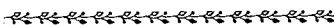


地震数据处理方法



李振春 张军华 编

石油大学出版社



地震数据处理方法

李振春 张军华 编

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地震数据处理方法/李振春编. —东营:石油大学出版社,2004.8

ISBN 7-5636-1823-6

I.地… II.李… III.地震数据-数据处理-高等学校-教材
IV.P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079632 号

书 名:地震数据处理方法
作 者:李振春 张军华

责任编辑:周洁韶(电话 0546-8396214)
封面设计:傅荣治

出版者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn>
电子信箱:upcpres@mail.hdpu.edu.cn
排版者:石油大学出版社排版中心
印刷者:石油大学印刷厂
发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)
开 本:185×260 印张:19.625 字数:364千字
版 次:2004年8月第1版第1次印刷
印 数:1—1000册
定 价:27.50元

前 言

随着地震资料处理新方法和新技术的不断出现和计算机软硬件性能的不不断提高,近 20 年来,地震资料处理技术发生了很大变化。为了适应勘查技术与工程专业本科生更有效地学习地震资料处理方法和技术以及现场对地震数据处理的要求,我们编写了《地震数据处理方法》这本教材。

本教材的内容共分五章。第一章主要概述常规地震数据处理的基本流程和各主要步骤的目的和作用;第二章重点讨论数字滤波的基本概念、目的和几种主要滤波方法的原理和实现步骤;第三章在概述反褶积目的的基础上,论述了几种主要反褶积方法的基本原理、适用条件和实现过程;第四章基于速度概念,重点讨论了速度分析、动静校正和叠加的方法原理和实现步骤;第五章在全面系统地分析二维叠后时间偏移的基础上,论述了叠前偏移、偏移速度分析、深度偏移、三维偏移和叠前深度偏移的方法原理和基本实现过程。

在本教材的编写中,李振春教授编写了第一章、第四章、第五章;张军华教授编写了第二章、第三章。全书由李振春统稿。编写过程中,得到了石油大学(华东)和地球资源与信息学院相关单位的大力支持以及地球物理系各位老师的帮助;另外,地震数据处理方法研究课题组的研究生们完成了大部分的文字打印和图件绘制工作。在此向他们表示衷心的感谢。

本教材可以作为勘查技术与工程专业本科生的地震数据处理课程的教科书,也可以作为相关专业本科生和研究生的学习参考书。

由于编者水平有限和编写时间仓促,难免出现这样或那样的错误,望广大读者批评指正。

编 者
2004 年 5 月

第一章 概述	(1)
§ 1.1 地震数据处理的重要性及其发展趋势	(1)
§ 1.2 地震数据处理流程	(2)
参考文献	(15)
第二章 数字滤波	(16)
§ 2.1 概述	(16)
§ 2.2 一维滤波	(23)
§ 2.3 二维滤波	(48)
参考文献	(55)
第三章 反褶积	(56)
§ 3.1 反褶积的概念	(56)
§ 3.2 最佳维纳滤波	(60)
§ 3.3 最小平方反褶积	(65)
§ 3.4 预测反褶积	(76)
§ 3.5 子波提取与子波整形反褶积	(93)
§ 3.6 同态反褶积	(103)
§ 3.7 地表一致性反褶积	(107)
§ 3.8 反 Q 滤波及谱白化	(109)
参考文献	(115)
第四章 速度分析、动静校正和叠加	(116)
§ 4.1 概述	(116)
§ 4.2 动校正	(118)
§ 4.3 速度分析	(131)
§ 4.4 静校正	(146)
§ 4.5 水平叠加	(181)
参考文献	(187)
第五章 偏移成像	(189)
§ 5.1 偏移成像的基本原理	(189)

§ 5.2 波动方程偏移	(210)
§ 5.3 叠前偏移	(244)
§ 5.4 偏移速度分析	(258)
§ 5.5 深度偏移	(268)
§ 5.6 三维偏移	(278)
§ 5.7 三维叠前深度偏移	(291)
参考文献	(305)

第一章 概述

§ 1.1 地震数据处理的重要性及其发展趋势

一、地震数据处理的重要性

地震勘探技术在油气田勘探开发中起着重要作用。地震勘探包括地震采集、处理和解释三大部分。地震采集是利用野外地震采集系统获取地震数据处理所需的反射波数据；地震数据处理的目的是对地震采集数据做各种处理提高反射波数据的信噪比、分辨率和保真度以便于解释；地震解释分为构造和岩性解释，目的是确定地震反射波数据的地质特征和意义。地震数据处理依赖于地震采集数据的质量，处理结果直接影响解释的正确性和精确度。探讨地震处理的基本原理和基本方法有助于全面利用采集数据，充分利用处理方法，为地震解释提供可靠的处理成果剖面。

随着数字计算机的出现，地震资料处理在 20 世纪 60 年代中期进入了数字时代，数字技术使地震资料处理发生了根本性变革，数字化使数据表示灵活，便于大型运算，特别适于具有巨型数据量的地震处理。

地震数据处理主要包括地震反褶积、叠加和偏移成像三大技术。地震反褶积是通过压缩地震子波提高地震时间分辨率；叠加的目的是压制随机噪声提高地震信噪比；偏移成像包括射线偏移和波动方程偏移两大类，主要目的是实现反射界面的空间归位和恢复反射界面空间的波场特征、振幅变化和反射系数，提高地震空间分辨率和地震保真度。高质量的处理成果可直接用于油气储层预测和烃类检测。例如，真振幅变化反映岩性变化和储层变化、“亮点”技术直接寻找油气藏、横波分裂预测和评价裂隙性油气藏、四维地震直接预测和评价井的生产动态及储层的变化规律等。

二、地震数据处理的发展趋势

地震数据处理出现于 20 世纪 20 年代初期。随后的 40 年间由于是对光点记录和模拟记录进行处理，因此地震处理技术发展较慢。进入 20 世纪 60 年代后，随着数字计算机的出现，地震数据处理进入了数字时代，数字技术为地震

处理技术的发展提供了广阔的前景。随后出现了波动方程偏移技术、“亮点”技术、声阻抗反演技术、AVO 技术、 τ - p 变换技术、三维地震处理技术、垂直地震剖面处理技术、多波多分量处理技术、广义线性反演和非线性反演技术、井间地震处理技术、分形技术、神经网络预测技术、小波变换技术、岩石物理分析技术、弹性阻抗反演技术、地震资料并行处理技术和四维地震处理技术等。其它地震处理技术也得到了长足的发展，如地表一致性静校正、地表一致性反褶积、共反射面与超级面元叠加和共聚焦点偏移技术等。目前，这些技术仍在发展和完善中。

随着油气田勘探和开发难度的不断增加，对地震勘探的精度要求越来越高。为适应油气藏的动态预测和寻找复杂构造和岩性油气藏，要求地震处理后的剖面具有高信噪比、高分辨率和高保真度的“三高”特点。各种滤波、反褶积和叠加技术是提高地震信噪比和时间分辨率的有效途径。波动方程偏移技术除了使反射界面空间归位外，还使绕射波收敛、恢复反射界面的波场特征和反射系数，提高反射波的空间分辨率和保真度。偏移后的真振幅和反射系数可直接预测岩性和储层参数、评价储层及其围岩的质量。上述其它处理技术也会从不同方面提高地震剖面的质量、反演地震属性和岩性参数、预测和评价储层性质。随着巨型向量并行机和微机集群的出现及其在地震数据处理中的广泛应用，使巨型数据量的处理，尤其是三维叠前深度偏移成为可能和现实。因此，进入 21 世纪后，地震数据处理会有更广阔的发展空间和前景，除了上述技术继续发展外，还会不断出现新方法和新技术。当然，随着地下地质构造和岩性复杂性的增加，地震勘探和油气勘探的难度会越来越大，对地震处理的质量要求也会越来越高。相信 21 世纪的地震数据处理技术的特点将是综合应用各种地震数据处理技术，并不断有新方法和新技术辅助，来获取高质量的地震剖面和各种地震属性剖面，以直接定量反演储层参数、评价储层质量和预测油气地质储量，达到增储上产的目的。

§ 1.2 地震数据处理流程

地震数据处理包括预处理、常规处理和特殊处理三个基本阶段。预处理是把野外采集数据转换成适合计算机处理的格式；常规处理是对地震数据做基本处理运算；特殊处理，即目标处理，是针对不同目的采用不同处理手段，如叠前深度偏移、子波处理、属性分析和反演等。

一、地震数据处理流程

常规处理流程中的处理步骤是所有处理共有的，通过加入一些特殊手段可实现目标处理。常规处理包括反褶积、叠加和偏移三大技术。图 1-1 给出了以中心点-偏移距-时间为坐标的地震数据体，由图可说明常规处理三技术的目的和作用。图中反褶积沿时间坐标轴作用，目的是通过压缩地震子波提高时间分辨率。叠加也是一个压缩过程，目的是提高信噪比。它是沿偏移距坐标轴作用，把图中非零偏移距的数据体压缩成一个在零偏移距处的中心点-时间平面，首先通过对每一 CMP 道集中的各道进行正常时差校正，然后将它们沿偏移距轴叠加，结果就是叠加剖面。共中心点叠加接近于零偏移距剖面。偏移是一个空间反褶积过程，能改善空间分辨率和保真度。通过对叠后资料沿中心点轴做偏移，使叠加剖面上的倾斜同相轴归位到产生它们的地下真实位置上并使绕射波收敛，从而实现反射界面的空间归位和恢复反射界面空间的波场特征和反射率。

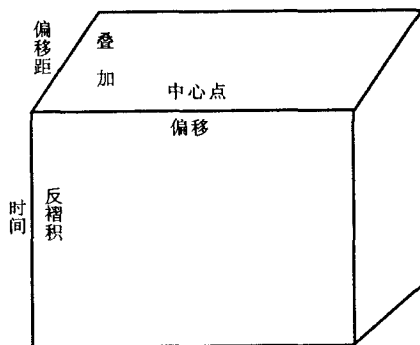


图 1-1 代表处理坐标中心点-偏移距-时间的地震数据体
反褶积沿时间轴作用，以提高时间分辨率。叠加在偏移距方向压缩数据体并产生叠加剖面（棱柱的前面）。
偏移将倾斜同相轴移到它们的真实地下位置并使绕射波收敛，从而提高空间分辨率。

地震处理的三个阶段分述如下：

1. 预处理

预处理是把野外数据格式转换成适合计算机处理的格式并对数据做相应编辑和校正。它包括数据解编、格式转换、编辑、几何扩散校正、建立野外观测系统和野外静校正等。

1) 数据解编

把按时分道的数据记录方式转换成按道分时的数据记录方式，即共炮点记录（图 1-2）。在这一阶段，数据要转换到通用格式（如 SEG-Y 格式），全部处理过程都用这种格式。这个格式由处理系统的类型和各个公司决定。

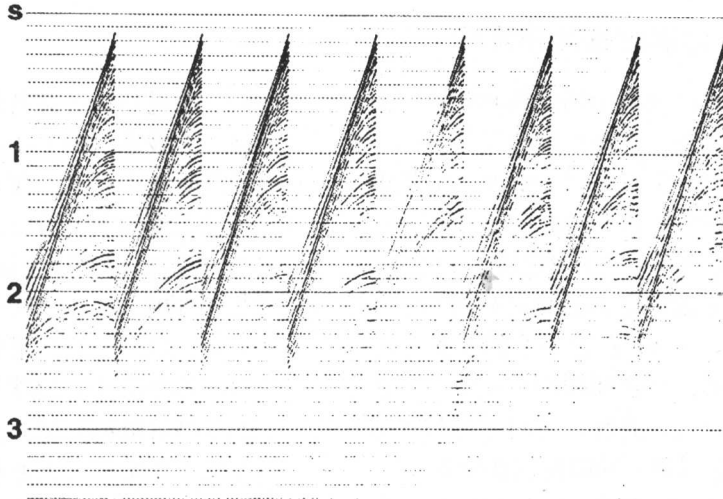


图 1-2 解编后的共炮点道集

这是一次海上测量结果，注意在浅层部分的强振幅以及在深层相对的弱振幅，这种振幅的衰减主要由于波前发散所致。

2) 道编辑

噪音道、带有瞬变噪音的道（见图 1-3 记录 1）或单频信号道（见图 1-3 记录 2）都要删除；极性反转的道（见图 1-3 记录 3）要改正。

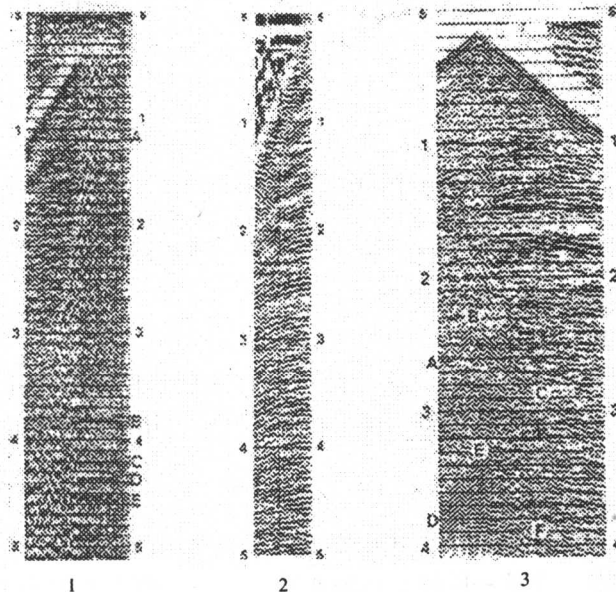


图 1-3 共炮点道集记录

3) 几何扩散校正

通过给数据加一增益恢复函数,以校正波前(球面)扩散对振幅的影响(图1-4)。

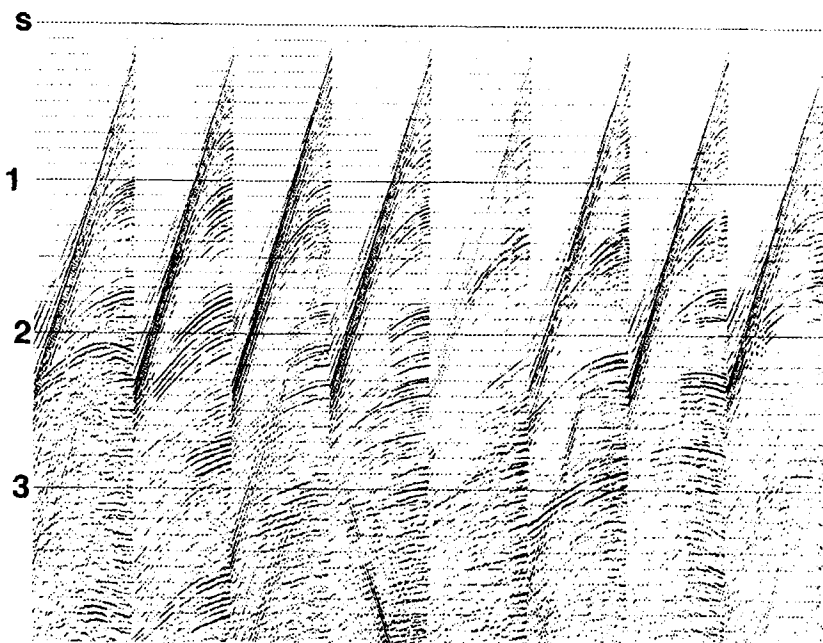


图1-4 对图1-2中共炮点道集应用波前发散振幅校正后的结果
注意记录上已恢复的深层振幅

4) 建立野外观测系统

把所有道的炮点和接收点位置坐标等测量信息都储存于道头中,以保证各道的正确叠加。

5) 野外静校正

对陆上资料,把所有炮点和接收点位置均校正到一个公共基准面上,以消除高程、低降速带和井深对旅行时的影响。

2. 常规处理

常规处理是对预处理后的地震数据做必要的基本处理运算,它包括反褶积、道均衡、抽取共中心点道集、速度分析、剩余静校正、动校正、切除、叠加和偏移等。

1) 反褶积

反褶积可在叠前做也可在叠后做。叠前反褶积的目的是把地震子波压缩成尖脉冲(脉冲反褶积见图1-5)来改进时间分辨率。叠后的预测反褶积主要是

消除海上鸣震（交混回响）等多次波干扰。在常规处理中反褶积的基础是最佳维纳滤波。反褶积后要用某种类型的道均衡，以使数据达到通常的均方根振幅水平（见图 1-6）。

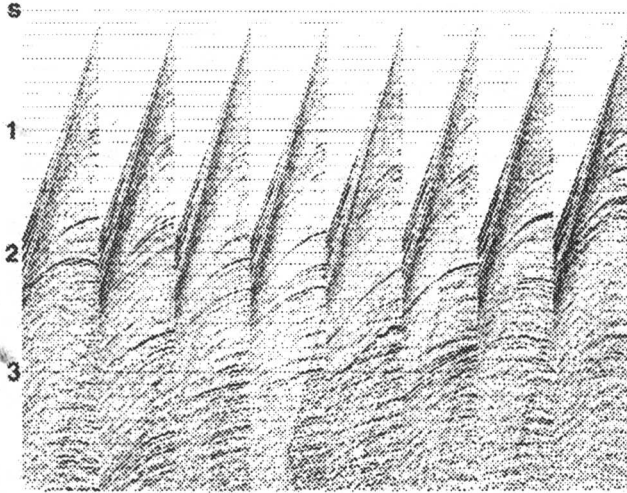


图 1-5 图 1-4 中共炮点道集应用尖脉冲反褶积后的结果
通过观察一些反射波与图 1-4 比较，注意到反褶积处理明显压缩了子波，
并显著压制了尾随每个反射波的回混能量

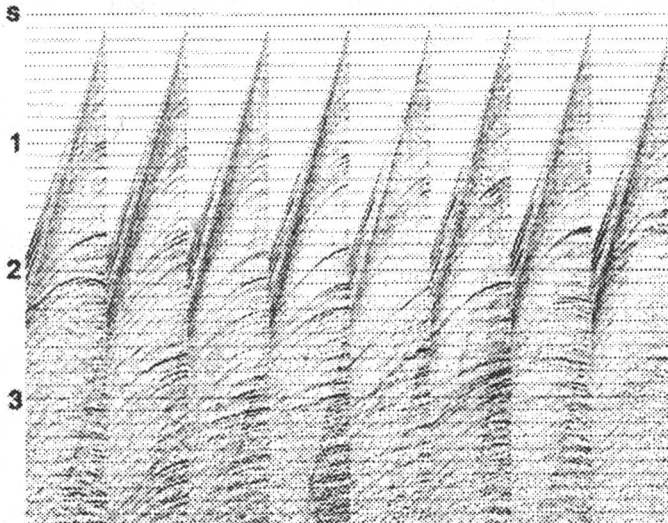


图 1-6 对图 1-5 中的共炮点道集做道均衡后的结果
振幅均衡是时不变的，所有道都均衡到同一均方根水平

2) 抽取共中心点道集

把属于同一中心点的所有道按偏移距从小到大的顺序依次排列起来组成共中心点 (CMP) 道集 (见图 1-7), 为 CMP 道集速度分析和 CMP 叠加做准备。

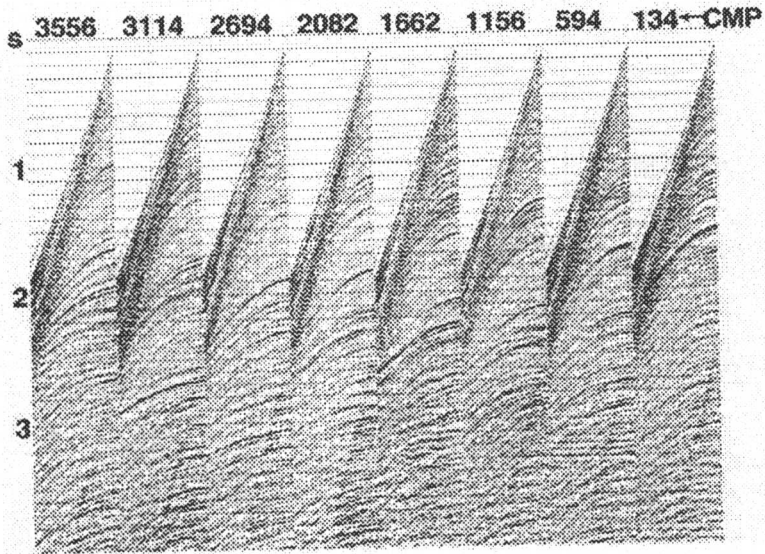


图 1-7 由图 1-6 中共炮点数据抽取的 CMP 道集

3) 速度分析

首先按一定时间间隔给出一组零偏移距双程旅行时, 然后针对每一零偏移距双程旅行时, 依据探区已有地质资料和其它已知资料, 按一定速度间隔给出一组速度, 针对每一速度得出的双曲时差对 CMP 道集做相干分析, 最后得到以零偏移距双程旅行时为参数、速度为自变量的一组相关函数或能量函数, 每组最大值对应的速度就是对应该零偏移距双程旅行时的最佳叠加速度 (见图 1-8)。

4) 动校正和叠加

按速度分析得出的最佳速度对 CMP 道集做正常时差校正 (见图 1-9)。考虑到浅层远道动校正拉伸畸变大, 为防止浅层质量降低, 在叠加前将畸变带切除 (见图 1-10)。最后对各偏移距数据求和就得到了 CMP 叠加剖面 (见图 1-11)。

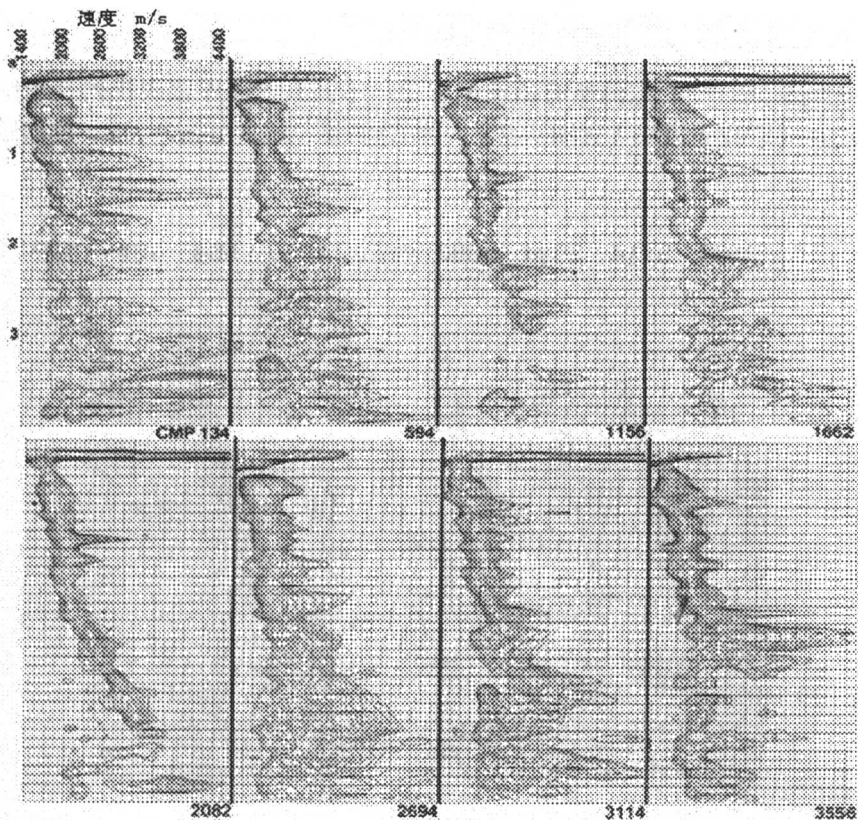


图 1-8 基于图 1-7 中 CMP 道集所得的速度谱
注意所有速度函数的一般趋势，以及在较大时间处速度分辨率的降低

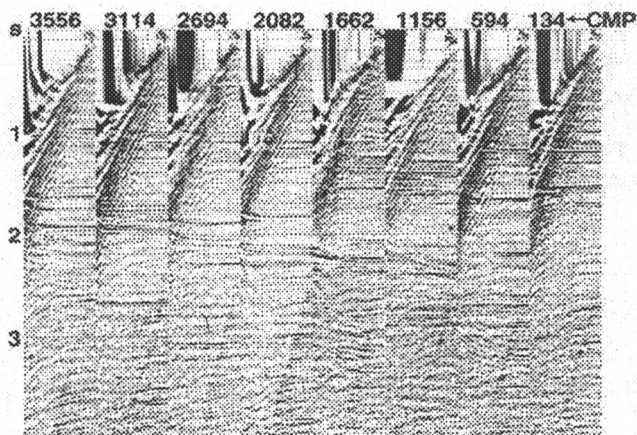


图 1-9 用图 1-8 中速度谱所得的速度，对图 1-7 中的 CMP 道集做动校正后的结果
注意浅层部分的拉伸严重，远道更是如此。适当选择速度后，一次波被拉平（比较本图与图 1-7 中的各个同相轴）。

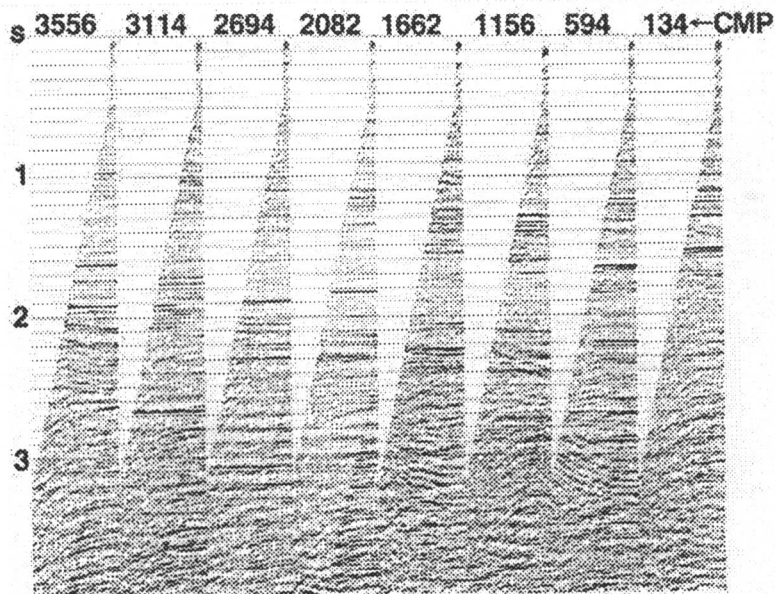


图 1-10 对图 1-9 数据切除拉伸带后的 CMP 道集
通过切除避免了拉长畸变的信号对叠加质量的影响

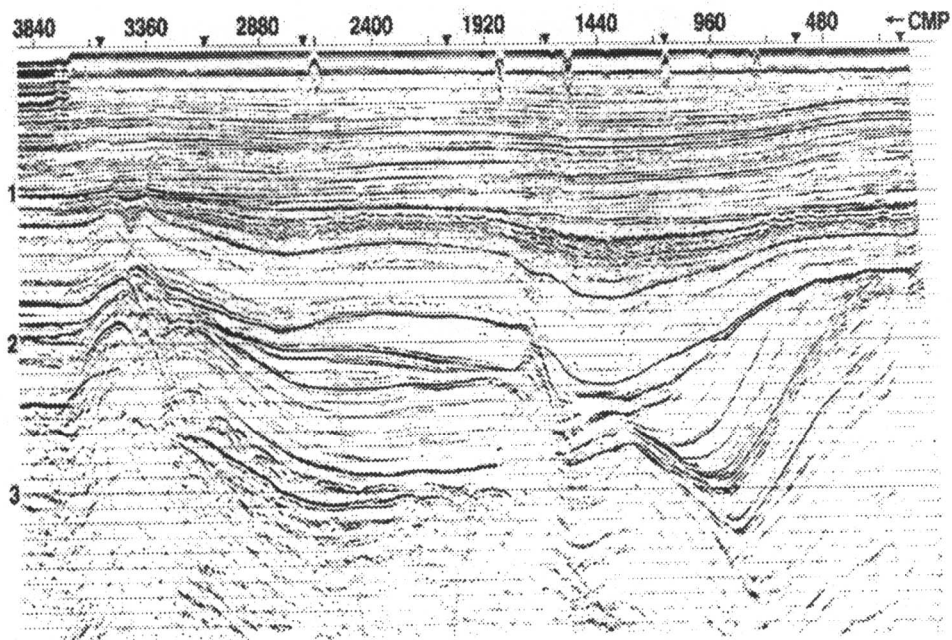


图 1-11 与图 1-10 中各道集有关的 CMP 叠加
三角形表示图 1-8 中速度分析的位置

5) 剩余静校正

对于某些陆上和浅水地区资料,常因近地表速度的不规则性,产生静校正和动校正畸变(见图 1-12a)。剩余静校正就是消除这种畸变(见图 1-12b),即将所估计的剩余静校正量加到未经动校正的原始 CMP 道集上,再重新做速度分析以改进速度估计(见图 1-13 和 1-14)。用此改进了的速度场再对 CMP 道集做动校正。最后把这些道集叠加起来,叠加剖面如图 1-15 所示。在有问题地段(53~245 号中心点之间)的反射连续性得到了改善。

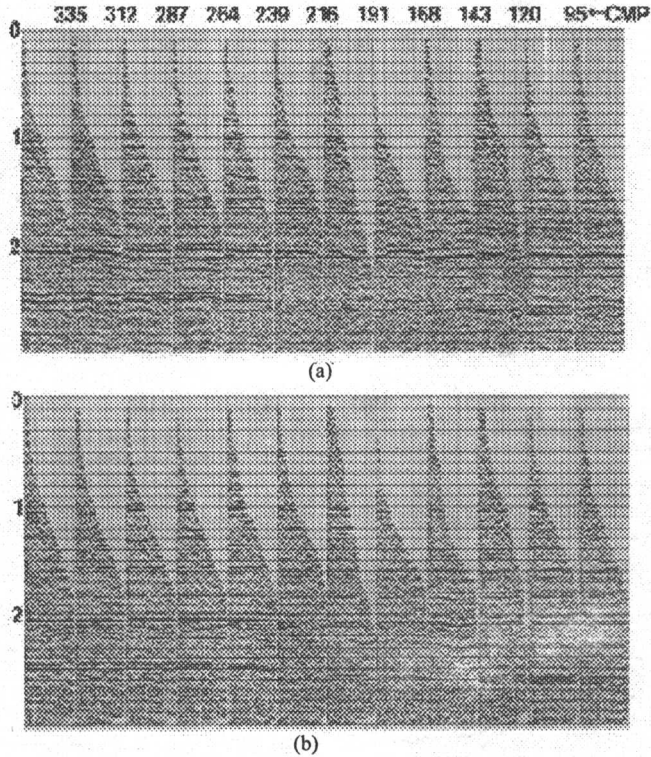


图 1-12 陆上某一地震测线动校正后的 CMP 道集

(a) 应用剩余静校正前; (b) 应用剩余静校正后
注意 (b) 中畸变同相轴 (CMP191, 216) 被近于拉平

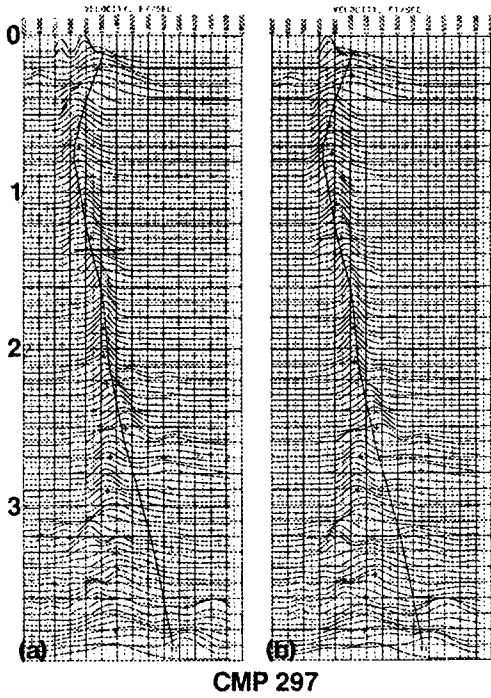
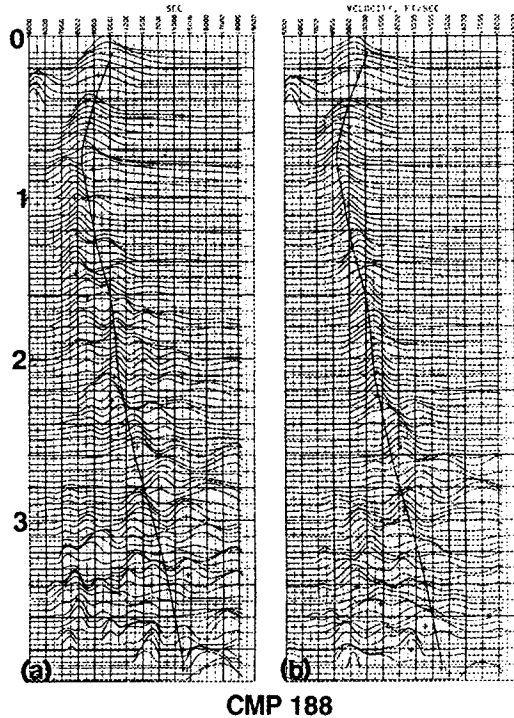


图 1-13 用图 1-12 中数据得到的速度谱
 (a) 应用剩余静校正前;
 (b) 应用剩余静校正后。
 注意由剩余静校正前后的 CMP297 道集得到的速度谱没有显著区别

图 1-14 用图 1-12 中数据得到的速度谱
 (a) 应用剩余静校正前;
 (b) 应用剩余静校正后。
 注意被校正后的数据在 2.6 秒以后有改进



CMP 188