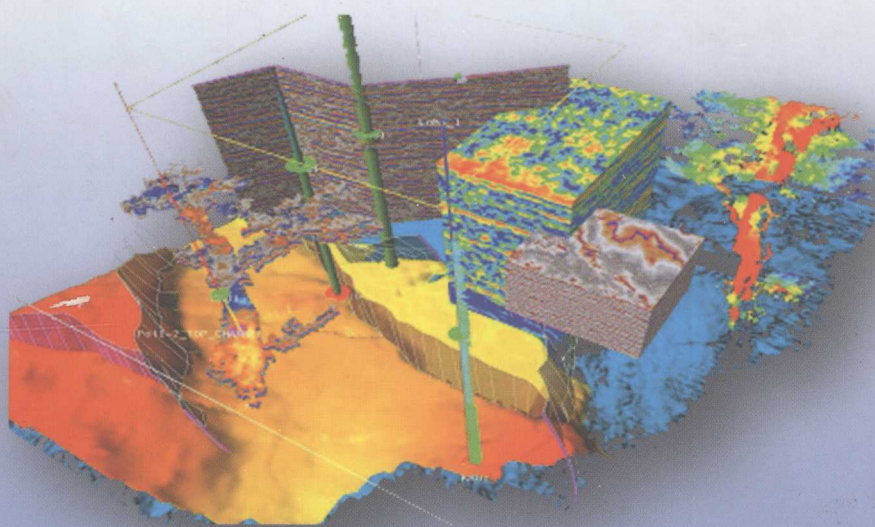


DIZHEN SHUJU JINGXI CHULI
地震数据精细处理

周锦明 熊 翥 著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

地震数据精细处理

周锦明 熊 翥 著

石油工业出版社

内 容 提 要

该书共分六章,第一章重点讨论当前常规处理技术如何实现精细处理,提高常规处理数据的精度;第二章讨论如何实现目标处理的精细处理;第三章讨论低信噪比数据的处理方法;第四章讨论提高数据分辨率的处理方法;第五章和第六章围绕当前解释性处理中应用最多的波阻抗反演和 AVO 分析技术讨论其精细处理。全书图文并茂,实用性强,适合地震资料处理技术人员和大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

地震数据精细处理/周锦明,熊翥著.
北京:石油工业出版社,2003.8
ISBN 7-5021-4177-4

I. 地…
II. ①周…②熊…
III. 地震数据-数据处理
IV. P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010687 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 9.5 印张 250 千字 印 1—1000
2003 年 8 月北京第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-4177-4/TE·2947
定价:68.00 元

序

地震数据处理技术经过将近半个世纪的高速发展,无论在深度和广度上都有长足的进步,这为地震勘探技术的发展以及地震勘探技术在油气勘探领域中的作用和地位的提高,起到了十分关键的作用,并为提高复杂地区油气勘探能力发挥了积极的作用。

尽管如此,当前地震数据处理技术仍以常规技术流程为主,许多高新技术由于受多种因素的影响,还没有得到广泛的推广和应用。当今地震勘探技术的发展,一是适应复杂地区(地表条件恶劣、地下十分复杂)的勘探需求;二是为油气田开发提供服务。为此,我们在开展低信噪比数据叠加和偏移成像,以及围绕高信噪比、高分辨率、高保真度的处理方法研究的同时,十分注重把现有的一些技术应用好,包括三维叠前深度偏移和有效信号优势频带拓宽等技术,来满足当前油气勘探的急需。因此,讨论和研究如何把常规处理技术应用好,对保证数据处理效果和质量,仍有着十分重要的意义。

本书主要讨论常规处理技术的有效应用,作者是我国从事地震数据处理实践两代人的代表。熊翥先生 1965 年毕业于北京石油学院地球物理勘探专业,20 世纪 70 年代初就投入我国地震数据处理工作,参加了用国产 150 机处理的第一条地震数字剖面的处理工作和留露 272.5 测线的处理,并完成了海上 504 船的剖面验收处理,在紧随的商河西资料处理会战、京津资料处理会战、任丘资料处理会战中担任技术组织领导工作。这两条剖面的处理和三次模拟资料数字处理会战,拉开了我国地震数据处理技术发展的序幕,为我国地震数据处理技术的发展奠定了良好的基础。随后他在数据处理一线工作了近 20 年。他写的《地震数据数字处理应用技术》、《复杂地区地震数据处理思路》等四本专著(石油工业出版社出版),受到了广大读者的喜爱。周锦明先生毕业于华东石油学院地球物理勘探专业,20 世纪 80 年代中期,一直在地震数据处理一线从事研究工作,90 年代中期开始经营地震数据处理和解释的地球物理服务公司,组织和领导为我国近十几个油田服务的近百个作业项目,取得了良好的勘探效益,他本人在大量的实践活动中积累了丰富的经验,并有较出色的解决实际问题的本领和能力。熊翥先生从 80 年代中期走入地震数据处理技术管理领导岗位,周锦明先生则从 80 年代中期至今一直工作在数据处理生产第一线,因此他俩的结合和经历正好反映了我国数字处理技术发展的全过程。他俩合作写的这本书,可以说是从我国数据处理技术起步到当今的大量实践过程中的经验积累和总结。这对今后数据处理技术的进步与发展有着重要的实际意义。

人类科技发展到今天,搞“原创性”的发明或者说“创新”愈来愈难,更多的发明或创新则以“组合式”的方式出现,即将众多的现有的科学技术组合在一起,来产生一种“质”的飞跃,获得最大的效益。书中讨论的一些问题均不属原创性的发明和创新,但对求解问题的思路和对问题所作出的结论,均有创新的含义,照此“办理”,必将受益。

首先,常规处理技术今后必将朝着“精细”发展,这实际上是指出,今后几年要保证数据处理质量,除了在作业过程中的质量监控外,还应建立对处理成果是否达到“精细”二字有一套可操作性的检测标准,以便用于判断整个处理过程是否处于最佳工作状态。这就是书中第一章要告诉读者的中心内容。

第二,目标处理是随着勘探程度的不断深入,对数据处理所产生的需求。目标是多种多样的,但总是可以归成几大类,数据处理的关键是形成针对地质目标的处理技术系列,也就是说要根据具体的地质目标以及这种目标地震响应特征来选择处理方法和处理技术。例如书中在讨论提高深部数据品质处理时,提出应做好两个处理流程,一个是常规技术精细处理流程,输出除了叠加剖面 and 偏移剖面以外,更重要的还应包括精细处理以后的叠前道集数据;另一个流程是针对深部数据成像而言的,一般要应用叠前深度偏移技术。

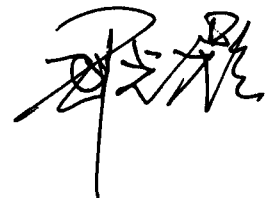
第三,在讨论低信噪比数据处理时,作者强调了应用好静校正技术的重要性,要针对不同地区形成不同的静校正技术处理流程;要做好叠前压噪,形成科学的叠前压噪处理思路,其目的是求准各种校正和处理参数,实现同相(时间对齐、波形一致)叠加;要叠前、叠加、叠后全盘考虑,不同的噪声在不同的步骤中压制,前后匹配,取得提高信噪比的整体效果。

第四,通过处理提高数据的分辨率,具有一定的潜力,但这种潜力是有限的。只有在提高信噪比处理的同时拓宽优势频带,才能得到真正有效的分辨率(纵向),而不至于产生假象。书中指出提高分辨率处理可视为一项系统工程来对待,至少要做好八个方面的工作,强调了通过模型正演模拟的可行性评估和处理策略的确定,这些都有其实际意义。

最后,书中讨论了零炮检距数据反演(波阻抗反演)和非零炮检距数据反演(AVO分析)的若干问题,这两项技术是当前应用较广和与储层岩性解释结合较紧密的两项技术。为了排除反演的多解性,力求解的稳定,作者强调了反演前要对数据和方法进行详细的调查与分析,科学地确定约束过程和正确地使用其它信息来进行约束。在实际处理中,采用正演求反演的处理过程较多,因此如何确定初始模型就成为十分重要的问题。从实现步骤来说,反演由两个大的处理流程来组成:一个是对反演前数据的处理,力求反演数据满足反演方法的假设条件;另一个流程就是反演,这两个流程以“串联”的方式实现。对于AVO分析而言,与上述两个串行处理流程并行的还有一个模型正演处理流程,它们组成了AVO分析工作总体框图。AVO分析模型正演和AVO分析所得各种属性剖面的进一步处理(反演),大大提高了AVO分析工作的实用性和解的稳定性。

总之,这是一本具有实用性的好书,读者一定会从中受益。

中国科学院院士



2003年6月

前 言

从某种意义上讲,这书记录了恒信潜能地球物理技术有限公司六年来艰苦创业的技术发展历程;反映了公司注重技术发展、努力解决实际地质问题的宗旨;用一些实例点缀了公司多年来的技术成果;同时也揭示了公司从无到有、从小到大、现在已成规模的关键诀窍,初步展现了公司未来发展的动向和良好经营的前景。

作为一本地震勘探数据处理和解释领域的实用技术专业书籍,笔者本意是注重实际应用的讨论,因此不能具体到每一个处理模块的方法原理和解释过程的每一步骤,也不可能全面涉及所有问题。选择讨论的内容希望具有“专、精、特、新”四个方面的特点。所谓“专”,是指有明确的专业方向,用专有的技术为油气勘探开发提供专业化服务,能解决某一个方面的专有的具体问题,技术上有其专长;所谓“精”,就是要体现以精湛的技艺来得到高质量的处理剖面 and 地质解释成果,尽管方法原理和实现过程一般,但工作却做得十分精细,在产品和服务质量上做到精益求精,实施精品战略;所谓“特”,就是讨论的技术和问题有其特色,解决问题的思路有其独特之处,以及在同类别书籍中没有讨论到或较少讨论的一些问题,做到“人无我有,人有我特”;所谓“新”,就是要体现出推广应用高新技术,产生新方法,开发出新软件,提供新成果。

笔者曾在多篇著作和多种场合不同程度地强调,地震数据处理既是一门技术,又是一项艺术,因此存在“熟中生巧”的问题。要把技术掌握好,必须有一定的理论知识作为基础,同时还要研究学问,有做学问的能力。其次是要培养过硬的基本功。为此,我们既要继承前人已经取得的成果,又要提倡独立思考,发前人所未发,闯前人未闯之路。只有这样,才会产生新的成果,实现学与思的统一。对于一门艺术,就必须更加强调实践,做到知行合一。知是认识,行是实践,在毛泽东主席的“实践论”中有许多精辟的论述。在这里,我们是要从解决实际问题出发,最后更要在实践中加以检验,同时要在实践中注意基本功的训练和经验的积累与升华。另外,我们还十分关注述与作的统一,即继承与创新的统一。对于前人已发现的真理,必须加以继承,不了解前人已经达到的成就,就必然产生盲目性。学亦称为学问,这个“问”字有重要意义;治学只有发现问题、解决问题,才能称为真学问。这与我们平时常说的“学而思、思而信、信而行”,其含义是一致的,三者之间相互联系,又相互作用。没有学,哪来思?没有思,如何信?没有信,怎样行?没有行,学又有其何用呢?因此,对于一个好的处理分析解释人员而言,必须做到真学、深思、坚信、力行,只有这样才能把地震数据处理与解释技术水平全面推向前进。

作为一个公司的经营者,我们既要努力使公司能在市场经济条件下很好地生存下来,又要把眼光放在把握市场发展方向、运作美好未来的长远目标上。我们深切体会到,所有这一切都是建立在公司技术发展的基础之上。我们有义务把公司几年来在技术发展道路上所做的一些事情,取得的一些成果加以总结、提炼、升华,尽可能地全部提供给读者,以求获得更大的社会效益。这也许是我们这些公司努力向大的地球物理服务公司方向发展首先要做好的一件事。

另外还要说明的是,书中所述观点,仅仅是一家之言,是非正谬,见仁见智,读者自辨。其实读书也有正解、误解和不解之说;可以正读,但也可以反读。例如《资治通鉴》,本来是资“治”的,也可以读成资“乱”的,因为讲治就必须讲乱,无法避免;讲成功的王,同时就得讲失败的寇。

因此书中有些实例,采用了前后对比,可能涉及他人,只是为了说明处理效果,丝毫没有贬低他人之意,这是笔者要声明的,并且希望得到谅解。

最后,笔者衷心感谢公司同仁们这几年来所作的努力与奉献,公司的发展以及本书的出版是与公司同事们工作的成就分不开的。同时也要衷心感谢各个油田的领导和专家多年来对公司的关心和支持,他们的厚爱为公司的发展提供了强有力的保障。

全书所有的图件除有特殊声明外,均来自于恒信潜能地球物理技术有限公司各个实际处理解释项目之中,数据具体位置标志均作了处理,没有实际意义,特此声明并希望得到原数据所有者和读者的谅解。

目 录

绪论	(1)
第一章 常规处理技术的精细处理	(5)
第一节 常规处理技术流程	(5)
第二节 常规技术精细处理的检测标准	(7)
第三节 常规处理技术中的静校正技术	(9)
第四节 常规处理技术中的叠前压噪技术	(12)
第五节 常规处理技术中的精细速度分析	(13)
第六节 处理实例	(14)
第二章 目标处理技术的精细处理	(24)
第一节 目标处理的一般概念	(24)
第二节 深部数据信号增强目标处理	(25)
第三节 古潜山内幕目标数据处理	(31)
第四节 碳酸盐岩地区地震数据处理	(32)
第三章 低信噪比数据的精细处理	(40)
第一节 低信噪比数据的产生	(40)
第二节 静校正技术的处理思路	(42)
第三节 压制噪声提高信噪比	(45)
第四节 地质噪声的处理思路	(47)
第五节 叠前、叠加、叠后全盘考虑的思路	(50)
第四章 提高分辨率处理	(53)
第一节 考虑问题的基础	(53)
第二节 影响分辨率的因素	(54)
第三节 近似准则及经验之谈	(56)
第四节 提高分辨率处理流程	(58)
第五节 两种具有启迪意义的处理思路	(63)
第五章 波阻抗反演技术的精细处理	(70)
第一节 引论	(70)
第二节 波阻抗转换处理	(72)
第三节 波阻抗反演的初始模型	(77)
第四节 波阻抗反演中若干问题的简短讨论	(84)
第五节 波阻抗数据体的应用	(89)
第六章 AVO 分析技术的精细处理	(94)
第一节 AVO 分析的基本概念	(94)
第二节 Zoeppritz 方程的近似表达式	(98)

第三节	AVO分析叠前数据处理	(102)
第四节	AVO分析处理	(109)
第五节	AVO分析数据解释	(117)
第六节	AVO处理分析的误区	(130)
第七节	处理解释一体化	(133)
后记	(141)
参考文献	(144)

绪 论

在新的世纪,石油工业的发展面临着来自四个方面的严峻挑战:首先是减少油藏的不确定性因素,提高勘探成功率,特别是复杂地区的油气勘探的成功率;其次是加速从油气发现到开采的进程,缩短勘探周期;第三是扩大现有油田的可采储量,提高油气的采收率;第四是降低油气发现、开采和营运成本,降低作业成本。所有这些,无不为地球物理技术的发展提供了机遇和挑战。

众所周知,地震勘探是当今油气勘探与开发中一项最主要的地球物理技术,地震数据处理又是地震勘探技术三个环节(数据采集、处理、解释)中承上启下的一个重要环节。因此,地震数据处理技术的发展水平,直接反映了地震勘探乃至整个地球物理技术发展的水平和方向。当今,地震数据处理技术发展总的趋势是:

- (1)常规处理技术向精细方向发展,数据处理精度不断地提高;
- (2)目标处理项目比例加大,针对不同地质目标集成不同的有针对性的配套处理技术系列;
- (3)三维数据处理技术逐渐发展完善,三维数据处理占领了绝大部分处理市场;
- (4)复杂地区低信噪比数据资料处理已经成为数据处理方法研究的最热门的研究课题;
- (5)从时间域处理逐渐转向深度域处理,三维叠前深度偏移技术已走向成熟;
- (6)多波多分量(包括转换波)数据处理技术已经形成处理流程,正在逐渐完善;
- (7)时移地震数据处理技术流程已基本形成,处理方法研究一是需要完善各种专用功能,二是方法研究向更深层次发展,三是与油藏监测和油藏工程的结合;
- (8)井中数据(三维 VSP、三维逆 VSP 等)和井间数据处理技术逐渐成熟,并已逐渐形成专用的处理软件系统;
- (9)以波阻抗反演、弹性参数反演、AVO 分析、地震属性分析等解释性处理方法和技术,已逐渐成熟,应用更加广泛;
- (10)陆上复杂地区静校正技术、叠前压噪技术、速度建模技术、偏移归位等技术已取得重大进展,研究思路更加明确,方法和途径不断地涌现;速度的各向异性对地震数据处理和解释的影响已提到议事日程上。

从处理工作方式上,出现了以下特点:

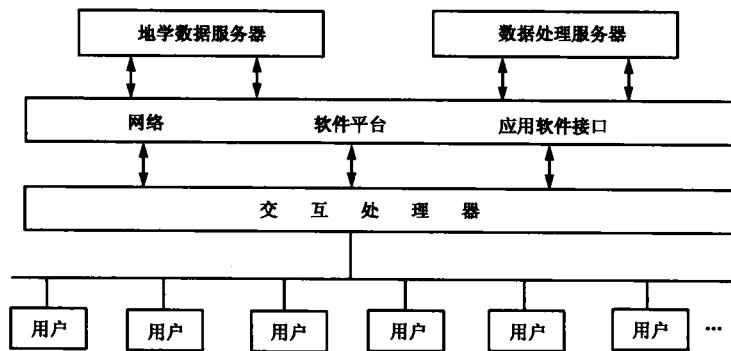
- (1)大批量的作业组织方式越来越不适应数据处理质量的要求,人机交互作业方式对复杂地区的数据处理,其优点越来越明显;
- (2)用户要求缩短数据处理周期的愿望更加迫切,期望值更高,要通过提高计算机能力、采用高新计算技术、改善软件环境、提高处理人员素质和工作效率、改进作业管理工作流程等来处理处理好处理周期和处理质量之间的关系;
- (3)执行和实施处理、解释一体化的工作流程,把处理和解释融合成一体,并渗透到每一个工作阶段之中;
- (4)处理和解释已逐渐成为一个作业项目,只作处理或者只作解释的作业项目,在市场上将越来越少。

从计算机和软件环境等方面来看,以下特点是十分明显的:

(1)计算机软、硬件设备必须适应野外采集数据量的猛增。目前一个典型的海上三维作业面积从过去的 500km^2 扩大到 3000km^2 ,甚至高达 5000km^2 ,采集效率由过去的一日 3km^2 上升到一日 25km^2 ,甚至更高,拖缆由过去的2根增加到12根,最多的已达16根;陆上采集数据量也在猛增,特别是目前出现的三维连片处理,其面积也达 1500km^2 以上。数据量的猛增,必须导致计算量的猛增。计算机软、硬件必须适应这种发展趋势。

(2)利用高速卫星通讯和地面 ATM 网络等方式,连接海上地震采集船和陆上地震数据处理解释中心,实现实时交互处理与解释,并对野外数据采集质量实行实时监控,实现实时地震勘探,缩短勘探周期已逐渐成为现实。

(3)新一代地震数据处理系统其结构如下图所示,它应体现开放性、网络化、集成化(一体化)、可视化、并行化等特点。提供开放的系统平台、开放的用户界面、开放的数据结构和文件格式、开放的协议以及开放的客户关系等;提供网络化访问,支持异构平台环境的分布式应用;采用集成的数据管理、公共用户界面、先进的处理和解释功能;可视化技术将广泛应用于数据处理和质量控制;全面支持并行处理,提高计算效率。



地震数据处理系统框架

(4)支持计算机集群技术,特别是 PC-Linux 集群技术。采用这项技术,有利于类似地震数据深度域成像等计算密集型的处理解释项目的运作,大大提高系统的性能价格比,使系统的建立、维护和升级变得更加容易,成本变得更低,有利于提高处理和解释的质量。

在处理技术发展的同时,处理质量的监督控制手段也在不断完善和发展。在处理流程中质量控制点越来越多,采用中间监视掌握和了解每一处理步骤的作用和影响,现在的软硬环境提供了良好的条件,在屏幕上进行观察分析速度很快,成本也低,比采用静电显示方便多了。有一家处理公司利用三维相干数据体切片来监视三维数据处理流程是否合适、偏移速度场是否正确、偏移方法选择是否恰当、处理质量是否符合要求,可见处理质量的监控越来越受到人们的重视。为了保证处理的质量,人们不惜消耗大量的计算机资源,来实现处理质量的监控,这已成为人们的共识。

那么,我们根据什么原则来衡量处理解释工作已达到最佳状态呢?概括起来,可以归纳成以下几个方面:

第一,在确定数据处理方法和技术组合、选择最佳处理流程和处理参数时,是否针对研究目标的先验地质构造模型而言的(方法和参数选择的针对性);

第二,是否在最大市场范围内挑选和收集软硬件工具,是否选择了最好的软硬件搭配,这种选择是否适应解决当前地质问题的策略(软硬件的先进性和解决具体问题的能力);

第三,在数据处理和解释过程中(或者在不同的阶段),所建立的分析过渡模型(或者称为中间过程的工作模型),是否有利于处理分析员对地质问题的理解的加深;

第四,是否建立了和利用了强有力的与先验模型有关的信息反馈联系,根据反馈信息不断地修改工作模型,直到最终成果模型生成为止。

以上我们从整体上列举了四个方面,对于每一个方面我们都可以具体地列出若干条原则。我们可以说,四个方面是普遍适用的,但对于每一个方面的具体原则是有针对性的。因此作为一个数据处理中心的经营者而言,要适时适地地去修改这些原则;而作为用户或者是作为一个处理质量监督人员,要掌握好这些原则,给整个处理工作做出一个合适的评估。

我们经常听到地震数据常规处理技术、目标处理技术、精细处理技术、特殊处理技术等一系列的术语。其实,这是在不同的时、空条件下,解决不同的地质问题所生成的一些术语,从处理技术这个角度上而言,有时是很难分清楚的。所谓常规处理技术,就是当前经常使用的一些技术,它有明确的时间概念,一项技术产生以后,今天可能不属于常规技术,过一年或者几年可能就成为常规技术了;其次它与处理中心的技术状况和技术实力有关,一项技术在某个中心可能是常规技术,而在另一个中心可能就不属于常规技术了。还有一种概念,就是受地区或国家的限定,某一项技术在我国可能是一项常规技术,在国际上可能就不是,或者在我国还不能成为常规技术,而在国际上已成为常规技术了。所谓目标处理技术,就是根据某一具体的地质目标所选定的一些处理技术的组合。具体的地质目标可能是剖面中某几个层位,或者是某一个层位段,或者是空间某一部分,它十分注重目标的处理效果,在选择处理方法和处理参数时,具有很强的针对性,同时要形成配套的技术系列。所谓精细处理技术,顾名思义,工作做得十分精细,主要体现在一些处理参数的确定、迭代运算的精度、处理效果的要求等,不管属于什么性质的处理,工作做得精细总是有好处的,因此这是一个普遍的要求,冠上技术二字有些勉强。所谓特殊处理技术,是相对于常规处理技术而言的,凡是不可列入常规处理技术的内容,均可归入特殊处理范畴。我国在“七五”、“八五”期间,使用这个术语比较平凡,目前比较少用。随着技术的发展与进步,越来越多的处理技术都会纳入常规处理技术,人们对这个术语就越来越淡化了。本书定名为“地震数据精细处理”,是在强调把工作做得精细的同时,十分注重处理与地质解释的结合,处理方法和处理参数选择的针对性,最终突出的是数据处理的地质效果。

随着油气勘探目标越来越复杂,勘探难度越来越大,以及地震数据处理技术的进步与发展,人们对地震数据处理的重要性及其所产生的作用的认识也就越来越清楚;但是,要想把数据处理好,其难度也就越来越大;尽管市场很大,但处理市场的竞争也就越来越激烈。因此,要想在市场竞争中求生存、求发展,只有发展自己的技术,除此之外,没有其它可走的道路。

要做好地震数据处理工作,发展数据处理技术,涉及多个领域,多个学科。有人说,这是一种边缘学科,或者是一种边缘技术,是十分有道理的。因为它的确与多个学科有关系。现在多数人喜欢讲“中心”,强调中心的重要地位和作用,而不太喜欢讲“边”,其实,边上大有文章可作。没有边,何来中心?中心也是从边上量出来的。正因为人们涉足边缘较少,就充满了未知,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。笔者下海办公司,并没有完全去经商,仍然想去探求这个领域的奥妙,渴望获得更丰富的知识。恩格斯在“自然辩证法”中说过:“在分子科学和原子科学的接触点上,物理学家和化学家都承认自己没有能力,然而就正应当在这点上期待最大的成果。”这是笔者多年来的愿望,并以此书的出版作为起步。

正是出于上述思路,笔者选择了本书要讨论的内容。第一章,重点讨论当前常规处理技术如何实现精细处理,提高常规处理数据的精度;第二章,讨论如何实现目标处理的精细处理,重

点是形成针对具体目标的配套处理技术系列;第三章,讨论低信噪比数据的处理方法,重点围绕静校正、叠前压噪和同相叠加三个主要问题,生成一个合适的处理思路;第四章,讨论提高数据分辨率的处理方法,重点是针对陆上数据处理我们需要注意的一些问题;第五章和第六章是围绕当前解释性处理中应用最多的两项技术,波阻抗反演和 AVO 分析技术展开了讨论,一个是零炮检距数据反演,另一个是非零炮检距数据反演。相对来说,前者应用较早,目前使用十分普遍,技术相对较成熟,问题主要集中在前期数据处理和反演成果的正确应用;后者虽然广泛应用较晚,但发展十分迅速,特别是将它应用于 3D 数据处理后,其实用效果更加明显。另外,通过对各种 AVO 属性剖面的进一步处理,使 AVO 分析的应用功能进一步扩大。当前的问题主要是如何排除多解性因素,使解更加可靠。

地震数据处理技术的发展速度是非常迅速的。当今我们选择了上述内容进行讨论,可能是合适的,但过一段时期后就有可能不合适了,这是一种十分正常的现象。因此,我们在读这本书时,重要的是要了解其思路,掌握分析问题和解决问题的方法,其次才是方法的细节和具体的技巧。只有这样,我们才能在数据处理技术高速发展的潮流中,把握住技术发展的方向,而不至于被淘汰出局。这是作者多年来读书的一点体会,并以此作为“绪论”的结束。

第一章 常规处理技术的精细处理

当前,我国地震数据处理主要应用常规处理技术来完成,即使在西部复杂地区,数据处理也仍然使用着常规处理流程。因此,常规数据处理技术的处理质量,就充分反映了数据处理中心的技术水平。由于常规处理技术方法比较成熟,尽管各个处理中心使用的软件版本不同,但方法原理是基本相同的。因此其水平就主要反映在如何把这套常规处理技术应用好,处理工作是否做到了精与细,以及处理人员对地质问题的认识与了解和他处理各种问题的经验上。也就是说

技术水平 = 常规应用技术 + 工作精细 + 处理人员素质

本章将围绕常规处理技术的精细处理展开一些有益的讨论,尽管有些内容可能是经验之谈,没有深奥的理论和数学公式,但它却是非常重要的,并对提高处理质量具有普遍意义。

第一节 常规处理技术流程

在我国,常规处理技术流程可表示如下:

动、静校正→CMP 叠加→时域偏移

这个流程看起来似乎十分简单,但实现起来并不容易,特别是要达到预想的效果,其难度就更大了。但这个流程明确地告诉我们,常规处理技术是由三部分组成的,即叠前处理(动、静校正、压噪等)、叠加、叠后偏移,或者说是围绕着这三个阶段来展开的。

一、动、静校正

一般情况下,静校正在前,动校正是在后,静校正量与激发点和接收点位置有关,与炮检距有关,是随机分布的。作为空间位置的函数曲线,它可分解成低频分量和高频分量,相应的有长波长静校正和短波长静校正。所谓长短波长是相对于排列长度而言的,严格地说是一个 CMP 道集的炮检距范围,基本不影响单个 CMP 道集叠加成像的静校正量分量是长波长分量,严重影响着单个 CMP 道集叠加成像的静校正分量是短波长分量。求静校正量的方法很多,但要做好静校正是一件很不容易的事。特别是对于静校正问题严重的地区,把静校正做完全是十分困难的,它已成为资料处理中的一个难题。

动校正量对于炮检距而言,不是随机分布的,它与速度有关,这个速度通常称为叠加速度,记为 v_s ,或者称为正常时差(NMO)校正速度,记为 v_{NMO} 。与 v_{NMO} 对应的时距曲线是双曲线方程,其形式是

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v_{NMO}^2} \quad (1-1-1)$$

式中, t 为与炮检距 x 相对应的波的传播旅行时间; t_0 是炮检距为零的双程旅行时间。 v_{NMO} 就是根据方程式(1-1-1),采用最大叠加能量原则(叠加速度谱)或最大相似性原则(相关速度谱),对 CMP 道集实际数据进行分析而得到的。这个过程通常我们称为速度分析。

影响动校正叠加效果的因素是很多的,但 v_{NMO} 的精度是很重要的一个因素。 v_{NMO} 的求

取与是否存在静校正量有关,与波形的相似性有关,与噪声存在的分量有关;而且它们还是相互制约的,许多求取静校正量的模型、波形校正的模型、噪声压制的模型都是建立在动校正以后的道集上。动校正没有做好,影响静校正量求取、波形校正和噪声压制的效果。因此,静校正、波形校正、噪声压制、速度分析组成一个循环,通过迭代处理的方式,来达到最佳的处理效果。当前,常规处理流程中,一般只采用静校正与速度分析的迭代过程。

二、CMP 叠加

野外多次覆盖观测的效果,是通过 CMP 叠加来体现的。CMP 叠加是当今压制噪声、提高信噪比(S/N)最有效的方法,也是最基本的方法。如果能实现各道的同相叠加(时间对齐、波形一致),信噪比可以提高 \sqrt{N} 倍, N 为覆盖次数。由于很难做到同相叠加, \sqrt{N} 倍就成为一个理想指标,实际工作中是很难达到的。

一个 CMP 道集,包括许多炮检距道,动校正以后期望都校正成为零炮检距道,达到时间对齐从而可以叠加。但动校正公式是基于水平层状介质模型,尽管可以进行各种各样的修正,但与实际模型仍有较大差距,因此也就不能达到动校正后时间对齐的目的。为此,人们在 CMP 叠加的基础上,也就是说在 NMO 校正以后,再求取剩余动校正量,进一步进行校正,来达到时间对齐的目的。高精度相干叠加^[1]方法就是众多方法中的一个例子。

波形一致是指参与叠加的各道信号波形基本一致,它包括三个因素:振幅、频率和相位。由于多种因素,特别是噪声的影响,使参与叠加的各道信号的振幅、频率、相位发生了变化,产生了较大的差别。我们必须在叠加之前对信号的振幅、频率、相位进行校正,以求得大致相同。这就是我们平常说的叠前处理。由此可见,各种各样的叠前处理,其目的是要努力实现同相叠加,以达到最好的 CMP 叠加效果。

改善 CMP 叠加效果除了努力实现同相叠加以外,还可以从叠加本身出发,来改善叠加效果。各种形式的加权叠加^[1],可以从不同的角度上来改善其叠加效果,例如当前常用的选择炮检距叠加,实际上就是一种加权叠加,因为不参与叠加的炮检距道可以认为它的权系数等于零。中值叠加^[1]实际上是一种非线性处理方法,针对某种特殊问题会产生特定的效果。倾角时差校正(DMO)叠加,又称叠前部分时间偏移,是针对倾斜界面如何生成一个零炮检距道推导出来的,其处理效果是十分明显的^[1],目前已成为常规处理技术,取代了常规处理流程中的 CMP 叠加技术。实现 DMO 处理的方法很多,目前常用应当是时空域的反射点扫描叠加。

三、偏移

经过 CMP 叠加或者是 DMO 叠加处理,生成的叠加道被认定为是一个零炮检距道。常规处理流程中的偏移,实际上是指叠后的零炮检距道时间偏移。其几何解释是,对于二维而言,以道的空间位置为圆心,以单程旅行时间为半径画一系列的圆,圆的公切线就是反射界面;对于三维而言,就是画一系列的球面,其公切面就是反射界面。

常规处理技术中的偏移只能是近似的,不可能达到“精细”二字。首先,零炮检距道的生成是近似的,DMO 可以生成真正的零炮检距道,但大多数 DMO 方法应用了常速空间的假设;其次偏移算法也采用了均匀介质的假设,这本身就会产生误差。那么,对于常规处理中的偏移而言,又怎样去体现精细二字呢?这就要从偏移策略、偏移算法、偏移参数、偏移速度、输入数据质量等方面来考虑^[2],而最重要的是偏移速度的确定。分析的依据是偏移以后的数据,剖面中的最大倾角是否偏移到位,剖面中有没有明显的过偏移和偏移不足的现象,偏移画弧有没有

影响到有效信息的偏移成像。由于这些分析都是针对偏移以后的数据来进行的,是事后诸葛亮的作法,这就意味着要进行多次偏移处理。

偏移归位处理要实现“精细”二字,是要进行三维叠前深度偏移,但这项技术已超出我国当前常规处理技术的范围,在这里我们就不去讨论了。

第二节 常规技术精细处理的检测标准

上一节我们围绕常规处理技术的三个环节展开了一些讨论,那么在日常生产中我们用什么样的方法或者说什么样的标准来检查我们的常规处理技术是否达到了精细处理的标准。这就是我们这一节所有讨论的内容。

首先,我们要排除处理过程中一切不应该发生的错误的产生。例如,磁带号弄错了,观测系统定义错了,炮点和检波点的位置和高程弄错了,处理的地质目标和任务理解错了等等。所有这些,如果有一个严细的工作态度就可以得到解决。那么,在技术上又可以采用什么样的准则来检查呢?我们大致可以归纳成以下 10 条准则。

一、坏炮、坏道 100% 的剔除

所谓坏炮、坏道,往往数据的幅度要比正常信号的幅度大 2~3 个数量级以上,用覆盖次数叠加的方法是没有办法消除其影响的,只有把它剔除。即使只有一个坏的采样点,它的影响也决不局限于一个点上。纵向上可能影响到一个处理时窗长度,横向上可能影响到一个排列长度,或者一个偏移孔径范围,危害是极大的。精细处理必须达到 100% 的剔除。

在过去批量作业方式时,处理员根据仪器班报提示用静电纸显示所有的炮或者部分炮,然后进行人工挑选,在一段时期这项工作是做得很不错的。现在几乎都采用人机交互处理方式,处理员在荧光屏上浏览炮记录,监视坏炮道。如果思想上不重视,就很难保证把这项工作做好。

二、切除参数定义合理

同样,初至破碎带信号幅度要比正常信号幅度大得多,我们必须把它切掉,否则将在后续处理中留下祸根,产生祸患。初至波近道可能是直达波。随着炮检距的增大,波的类型会发生变化,常见的是近地表的折射波,还会出现多个界面的折射波,甚至还会有多次折射波;当地形十分复杂时,还会出现其它类型的波。这时,初至不一定形成破碎带,简单地定义为初至到达后 100~200ms(破碎带长度)切除掉,显然是不合理的。一般情况下,直达波的能量较大,它可能出现在初至以后很长一段时间,与其它信号产生干涉,如何切除是个问题。另外,动校正拉伸畸变,信号严重失真,通常也只有通过切除来解决。有些干扰波,能量很强,成片成带分布,有时也要用切除来解决。所有这些,都说明切除参数是很难确定的,不能简单处理。切除是要损失覆盖次数的,不是切除越多越好。因此,切除参数的确定,既要精,又要细,不能简单确定。在常规处理技术的精细处理中,它占有一定的位置。

三、静校正量幅度控制收敛到一个处理采样间隔

常规处理技术中,做好静校正占有极其重要的位置。检查静校正量是否完全,一般应以反射波自动剩余静校正程序求出的静校正量最终迭代收敛到一个采样间隔范围以内作为标准,

即 4ms 处理最后一次迭代算出的校正量幅度应控制在 $\pm 4\text{ms}$ 之间;2ms 处理控制在 $\pm 2\text{ms}$ 之间。分析人员通常借用剖面的叠加成像效果以及同相轴的连续光滑程度来判断静校正量是否完全,这是一种定性的判断。如果要做到精细处理,就必须对静校正量估算有一个量的概念。我们可以从自动剩余静校正处理程序输出列表中,找到每一次迭代后算出的静校正量,随着迭代次数的上升,估算出的静校正量幅度逐渐减小,达到精细,其幅度应小于一个采样间隔。处理采样间隔越小,说明要求处理的精度越高,对静校正量的估算精度要求越高。因此,以处理采样间隔来衡量静校正工作是否达到了精细处理的程度,是有其道理的,也是可以实际操作的。

四、叠加速度参数 NMO 校正后最大剩余时差小于 1/4 视周期

所谓精细处理,除了静校正以外,就是仔细地分析和拾取叠加速度。很多剖面重新处理后质量有了明显的提高,实际上就是在叠加速度上做文章。处理工作的精细,在很大程度上是看速度分析工作是否做到精细。衡量的标准是 CMP 道集经 NMO 校正后同相轴是否校平,最大动校剩余时差应小于 1/4 个视周期,它应出现在离动校拉伸畸变切除区最近的一个道上。如果信噪比太低,可采用理论合成拟合的双曲线来估算,因此这个标准也是可以实际操作的。

五、叠前道集数据信噪比应力争大于 1

常规处理技术应包括叠前数据压噪技术的应用。一般地区,原始数据经简单的去面波处理后,信噪比就有可能大于 1;对于低信噪比数据地区,情况就不是这样,只有经过一系列的压噪处理后,才能见到有效信号同相轴,信噪比才可能大于 1。因此,信噪比力争大于 1,是对低信噪比地区数据而言的,是一个低标准;对于一般地区,处理工作的精细应体现在原有数据信噪比的基础之上至少提高一倍。

六、叠前各炮检距道信号波形基本相似

上一节已提到,产生最好的叠加效果是要实现同相叠加。动、静校正主要是时间对齐,波形一致主要是通过振幅、频率、相位补偿与校正等处理来实现。要做到精细处理,必须实现各炮检距道上信号波形基本相似。具体操作时,除了通过道集放大比例显示视觉定性分析以外,还可以对远近道作频谱分析对比,通过分析频谱的形状、频宽、主频等参数,来确定波形的相似程度。

七、叠加剖面上没有明显的规则干扰

如果在叠加剖面上存在着明显的规则干扰,说明叠前压噪处理还不够精细,因此有必要重新回到叠前道集上进行有针对性的处理,重新进行叠加,直到规则干扰基本得到压制为止。叠后压噪可以提高数据的信噪比,但作为常规处理技术的精细处理,不应把主要精力放在叠后压噪处理上。叠加剖面上是否存在明显的规则干扰,是检查叠前噪声压制处理是否达到精细程度的一个重要标志。

八、叠加剖面上主要目的层是否齐全

常规处理技术精细处理的目的是要利用常规处理技术的精细加工,取得良好的剖面效果,完成处理的地质任务。当一般性地应用常规处理技术主要目的层不能全部成像时,通过精