三个基本的生产环节。本书将要讨论的内容仅涉及数据处理以及与数据处理有关的一些问题。

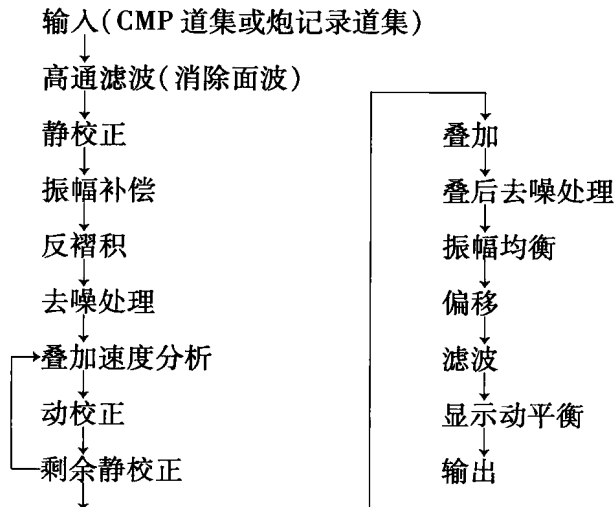
## 一、数据处理系统的基本功能

地震数据处理是地震勘探三个基本生产环节的中间环节,因此,它既要适应野外数据采集条件多变的情况,又要满足资料解释的各种需求。因此,一个好的处理系统,处理功能应是很全面的,同时处理效率也应是很高的。一般来说,它应该具备以下一些基本的功能:

- (1) 能准确地识别野外采集数据磁带各种记录格式和用于处理的各种数据磁带格式。
- (2) 能有效地压制噪声,增强有效信号的强度。
- (3) 能有效地展宽信号的频带宽度,提高信号的分辨率。
- (4) 能校正或者补偿信号在传播过程中所产生的畸变,恢复信号的特征参量。
- (5) 能准确地校正信号时空位置的失真。
- (6) 能形成和输出各种各样的图件。

## 二、地震数据处理流程

数字处理从野外数据磁带的输入,到最终提供给解释人员的处理成果,是通过执行一个处理流程来实现的。一个处理流程包括许多处理步骤,而每一个处理步骤又要涉及好几个处理模块。因此,处理模块是处理流程中的最小组成单位,是实现某一个独立处理方法的一个程序。一个处理流程通常由三部分组成,即预处理、叠前处理和叠后处理。目前常用的处理流程是:



一般情况下,叠前处理的工作量比叠后处理的工作量要大得多,这主要是叠前数据量为叠后数据量的 $N$ 倍, $N$ 为覆盖次数。叠前处理方法多数是以道为单位进行的,如频率滤波,脉冲反褶积,动校正等。但也有一些方法是在一组道上进行,如视速度滤波,剩余静校正量的求取,基于统计模型的反褶积程序等。采用的一组数据道,可以是 CMP 道集,或炮记录道集;也可以是共炮检距道集和共接收点道集。究竟使用什么道集,这要根据处理模块数学模型的假设条件来确定。一般而言,常规叠前处理手段,多数是在 CMP 道集上进行的。随着处理技术的发展,叠前处理手段增多,数学模型愈来愈复杂,使用其他道集的方法也在不断地增多。但只要进行 CMP 叠加,不管使用什么样的道集进行叠前处理,在叠加时都会抽成 CMP 道集。

有些叠前处理方法,要想得到满意的处理效果,需要重复地调用同一组模块,形式上类似于数学上迭代法求解。例如,叠加速度分析和剩余静校正就是一个例子,当道集中存在剩余静校正量时,叠加速度分析的精度就会大幅度地降低;反过来,当叠加速度数据不准确时,不管用什么样的计算方法求取剩余静校正量,都会因为叠加速度不准而产生较大的误差。它们之间不仅相互影响而且相互制约。为了解决这个问题,我们需要进行多次速度分析和多次剩余静校正。每一次速度分析是在运用上一次计算出的剩余静校正量以后的道集上进行,每次求剩余静校正量时都使用新的速度分析数据。这样反复多次,直到满意为止。由此可见,这种迭代处理方法,大大地加大了叠前处理的工作量。我们在考虑这种迭代处理流程时,要根据数据的质量和剖面的处理效果,来决定这种迭代运算的次数,一般控制在 2 至 3 次。

我们知道,随着勘探程度的提高,野外采集到的数据愈来愈复杂,叠前处理就愈来愈被地球物理工作者重视。叠前数据不仅量多信息丰富,而且真实。它包含了采集到的全部信息。发展叠前处理技术,是今后提高剖面处理质量的主要方向。

叠后处理主要包括叠后数据的偏移归位和信噪比、分辨率的提高。这些方法的前提是叠加以后得到了一个零炮检距剖面。叠后偏移归位技术发展很快,几乎每年都有新的方法出现,这些新方法主要是围绕偏移角度范围、偏移归位的精度、偏移过程中信号特征的保持以及计算效率等问题展开的。偏移速度的确定一直受到研究人员的关注,但它与叠前偏移关系更加密切。有的方法在克服偏移过程中的频散效应和压制偏移过程中自身生成的噪声有专门的作用,但仍然没有离开上面谈到的几个问题。叠后偏移方法虽然种类繁多,但归纳起来可分为三类,即克希霍夫积分法,波动方程有限差分法和频率波数域偏移方法。目前已出版了不少偏移技术的专著,在这本书内,我们就不准备对偏移处理模块进行介绍。

叠加本身就是一种提高数据信噪比的最有效的方法。但在很多情况下,叠加数据上仍然保留着某些规则噪声和不规则噪声。因此,努力提高叠后数据的信噪比和提高叠前数据信噪比同等重要,提高叠后数据的信噪比一般均采用多道运算模型。叠加本身有低通效应,尽管叠前我们采用了不少提高分辨率的方法,但叠加以后分辨率有所损失。因此,叠后反褶积一方面要解决叠前反褶积的剩余子波问题,同时也要消除叠加本身的低通效应。如果叠前我们采用单道的时变空变的反褶积因子,如脉冲反褶积等,那么叠后我们更多地希望采用多道的算法。

有些处理方法,叠前叠后均适用。甚至可直接调用同一个模块,或者同一个模块的不同入口选择。但也有些处理方法,只能用于叠前处理,或者只能用于叠后处理,这是由方法的假设条件所限定的。有时候,在程序编写时,根据数据块的结构不同,或者内存容量的限制,要做一些叠前叠后处理的限定,但这种限定是程序上的限定,是可以修改的。这与方法的假设条件的限定是完全不相同的。

前面已经谈到,处理任务不同,组织的处理流程也不同。目前常见的处理流程,除了常规

处理流程以外,还有高分辨率处理流程、保持振幅处理流程,以及完成某种特殊处理任务的专项处理流程。其实,这些流程并无实质性的区别,只是根据任务的不同,在常规处理流程的基础之上增加一些专有功能的处理模块,或者限制一些模块的使用。例如,保持振幅处理流程,就要求在常规处理流程的基础上,增加振幅补偿,较好地消除大地滤波系统对信号振幅的衰减。同时,我们也不能使用破坏振幅相对关系的处理模块,如单道振幅动平衡程序。当某些处理模块改变了振幅的相对关系时,我们在模块处理后都要恢复模块处理之前信号振幅的相对关系。

一条剖面的处理效果,是一个处理流程的整体效果。单个模块的作用是融汇在整个处理流程之中的。在一个流程中,必然有一些起主要作用的主导模块以及一些服务性模块。它们之间的合理搭配,是保证处理流程取得满意效果的重要因素。所谓合理搭配,首先是在模块库内选择你所需要的模块,其次是安排你所选择的模块在流程中出现的先后顺序,然后再分析每一个主导模块的前置处理和后续处理是否都合适,即主导模块的前置处理结果(本模块的输入)是否满足本模块的假设条件,后续处理是否保证了本模块的处理效果在最终输出中得到充分的显示。我们不能在一个流程中,使模块的作用相互削弱,而是使每一个模块的作用在流程中能得到最大的发挥。在研究单个处理模块方法的同时,也要研究如何组织最有效的处理流程。

随着处理技术的发展,处理流程也将不断地发展。一方面由于处理手段的增多,解决问题的能力提高,处理流程将愈来愈复杂。另一方面,一些新发展的处理技术,它对应的不是一个处理模块能完成的,它需要组织一个流程,例如深度偏移,偏移速度分析与叠前偏移,波阻抗处理,AVO 分析等,这些技术最终都要通过流程来实现。因此,今后的发展将会出现更多的专门性处理流程。第三方面,由于交互处理技术的发展,一个交互作业步就是一个独立的简单处理流程。在批量作业处理中,应用程序库中出现了应用程序包,有的系统中还有一些可直接调用的“过程”,无论是应用程序包还是“过程”,它们本身都是一个最简单的处理流程。由于这些技术的发展,使我们的处理流程在表层上趋于简单化。但无论怎样发展,处理流程始终是数据处理技术中的一个重要内容,是地震数据处理工作者必须掌握的。

### 三、数字处理技术的发展与前景

地震数据处理技术在我国的发展速度是很快的。1973 年年底,DJS-11 机(150 机)处理出第一条模拟磁带计算机数字处理水平叠加(CMP 叠加)剖面——留路 272.7 测线水平叠加剖面。时隔数月成功地处理了南海 II 测线,从而拉开了我国地震数据处理的序幕。当时的应用软件只有基本的水平叠加、速度分析、频谱分析三个程序。1975 年 5 月,在 150 计算站进行了商河西资料数字处理会战,编写了叠加偏移程序和时深转换程序。通过这两个程序处理后的剖面,在当时地质解释中起到了明显的作用。为了满足查清任丘古潜山内幕反射的要求,分别对上述五个程序进行了功能的完善和扩充。同一时期内,在 121 机上也编写了水平叠加、速度分析和频谱分析程序,并对叠加偏移和偏移叠加进行了试验。尽管当时引进了雷森 704 计算机 COMPAC-75 地震软件系统,但在这个阶段中主要是以国产机器和自己编写的软件为主。1977 年,我们开始引进 CYBER170 计算机系列,通过对引进软件的应用与开发,加速了处理技术的发展。与第一阶段相比,在常规处理流程中增加了自动剩余静校正和波动方程偏移程序,反褶积使用技术有明显的提高。1980 年我们开始了以保持相对振幅处理为主要内容的特殊项目处理,并在 2~3 年内得到很快的发展。在这个阶段内,地震数据处理中心或计算站在全国范围内不断地涌现,整个数字处理技术水平上了很大的一个台阶。1983 年,我们开始



引进 IBM 公司的大型机器以及相应的软件系统,进入了我国数字处理技术发展的第三个阶段。三维数据处理是这个阶段划分的主要标志。三维数据处理技术在我国发展很快,无论从工作量上还是处理技术上都进入了世界先进行列。与此有关的数据插值技术(如二维测网插成三维测网数据),在我国进行了研究并得到了应用。在这个阶段内,除了三维数据处理以外,在技术上最引人注目的是,叠前部分偏移叠加(DMO)逐渐代替常规的 CMP 叠加,使叠加剖面质量有了明显的提高。DMO 叠加剖面更加接近真正的零炮检距剖面。其次是围绕数据的高分辨率处理产生了一整套技术,如反 Q 滤波、时变谱白化、相位校正、高频增强和各种类型的反褶积等。第三是叠后偏移技术有了较大的发展,无论偏移角度、归位精度或是计算效率等方面都有所提高。第四是改善剖面数据信噪比出现了一些新的方法,如随机噪声衰减(RNA 技术)和各种时差校正叠加等。目前,这些技术仍在不断的向深度和广度发展,以适应地震数据解释技术发展和勘探任务提出的各种需求。

地震数据处理技术的迅速发展与石油工业发展的需求是分不开的。最近几年,我们开辟了西北地区勘探战场,如塔里木盆地,吐鲁番盆地等。这些地区地形起伏较大,沙漠覆盖,激发条件差;地下逆掩褶皱,形成各种推复体,勘探目的层埋藏深。多数情况下,采集的数据信噪比很低。所有这些,给地震数据处理技术提出了新的研究课题。我国东部地区,地表条件较好,但地下十分复杂,大小断层星罗棋布。目前勘探程度较高,要扩大勘探储量,一是要进一步地查清和准确地确定各种大小断层位置;二是要向外围和深度发展;三是要找隐蔽圈闭。所有这些要求,与西部地区对数据处理技术的要求是不完全相同的。另外,地震勘探技术已不完全限于油气藏勘探,还应用于油气田开发。油田开发工程师不仅要在地震数据中获得油气藏描述的有关参数,而且要获得油气田开发过程中监测油气田动态的有关信息。开发地震必然给地震数据处理技术提出一些新的课题。当代石油地质学理论的发展,如地震地层学,储层地震地层学,盆地模拟,数学地质等,都会不断地向数字处理技术提出新的要求。

综上所述,我们不难看出,地震数据处理技术有其广阔的发展前景,它将在油气藏勘探与开发中起着愈来愈重要的作用。它的基础工作是处理好每一条剖面,使它达到“高信噪比、高分辨率、高保真度”的要求。叠加是提高剖面信噪比的主要方法,如何实现完美的叠加,首先要研究提高动静校正精度的方法,其次是要从地面的 CMP 几何特征叠加,逐渐转到地下的“CRP”叠加,实现二维和三维空间的真正的共反射点叠加。与此同时,我们还要继续研究识别和检测信号与噪声的方法,来解决低信噪比的资料处理问题。在提高分辨率方面,尽管我们已经有了高分辨率处理流程,但整个分辨率远不能满足地质解释的需要。今后研究的焦点是如何有效地展宽一个带限信号,提高信号的分辨率,或者是如何使用好测井数据,对地震数据进行约束反演,使地震数据的分辨率逐渐接近测井数据的分辨率。在偏移归位方面,尽管当前方法众多,但对复杂构造成像,特别是上覆盖层速度横向变化剧烈时,底下界面的成像仍是一个难题。今后的发展,将从叠后转向叠前、从时间转向深度、从二维转向三维、从单级发展到串级。要研究偏移速度模型,同时还要研究在偏移归位过程中信号特征的保持。在常规“三高”处理的基础上,要开展各种特殊处理的研究,要从剖面数据中提取多种参数,向综合利用的方向发展,向预测科学领域乃至高科技领域内发展。提取的参数包括与波传播有关的参数和波传播介质的特征参数,实现方法有振幅与炮检距的关系(AVO),波阻抗处理,岩性模型模拟以及各种反演技术。另外,通过井中地球物理观测,包括垂直地震剖面(VSP)和井间地震(层析),以及它们与地面地震的相互结合,使问题得到较好的解决。但所有这些都是与数据处理工作分不开的。