

复杂地区静校正

方 法 探 索

Discussion on Static Correction
Method in Complex Area

潘树林 尚新民 吴 波 崔庆辉 / 编著



科学出版社

复杂地区静校正方法探索

潘树林 尚新民 吴 波 崔庆辉 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍地震资料静校正处理中涉及的各种问题和方法,包括静校正的一般概念、初至拾取方法、折射波静校正、反射波静校正以及转换波资料的静校正;另外还介绍目前静校正方法中地表一致性假设存在的问题,并叙述波动方程延拓静校正方法。

本书可供石油、地质、矿业等高等院校相关专业本科及硕士研究生学习参考,还可以作为从事石油及天然气勘探、煤田勘探、工程物探等领域的工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

复杂地区静校正方法探索 / 潘树林等编著. —北京: 科学出版社, 2018.4
ISBN 978-7-03-056681-2

I. ①复… II. ①潘… III. ①复杂地层-地震数据-静校正-研究
IV. ①P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 042292 号

责任编辑: 罗 莉 / 责任校对: 王 彭
责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 4 月第一次印刷 印张: 9 1/2

字数: 225 264

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

复杂近地表区静校正处理是陆上地震资料处理的一个关键问题,静校正水平的高低直接影响后期资料成像的质量。静校正问题的复杂性被相关专业的广大专家学者关注,对静校正方法的研究也从来没有间断过。本书主要介绍静校正处理过程中涉及的问题和方法。希望通过本书的介绍,读者可以快速了解静校正工作中的主要方法原理,并对目前静校正处理中存在的问题有一个更清晰的认识,从而对学习、科研及生产有所帮助。

本书第1章介绍静校正方法的基本概念和存在的问题;第2章介绍与初至波相关的静校正方法,详细介绍初至波自动拾取方法和折射波静校正、层析静校正、折射波剩余静校正;第3章介绍反射波剩余静校正涉及的方法和存在的问题,并提出一些解决方案;第4章介绍转换波静校正方法的进展;第5章介绍地表一致性静校正方法存在的问题,并对波动方程延拓静校正方法原理及应用实例进行论述;第6章对静校正方法的发展趋势做探讨。

本书内容参考了国内外很多专家学者的专著及文献,部分内容收集了笔者之前发表、出版的论文及教材,书中所用图件大多来自近几年的科研合作项目,在此对中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石化胜利油田物探研究院、中国石化西南油气田分公司、中国石油集团川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司等合作单位提供的宝贵的实际数据表示感谢。在本书的编辑过程中,研究生李晨光、秦子雨、杨连刚、赵东、闫柯、程祎、曹亮等做了大量文稿校正工作,修正了文稿中的一些错误,在这里对他们的工作表示感谢。本书由成都理工大学的周熙襄教授审阅,在此对周教授给本书提出的宝贵意见表示由衷的感谢。

笔者自2002年开始接触静校正问题,在周熙襄教授、钟本善教授的悉心指导下从最基本的静校正问题开始进行研究。周熙襄教授作为我硕士、博士研究生的第一导师,在我整个研究生阶段给予了我很大的帮助。他对学问一丝不苟、事必躬亲,对自己严格要求、对他人宽容大方,在学问上耐心指导,在为人上以身作则。周教授对我在专业研究和生活上的帮助让我终生难忘。我在研究工作中也先后得到了李辉峰、邹强、王克斌、詹毅、李晶、邓飞、彭文、王振国等诸多师兄师姐的帮助。特别感谢李辉峰教授在我学习、研究过程中对我的帮助。参加工作后有幸和尹成教授、徐峰教授合作继续进行静校正方面的研究工作,与崔庆辉、吴波共同进行研究的過程至今记忆犹新。在静校正方法的研究过程中,得到了他们的很多指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有所遗漏和不妥之处,恳请同行和读者给予批评指正。

潘树林

2017年9月

目 录

第 1 章 认识静校正	1
1.1 静校正在地震资料数据处理中的地位	1
1.2 与静校正相关的概念及静校正分类	2
1.2.1 与静校正相关的概念	2
1.2.2 静校正分类	2
1.2.3 地表一致性假设	5
1.3 地表一致性假设条件存在的问题	5
1.4 野外（一次）静校正	7
1.4.1 井深校正	7
1.4.2 地形校正量	8
1.4.3 低速带校正量	9
1.4.4 野外（一次）静校正值	9
1.5 小结	9
第 2 章 基于初至波的静校正方法	10
2.1 初至波自动拾取方法	10
2.1.1 能量比值法	11
2.1.2 约束初至拾取法	11
2.1.3 神经网络法	12
2.1.4 基于边缘检测和边界追踪的初至波自动拾取方法	13
2.2 基于初至波的静校正方法概况	21
2.2.1 折射波静校正	21
2.2.2 延迟时静校正	25
2.2.3 层析静校正	34
2.2.4 基于折射波的剩余静校正方法	36
2.3 小结	42
第 3 章 反射波剩余静校正方法	43
3.1 反射波静校正方法相关概念	43
3.1.1 基本概念	43
3.1.2 基本方程及约束条件	44
3.2 自动统计剩余静校正	45
3.2.1 在 CMP 道集内求取相对剩余静校正量	46
3.2.2 用统计分离法计算绝对剩余静校正量	47

3.3 基于最大能量理论的反射波静校正方法	50
3.3.1 常规最大能量法及其存在的问题	50
3.3.2 针对最大能量法的若干改进	52
3.4 基于最优化理论的反射波静校正方法	55
3.4.1 模拟退火算法和遗传算法原理简介	55
3.4.2 混合优化算法	63
3.4.3 全局优化算法在剩余静校正问题中的运用	66
3.5 多域反射波静校正理论	68
3.5.1 共炮检点剩余静校正方法	68
3.5.2 共炮检距剩余静校正方法	73
3.6 非地表一致性反射波静校正	74
3.7 小结	75
第4章 转换波静校正	76
4.1 转换波共检波点叠加道相关法	76
4.1.1 共接收点道集相干法算法原理	77
4.1.2 改进的共接收点叠加道集相干法	77
4.1.3 理论数据试验	81
4.2 转换波初至及拾取方法研究	83
4.2.1 转换波的折射时距方程	84
4.2.2 转换波初至的定义	91
4.2.3 叠加法确定转换波初至	92
4.3 转换波折射静校正算法	96
4.4 小结	99
第5章 波动方程延拓静校正	101
5.1 静校正的基本假设条件及存在的问题	101
5.1.1 水平层状介质地表非一致性理论	101
5.1.2 典型模型分析	105
5.2 波场延拓理论基础	110
5.2.1 裂步傅里叶 (SSF) 方法	111
5.2.2 傅里叶有限差分 (FFD) 方法	113
5.2.3 波动方程延拓静校正步骤	116
5.2.4 理论及实际数据验证	118
5.3 小结	125
第6章 静校正方法展望	126
6.1 多时窗旅行时分解静校正方法	126
6.1.1 方法原理	126
6.1.2 实际应用	129
6.1.3 小结	131

6.2 静校正效果的评价.....	131
6.2.1 静校正评价方法发展现状.....	131
6.2.2 基于速度谱的静校正评价方法	132
6.3 小结.....	139
参考文献.....	140

第 1 章 认识静校正

1.1 静校正在地震资料数据处理中的地位

著名地球物理学家 C. H. Dix 教授说：“解决好静校正就等于解决了地震勘探中几乎一半的问题。”这就要求我们要做好地震资料的静校正处理，静校正是地震勘探的敲门砖，静校正精度的高低对地震成像的质量有直接的影响。

具体来讲，主要反映在如下几个方面。第一，静校正问题严重影响着剖面的成像质量；第二，静校正问题也会影响到资料的分辨率；第三，静校正问题还会影响到构造的准确性；第四，静校正工作复杂，需要长期研究。

图 1-1 说明了静校正量对叠加成像的影响。图 1-1 (a) 为没有进行静校正处理的反射点叠加记录，由于各道受静校正影响，叠加不能聚焦，获得的叠加剖面分辨率和信噪比较低。图 1-1 (b) 为经过静校正处理后的叠加记录，由于消除了静校正的影响，各道反射时间一致，波形同相叠加，能量聚焦，获得的叠加剖面分辨率和信噪比明显高于静校正前的叠加结果。

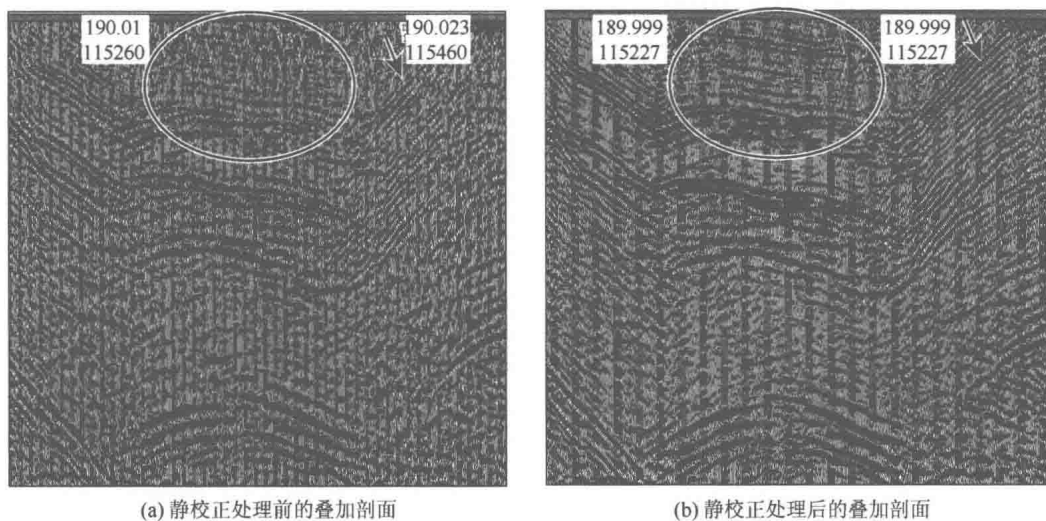


图 1-1 静校正处理前后的叠加剖面

图 1-2 展示了静校正对反射波构造形态的影响。图 1-2 (a) 为模拟地表和反射层的起伏情况，图 1-2 (b) 为图 1-2 (a) 模型下获得的零炮检距反射剖面。从图 1-2 中可以看出，静校正对反射信号有较大的影响，如水平反射层 2，在存在静校正量的时间剖面上产生了虚假构造形态。

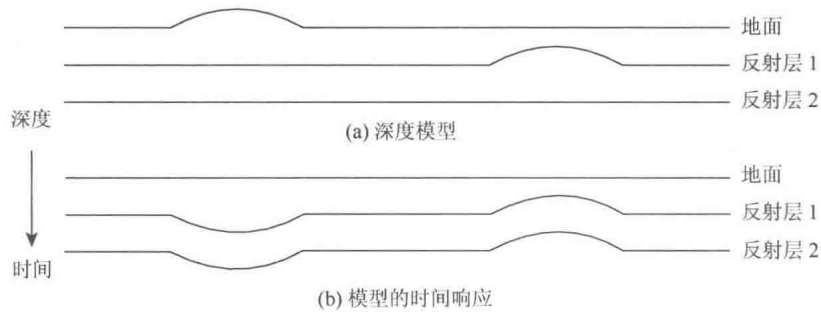


图 1-2 模型的深度与时间响应

1.2 与静校正相关的概念及静校正分类

1.2.1 与静校正相关的概念

几何地震学的理论假设是：观测面是一个水平面，地下介质为均匀层状介质，这时反射波的时距曲线为光滑的双曲线。但陆地勘探的实际情况却是：表层条件往往很复杂，观测面通常是起伏不平的，并且表层低速带的速度和厚度又是横向变化的，这样会造成地震波传播时间的不同延迟。因此，实际观测得到的反射波到达时间，并不是理论上的双曲线，而是一条畸变了的双曲线。静校正就是研究由于地形起伏、地表低速带横向变化对地震波传播的影响，并对其进行校正，使反射波时距曲线恢复为一条光滑的双曲线。

根据静校正的作用，Sheriff（谢里夫）在《勘探地球物理百科词典》中明确给出了静校正的定义：对地震资料所做的校正，用于补偿由高程、风化层厚度以及风化层速度产生的影响，把资料校正到一个指定的基准面上。其目的通常是获得在一个平面上进行采集，且没有风化层或低速介质存在时的反射波到达时。

在静校正中使用的基准面通常是一个水平的基准面。这样做是希望在静校正后，炮点和检波点都被校正到同一个水平面上，叠加后的同相轴的形态能够比较接近地下速度界面真实的形态。

实际上地表一致性静校正量与真实的静校正量的偏差与基准面的位置有关：基准面与炮点或检波点的高差越大，则该点处的静校正量与真实静校正量的差别就越大。而在山区，地形的起伏很大，同一条测线甚至同一炮集内，地形的起伏可能达到几百米到一两千米。若选择同一水平基准面，不管基准面在何处，都会有炮点或检波点与它存在较大的高差，地表一致性假设造成的静校正误差就很难消除。因此，使用一个随地形起伏的弯曲基准面能够使这种状况得到改善。这个起伏的基准面叫作浮动基准面（图 1-3）。

1.2.2 静校正分类

静校正是提高叠加剖面信噪比和垂向分辨率的一项关键技术。静校正可以分成很多不同的方法。目前，对地表复杂的地震资料，联合应用多种静校正方法，取得了较好的静校正效果。

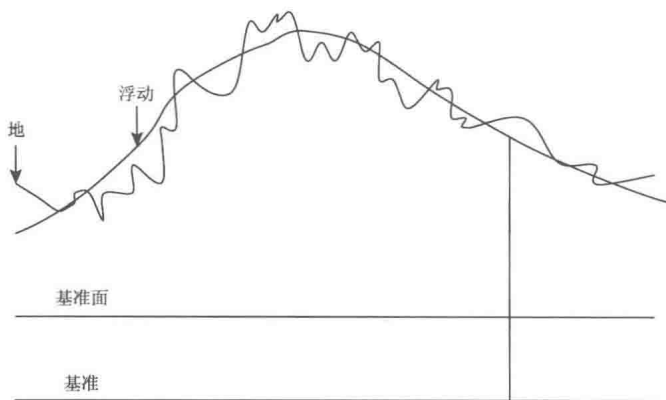


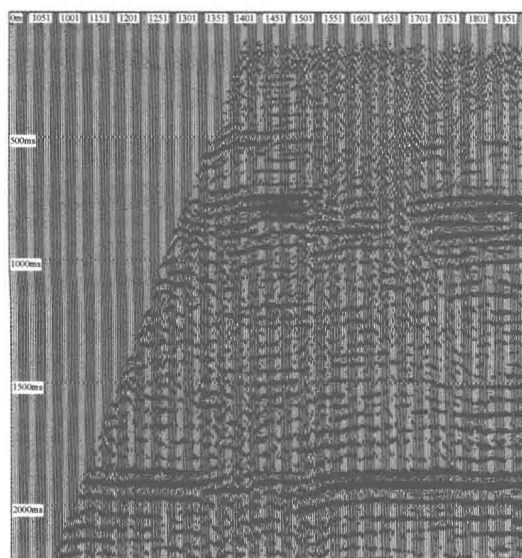
图 1-3 基准面示意图

1. 地表模型的一致性与非一致性

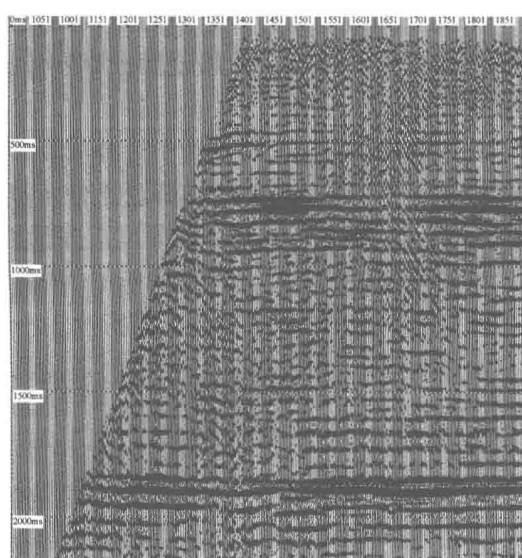
对于一致性的地表模型 [图 1-4 (a)], 上地层的速度与下地层的速度差异明显 (由低到高), 根据斯奈尔定律, 同一接收点道集的所有地震波经过低速带时, 几乎沿着同一条路径、同一个方向 (近似垂直地面) 到达同一个接收点。

在共接收点道集内, 接收点引起的各道的静校正量大小基本相同; 在共激发点道集内, 激发点引起的各道的静校正量大小也基本相同。一个地震道的静校正与一个激发点和一个接收点有关, 它的静校正是激发点的静校正量和接收点的静校正量的总和。目前的静校正方法主要是基于地表一致性假设条件下提出的。

对于非一致性的地表模型 [图 1-4 (b)], 道集各道的地震波传播路径有差异, 接收点或激发点引起的静校正量不相同, 引发了静校正不“静”的问题。波动方程延拓静校正是解决非地表一致性静校正问题的有效方法。



(a) 地表一致性静校正方法叠加剖面



(b) 非地表一致性静校正方法叠加剖面

图 1-4 地表与非地表一致性静校正方法地表的剖面

2. 基准面静校正与剩余静校正

基准面静校正至关重要，当基准面静校正准确时，叠加剖面不仅信噪比高，构造形态比较真实，而且能提供高质量的模型道，使反射波剩余静校正与速度分析相结合的多次迭代过程能够取得好的效果（图 1-5）。

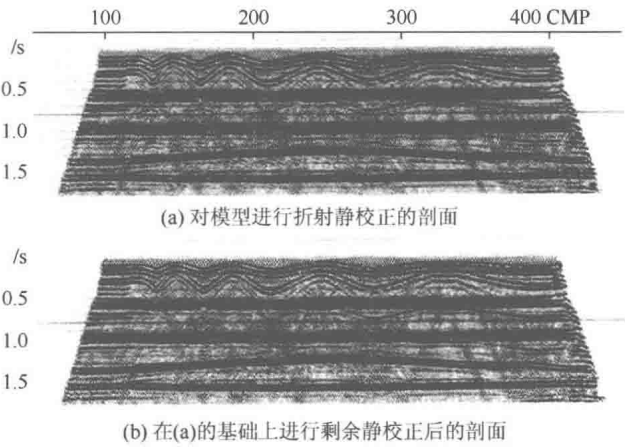


图 1-5 校正剖面

基准面静校正可以利用野外测量获得的近地表速度-厚度信息，也可以使用室内通过初至波进行反演获得的近地表速度-厚度结构信息进行计算。剩余静校正量通常是从地震记录的初至波，或者地下反射波的信息中求得。

3. 长短波长静校正

激发点和接收点静校正量的空间变化形状是一条曲线，可把静校正量分解成高频分量和低频分量两部分。低频分量被称为长波长静校正分量，高频分量被称为短波长静校正分量。

长、短波长的划分是相对于野外观测排列的长度而言的，静校正分量周期变化的波长长度大于一个排列长度时，该静校正分量被称为长波长分量；静校正分量周期变化的波长长度小于一个排列长度时，该静校正分量被称为短波长分量。

短波长分量的存在会严重影响 CDP 叠加的效果。长波长分量的存在会影响反射波同相轴的形态，对 CDP 叠加效果的影响并不十分明显。静校正的长波长分量不易被发现，更是难以消除。

4. 应用静校正量的约定

通常，应用静校正量就是从地震道的记录时间中减去校正量值。正的校正量相当于时间零线向下移动，或者说时间值减少，记录向上移动；负的校正量相当于时间零线向上移动，或者说时间值增大，记录向下移动。有的处理系统对应用静校正量存在不同的约定。

1.2.3 地表一致性假设

表层因素的影响不仅造成地震波传播的时间异常,而且也类似一个滤波器影响到地震波的波形。因此,严格地说,消除表层因素的影响包括基准面静校正、剩余静校正、振幅校正和常相位校正。但是,人们为了静校正研究及其计算过程的方便,常常做如下的基本假设:

(1) 时间一致性。对于某道记录的所有反射波,地表因素的影响是时不变的。

(2) 地表一致性。地表因素对某一特定位置的影响保持恒定,即与地震波的传播路径无关。

(3) 剩余静校正量是随机的。各炮点、各接收点剩余静校正量是随机的,即它们的均值为零。

(4) 要做剩余静校正的地震道都已经进行了野外静校正和滤波处理,球面扩散补偿、动校正和常相位校正是准确的。

以上这些假设条件统称为地表一致性假设(Taner, 2012),虽然这些假设有一定的局限性,但对于一般静校正问题往往还是恰当的。假设中的(3)和(4)是针对剩余静校正而言的。

该假设成立的条件是:低速带速度较低、炮检距较小、地表起伏较小、风化层厚度较薄。图1-6为低速带的速度远远小于基岩速度,地震波在低速带内垂直传播,致使在一道记录中所有采样点的静校正值都相同的示意图。

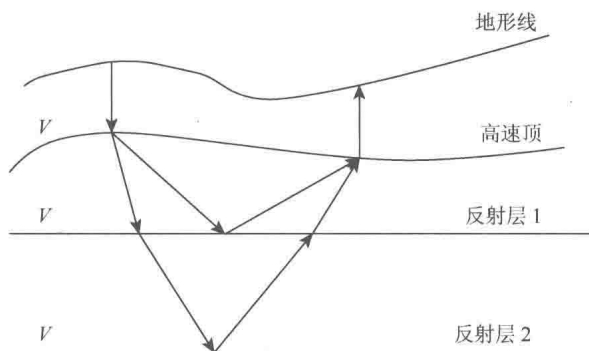


图 1-6 地表一致性示意图

1.3 地表一致性假设条件存在的问题

地表一致性假设条件大大简化了静校正量的计算。目前生产中使用的几乎所有静校正方法都是基于地表一致性假设的。但我们必须清楚,在很多复杂地表地区,地表一致性假设存在很大的问题。随着地震勘探范围的不断扩大,在地震资料处理中会遇到越来越多的非地表一致性问题。出现这种问题的原因如下。

1. 低速带速度较高

地表一致性假设的核心在于近地表低速带速度远远小于地下反射层的速度,因而认为地震波在低速带中的传播路径都是垂直的或者近似于垂直的。而当近地表低速带速度与地下反射层的速度相差不是非常大时,地震波在低速带内的传播路径将不再是垂直的,而是倾斜的,即使是同一个检波点,它接收到的来自不同反射层的地震波在低速层中的传播路径也不再是相同的。因此,这就使同一检波点接收到的来自不同反射层的反射波应该有不同静校正量,即使同一反射层的反射波也会因为炮检距的不同而具有不同的静校正量。

2. 巨厚的低速带

在新疆的沙漠地区和鄂尔多斯的黄土塬地区,潜水面深度或者低速带的厚度非常大,有时能达到几百米。由于地震波在低速带中传播的路径很长,两条入射角度相差很小的地震射线在经过如此长距离的传播后,其旅行时也会因为路径的不同发生较大的偏差。当利用折射初至计算静校正量时,由于折射角和来自地层的反射波在进入低速层时入射角度不同,因而两者在低速带中的射线传播路径长度差异就比较大,旅行时的差异也会较大。这种情况下,根据初至折射时间计算的静校正量用于反射波的校正,就无法完全消除低速带对反射波旅行时的影响。

3. 基岩出露

在山区,基岩出露地表是很常见的地质现象,但这会为静校正工作带来很大的不便。基岩出露使近地表地层的速度远远高于地下反射地层的速度,因此地震波到达检波点时的传播路径差异也会比较大,在某些极端情况下甚至会出现射线接近水平的现象。这与地表一致性静校正时的核心假设(地震波射线比较接近垂直入射的情况)是不吻合的。基岩出露的另一个影响是使初至波的成因更加复杂化,这时检波器接收到的初至波可能是折射波,也可能是反射波,甚至可能是直达波,这就会给以后的地震资料处理带来很多麻烦。而常用的静校正方法中,很多是基于折射波计算静校正量的,有的方法还要求存在稳定的折射层,基岩出露地表会使这些方法失效。

4. 地形起伏

地形的大幅度起伏,例如在构造运动强烈的地区,会使静校正基准面的选取成为一个大问题,因为不管基准面选在何处,都会与一些检波点或者炮点存在很大的高差。存在很大的高差就与地表一致性的理论不符合,而且这种高差对静校正的影响与前面提到的巨厚的低速带对静校正的影响很相似,都会使静校正后的地震波波场与实际的情况相差甚远(图 1-7)。

在这些复杂的地质条件下,我们仍习惯用基于地表一致性假设所计算出的静校正量来进行静校正处理,这将会造成较大的非地表一致性静校正误差。关于地表一致性假设造成的静校正计算问题,在后面的章节会进行专门的讨论。

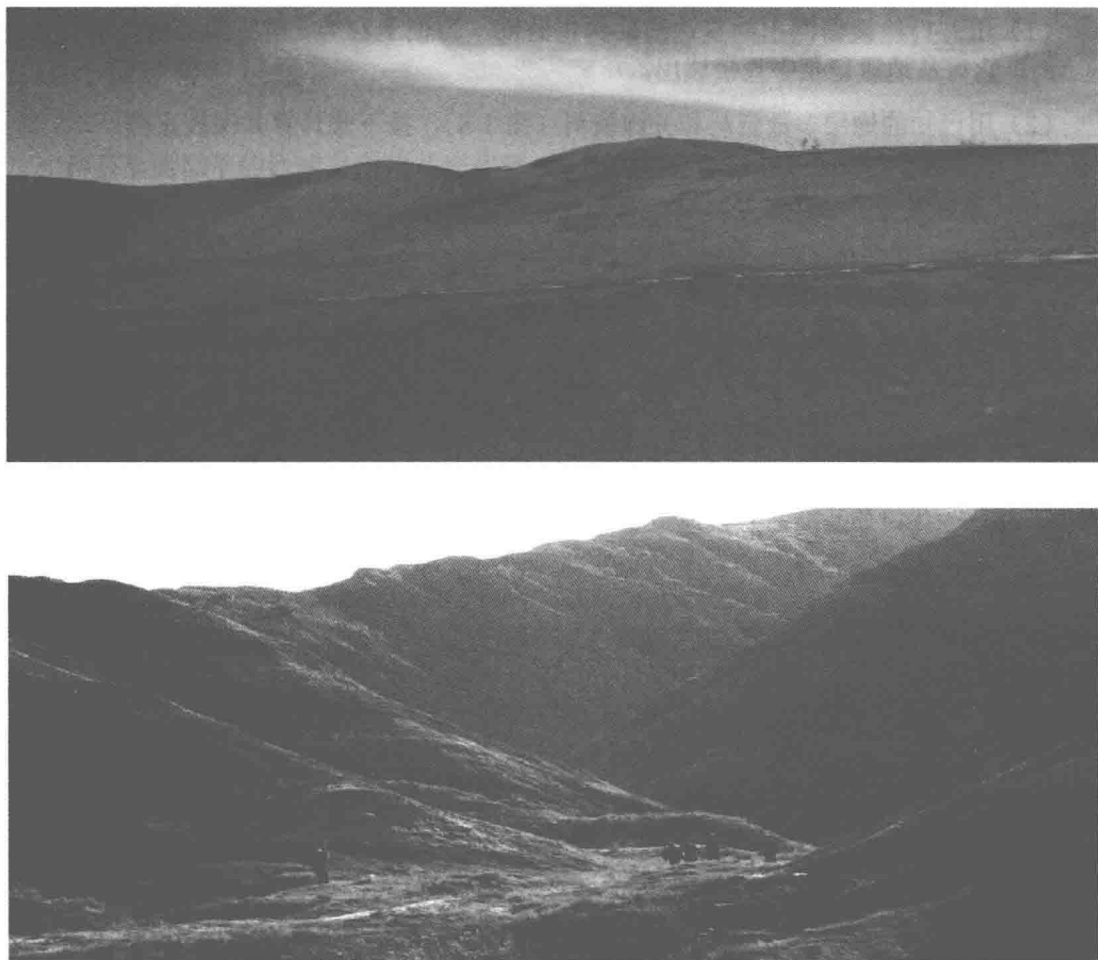


图 1-7 不符合地表一致性静校正条件的典型地表

1.4 野外（一次）静校正

野外（一次）静校正属于基准面静校正，是典型的地表一致性静校正计算方法。在计算静校正值时要任意选定一个海拔高程作为基准线（面），将所有的炮点和接收点校正到这个基准面上，用基岩速度替代低、降速带的速度，把由于低、降速带引起的时间延迟消除。野外（一次）静校正一般包括井深校正、地形校正和低速带校正。

1.4.1 井深校正

井深校正的目的是把爆炸点校正到基准面上来，在实际工作中实现的方法有两种：一种是把爆炸点直接校正到基准面上来，用这种方法求出的井深校正值有正有负，另一种是把爆炸点首先校正到地面，然后把它当作接收点，再与其他接收点一起校正到基准面上，用这种方法求出的井深校正值永远为负。地震波从井底垂直向上传播到地表的时间 $\Delta\tau_j$ ，即井深校正量，其求取方法有两种。

(1) 用井口检波器测出的直达波的传播时间（习惯上称为 τ 值）即可作为井深校正正值 $\Delta\tau_j$ ，它可从地震记录中直接读出。

(2) 用已知的地层参数资料和井深资料（图 1-8），按下式计算井深校正正值：

$$\Delta\tau_j = - \left[\frac{1}{v_0}(h_0 + h_j) + \frac{1}{v}h \right] \quad (1-1)$$

式中， v_0 ——低速带的速度，m/s；

v ——基岩速度，m/s；

$h_0 + h_j$ ——炮井中低速带的厚度，m；

h ——基岩中炸药的埋置深度，m；

h_0 ——井口到基准面的垂直距离，m；

h_j ——井口处基准面到低速带底部的厚度，m。

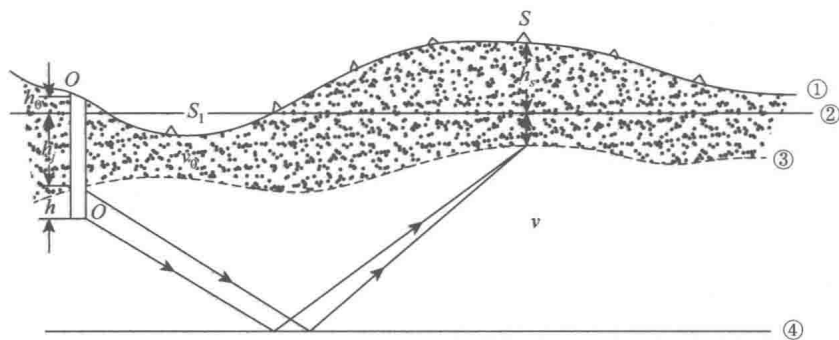


图 1-8 表层参数物理示意图

①地形线；②基准面；③基岩顶面；④反射界面

1.4.2 地形校正量

井深校正后，将已校正到地表面的炮点和检波点都沿垂直方向校正到基准面上。由于静校正过程中，习惯上是把静校正值从观测时间中减掉，故一般规定观测点的位置高于基准面时的校正值为正，低于时为负。某炮某记录道的校正值应等于炮点和接收点地形校正值之代数和。如图 1-8 中炮点 O 和接收点 S 的地形校正值可按下式计算：

$$\Delta\tau_{j,l} = \frac{1}{v_0}(h_0 + h_s) \quad (1-2)$$

式中， j ——炮点序号；

l ——检波点序号。

在实际处理中，不同的系统对静校正量符号的规定也不相同，如 CGG 处理系统和 Omega 处理系统符号的规定相反。在应用静校正量的时候，必须搞清符号的意义。

1.4.3 低速带校正量

将基准面以下的低速岩层用基岩代替,这将因速度不同而产生时差,这个时差就是低速带校正值。某道记录的低速带校正值等于炮点和接收点低速带校正值之代数和:

$$\Delta\tau'_{j,l} = h_j \left(\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v} \right) + h_l \left(\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v} \right) \quad (1-3)$$

由于低速带的影响是使反射时间增加,静校正时是把这个增加的时间从观测时间中减掉。故低速带校正值永远为正。

1.4.4 野外(一次)静校正值

野外(一次)静校正值为井深、地形、低速带校正值的代数和:

$$\Delta t_{\text{静}} = \Delta\tau_j + \Delta\tau_{j,l} + \Delta\tau'_{j,l} \quad (1-4)$$

静校正时是将 $\Delta t_{\text{静}}$ 从记录的观测时间中减去,即

$$t_{\text{校后}} = t_{\text{校前}} - \Delta t_{\text{静}} \quad (1-5)$$

式中, $t_{\text{校前}}$ ——静校正前记录的观测时间, s;

$t_{\text{校后}}$ ——静校正后记录的观测时间, s。

1.5 小 结

静校正处理作为地震资料常规处理方法中的一个重要环节,在实际处理中占有重要位置。按照不同的分类方法,静校正方法可以分成很多种。本章对静校正的基本概念和涉及的基本问题进行了说明。在静校正的过程中,地表一致性假设是目前常用方法的基础,也是静校正存在问题的根源。所有的基准面静校正方法都可以归结为求取近地表速度-厚度模型,然后使用模型计算野外静校正量。因此,折射、层析、野外一次静校正其实都属于基准面静校正处理方法。而由于模型计算不准确造成的静校正误差,就只能留到剩余静校正方法中进行了。

第2章 基于初至波的静校正方法

地震记录中的初至波通常由直达波、折射波和回转波组成（图 2-1）。在这些波中包含近地表的速度与厚度信息。目前，生产中通常需要对地震记录进行初至波拾取，然后利用初至波进行近地表结构的反演，根据反演结果计算静校正量。本章主要介绍生产中应用效果较好的初至波自动拾取方法、折射波静校正方法、层析反演方法以及基于初至的剩余静校正方法。

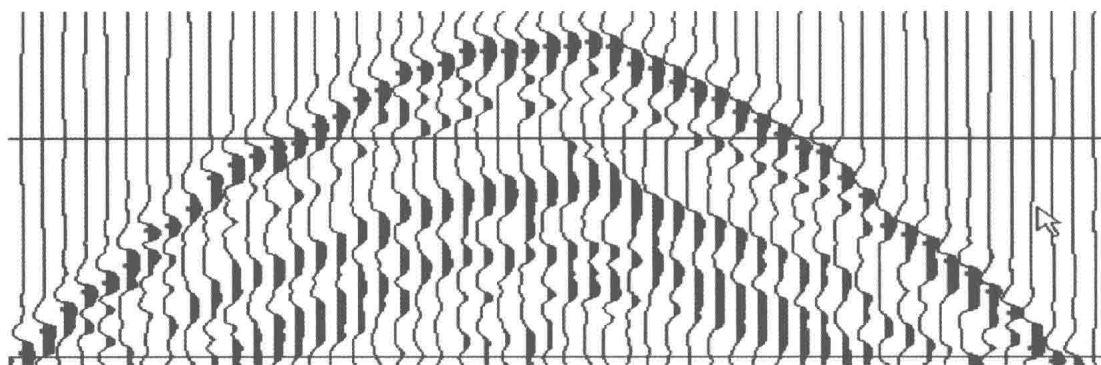


图 2-1 典型初至示意图

2.1 初至波自动拾取方法

初至波通常指由炮点激发的，最先到达接收点的地震信号。初至波的来源很广泛，几乎涵盖了所有种类的地震波，包括直达波、反射波、折射波、绕射波、回折波等。由于在到达同一点的地震信号中，初至波的传播时间最短，能量通常较强，因此是地震信号中最容易识别的信号之一。

初至拾取从大的方向来分可以分为手工拾取方法和自动拾取方法。手工拾取可以得到高精度的初至到达时间，但是费事费力，在数据量较大时会对实际生产工期造成较大的影响。自动拾取方法人工干预较少，可以高效地进行初至波的自动拾取。在信噪比较高的地区，目前的自动拾取方法基本可以实现人工不干预或者少量干预就完成初至波的拾取。但是在信噪比低的地区，初至自动拾取方法往往难以获得理想的拾取结果，需要人工大量干预。

现有的初至波自动拾取方法有的着重于研究单个地震道中初至波的振幅、相位、能量等信息，比如能量比值法；有的着重于利用初至时间之间的相互关系，比如约束初至拾取；有的则绕过自动拾取，通过减少人工初至拾取中用户拾取工作量来提高拾取效率。但整体而言，初至波自动拾取的效果并不理想。大多数情况下，自动拾取后都需要人工干预，以