

复杂山地

地震资料处理**关键细节与实践**

Key Techniques and Practices

in Seismic Data Processing of Complex Mountain Areas

罗仁泽 / 编著



科学出版社

复杂山地地震资料处理 关键细节与实践

罗仁泽 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书就有关处理技术方面的常用而有效的方法、近年来的技术进展、一些典型地区的典型实例和重大发现,做较详细介绍。并依据实用情况强调其关注点,如确保空间关系准确,动、静校正的最新进展,保真去噪的关键,保真与地表一致性,反褶积的保真性,分辨率与信噪比关系,各向异性实用技术,DMO与叠前时间偏移,叠前深度偏移与正反演速度建模实例等,对这些关键细节逐一说明;同时关注近年来新技术推广应用情况,如井间、多波、3.5维地震、时频重排等技术的发展。

本书适用于地震勘探的本科高年级学生、地球物理勘探研究生与博士生,尤其对于从事地震资料解释工程实践和技术研究的人员具有指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂山地地震资料处理关键细节与实践/罗仁泽编著. —北京:科学出版社, 2017.01

ISBN 978-7-03-050737-2

I. ①复… II. ①罗… III. ①山地—地震资料处理 IV. ①P315.63

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第281598号

责任编辑:张展 罗莉/责任校对:陈杰
责任印制:余少力/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

*

2017年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年1月第一次印刷 印张:16

字数:383千字

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

从 20 世纪 50 年代至今的 60 多年，中国的地震勘探事业从无到有、由弱到强，加速向前发展，尤以近十几年发展最快。不管是硬件、软件，还是地震技术的进步、理论的创新、人才队伍的成长，处处闪耀着改革开放好政策的光芒。

中国地震勘探从引进苏联的光点地震仪开始，进入光点信号时代。依靠照相纸，通过光点检流计记录地震信号，经过洗相，然后将单炮记录拼成剖面，最后完全由解释人员手工对比解释、手工绘制图件；直至 20 世纪 70 年代，转入模拟信号时代，这时也仅是将单炮记录作简单的动、静校正，再转换成光点，经过照相、洗相、拼剖面后，由解释人员手工解释成图；到 20 世纪 80 年代，借改革开放的春风，地震勘探与世界接轨，从此，不断地引入先进的数字地震设备，从资料采集、处理到解释工作站，从硬件设备到软件系统，我国的地震勘探事业，在与国外各大油公司交流中得到不断进步和壮大；如今，我国勘探装备有了自己的企业，也有了自己的软件系统，只是需要在实践中锻炼成长。我国物探队伍已进入世界市场，并与国际石油大佬们竞争；昔日历史难题的破解、号称与月球面相提并论的青海极复杂近地表结构勘探的重大突破，使人们相信下一个 30 年，全世界的勘探技术和理论舞台上将会发生巨大的变化。中国产出的设备、创造的理论、技术，将与世界石油巨头平分秋色。

资料处理中静校正量与速度的求取是处理人员的基本技能。静校正量与速度是一对紧密相关的量，它们是决定资料处理质量最要紧的因素。但是，这两个未知数都不可能不依赖对方而单独地获得，只能用反复迭代的方式加以求取。世界各大资料处理系统皆如此，关键在于判断迭代的方向，即如何用叠加的质量约束迭代的进程，这需要处理人员具备丰富的地球物理知识，以及对一个地区地质结构特征有充分的认识。本书首先阐述静校正中的基本概念，介绍最新的认识和方法，并将结果图文并茂地展现给大家。其次是关于静校正与动校正的关系问题，指出浮动基准面仅是把静校正量分成两部分，让速度参考真地表的方法是很有意义的，不久的将来，人们会发现真地表的思维将会运用到速度分析、近地表模型的建立和深度偏移速度模型的完善中。目前，剩余静校正解决不了的长波长静值问题，唯一可信赖的办法是已广泛应用于生产的层析静校正技术，只是人们对此认识还不统一；同一个资料，结果各不相同，说明方法还有不完善之处，急盼有人能博采众长，形成知识体系。

去噪是提高地震资料信噪比最直接的方法，也是辅助野外资料采集的有效方法。目前的趋势是向多域交汇方向发展，或创造新的处理域。小波包域技术的进展值得关注，时域样点重排技术在去除声波干扰中表现出不凡的佳绩，将三瞬中的两相希氏变换扩展到纵横波四元数变换的方法也展现出了光明前景。

地表一致性处理技术已发展到了极致状态。静校正的最大能量法，在地表一致性统计中

优于常规的自动剩余静校正法 (miser 法), 特别对于近地表复杂区, 在大静校正量突出的情况下也能快速准确地收敛。

近十几年, 偏移归位处理技术得到了快速发展, 地震仪道数的迅猛增加, 使覆盖次数迅速提高勘探的效率得到极大地提升, 从而为叠前偏移创造了充分的条件; 深度偏移方法已相当成熟, 它是高陡复杂构造成像技术发展的充要条件, 尽管复杂模型的自动化也有相当的建树, 但距离真实模型还有一定距离, 这也许是由于真地表概念还没有深入人心的缘故。

分辨率与信噪比相关与否的讨论终于有了结果。广义空间分辨率的发现是进入新世纪的重要事件; 小道距的实验表明, 在一定信噪比的条件下, 空间分辨率有明显改善; 无限提高覆盖次数的做法是与俞寿朋先生的数学论证相违背的; 李庆忠先生对近地表低速带严重性的精辟论述将是野外施工设计中的重要约束条件。

4D 地震的实践, 特别是 3.5D 资料的创造性运用以及井间地震中特高分辨率资料的出现为油气田的开发指明了方向。同时也提醒我们, 对一些重要地区的勘探项目, 野外采集一定要有长远打算, 不能只顾眼前, 要做好在条件成熟时做 3.5D 处理的准备。

处理资料质量监控, 无论对处理或解释都是有益的, 相信资料保真处理的剖面不会出现意外情况; 有关构造建模中, 从地质构造样式出发的形形色色的模式, 未必能包罗地球上构造运动所造成的地层的多样性, 这需要解释人员严谨观察和冷静分析保真剖面上的每一个振幅或同相轴的微妙变化, 以免出现类似东濮凹陷由于同相轴扭曲现象而遗漏重大发现的遗憾; 同时使解释人员面对千变万化的资料沉着应对; 20 世纪 70 年代, 中国地质调查局石油物探研究大队出版的利用正演法获得的《模型 100 例图集》给人以深刻印象。细心地研究水平叠加剖面, 弄清每一个地震特征, 对处理或解释人员都是至关重要的。同时, 认为有了深度偏移结果或偏移剖面而不需要水平叠加结果的想法显然是不切实际的。

本书就复杂山地震资料处理方面的关键技术细节进行了有益的探讨。

在本书的撰写、出版过程中, 得到了川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司地震资料处理老专家、在地震资料处理第一线辛勤工作近六十年的王进海高级工程师的鼎力相助, 他在书的整体构思、书稿编辑等方面协助作者做了大量工作, 在此对王进海老师表示深深的谢意和敬意; 同时, 作者所指导的西南石油大学研究生何国林、郭亮做了许多修改、校对工作, 在此表示诚挚的感谢! 另外, 也感谢川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司的鼎力相助以及西南石油大学给予的众多关心和支持。在本书编辑过程中, 拜读和参考了近四十年来发表的相关文献, 引用了其中部分代表性文献, 感谢这些同行的艰辛付出以及为地球物理技术发展所做出的贡献。

由于作者试图对山地震资料处理关键理论与实践做较为全面的展示, 需要考虑很多抽象的专业术语和错综复杂的逻辑关系, 时间紧张、水平有限, 书中难免存在疏漏和不妥之处, 期待读者在阅读过程中给予批评指正。联系邮箱: lrzsmith@126.com。

目 录

1	资料处理目标	1
2	确保空间关系检查	2
2.1	共检波点检查	2
2.2	初至切除检查	2
3	静校正	8
3.1	野外静校正	9
3.1.1	高程静校正	9
3.1.2	控制点数据线性内插法	10
3.1.3	延迟时法	11
3.1.4	数据库法	12
3.2	折射波静校正	13
3.2.1	FARR 静校正	14
3.2.2	相对折射静校正	14
3.2.3	时间项延迟时消去法	16
3.2.4	模型约束初至折射静校正方法	17
3.2.5	扩展的广义互换法	17
3.2.6	三维折射波静校正技术	21
3.3	层析反演静校正	22
3.3.1	基本原理	23
3.3.2	应用实例	25
3.4	波动方程基准面校正	33
3.5	剩余静校正	38
3.5.1	自动剩余静校正	38
3.5.2	自动剩余静校正(模拟退火)	42
3.5.3	分频剩余静校正	46
3.5.4	共地面点多域迭代剩余静校正法	47
4	去噪技术	50
4.1	噪声的分类	50
4.1.1	随机噪声	50
4.1.2	规则噪声	50
4.2	压制随机噪声	51
4.2.1	利用多项式拟合提高地震数据的信噪比	51

4.2.2	f - x 域中随机噪声衰减	54
4.2.3	f - x 域 EMD 滤波法去随机噪声	56
4.2.4	异常振幅噪声的分频压制	57
4.2.5	f - x 域最小平方线性噪声	57
4.2.6	强能量干扰的分频压制	58
4.3	压制规则噪声	60
4.3.1	时间域单频干扰波的压制	60
4.3.2	自适应面波压制	63
4.3.3	叠前线性噪声压制	64
4.4	多次反射波衰减技术	68
4.4.1	去多次波的方法	68
4.4.2	聚束滤波方法	71
4.4.3	基于波动方程压制多次波的方法	75
5	吸收衰减补偿	78
5.1	常规吸收衰减补偿	79
5.2	地表一致性振幅补偿	80
5.3	时频域吸收衰减补偿	81
5.4	基于微测井的衰减补偿	83
5.5	基于微 VSP 的衰减补偿	83
6	反褶积技术	85
6.1	脉冲反褶积与预测反褶积	85
6.2	同态反褶积与最小熵反褶积	86
6.3	混合相位反褶积	87
6.4	地表一致性反褶积及零相位化	92
6.5	两步法反褶积	96
6.5.1	地震记录最小相位化	97
6.5.2	功率谱多道估算	98
6.5.3	子波估算	98
6.5.4	反子波求取	99
6.6	反 Q 滤波	103
6.7	谱白化	106
6.8	其他反褶积方法简介	106
7	速度分析	112
7.1	速度谱	112
7.2	常速扫描	113
7.3	变速扫描	114
7.4	速度计算方法	115
7.5	速度场建立	117

7.5.1	速度场数据库建立	117
7.5.2	速度场数据库的构成	117
7.5.3	结论	118
8	各向异性的处理	119
8.1	各向异性的起因	119
8.2	各向异性的应用	119
8.2.1	层状介质的各向异性体	119
8.2.2	裂缝引起的各向异性体	126
9	三维地震资料处理	132
9.1	三维网格定义	132
9.1.1	为什么要定义网格	132
9.1.2	网格定义方法	132
9.1.3	网格交互定义法	133
9.1.4	网格的应用	133
9.2	宽线地震勘探技术	133
9.3	三维连片处理技术	137
9.3.1	子波处理	137
9.3.2	面元均一化处理	138
9.3.3	静校正方法	139
9.3.4	歧口三维连片实例	141
9.3.5	地震资料处理各步质量监控	143
9.4	高精度三维地震成功实例	144
9.4.1	吉林扶余油田	144
9.4.2	大庆油田	145
9.4.3	塔中地区	145
9.4.4	中原油田东濮凹陷马厂实例	147
9.4.5	泌阳凹陷陡坡带实例	148
10	四维时移地震研究	150
10.1	非重复性采集时移地震勘探实例	150
10.2	3.5D 地震勘探实例	155
11	叠加	157
11.1	真地表动校叠加技术	157
11.1.1	真地表下的动校正公式	158
11.1.2	建立浮动基准面(与常规相同)	158
11.1.3	真地表方案特点	158
11.1.4	无拉伸动校正处理技术的最新进展	159
11.2	DMO 叠加技术	164
11.2.1	DMO 的定义	164

11.2.2	DMO 的发展回顾	165
11.2.3	DMO 原理	165
11.2.4	DMO 应用	166
11.2.5	DMO 的复杂性	167
11.2.6	结论	169
11.3	二维共反射面叠加技术	171
11.3.1	概述	171
11.3.2	方法原理	171
11.3.3	实际数据处理效果	174
11.3.4	通过倾角扫描优化 CRS 叠加	174
12	偏移	175
12.1	叠前时间偏移成像技术	175
12.2	叠前深度偏移成像技术	178
12.2.1	叠前深度偏移速度建模技术	179
12.2.2	Kirchhoff 叠前深度偏移	187
12.2.3	波动方程叠前深度偏移	201
13	多波勘探技术	210
13.1	三维多分量各向异性处理的基本流程	210
13.2	多分量处理关键技术	210
13.3	三维 C 波速度建模	213
13.4	三维 C 波各向异性叠前时间偏移	214
13.5	多波勘探实例	215
14	井间地震技术	219
14.1	井间地震资料处理	219
14.2	层析成像技术	221
14.3	井间地震勘探实例	223
14.4	激发井、接收井互换的井中地震观测法	226
15	地震信号处理技术	228
15.1	基于时频重排的地震信号 Wigner-Ville 分布时频分析	228
15.2	小波包变换	230
15.2.1	小波包变换与小波变换	230
15.2.2	关于“基函数”	231
15.2.3	时频分辨能力	231
15.2.4	小波包分解树的节点与对应频段关系	231
15.2.5	应用效果	232
	结论	241
	参考文献	243

1 资料处理目标

随着油气田勘探开发向超深层、复杂构造区域的深入，地震资料处理的目标和要求也在随之发生转变。

1. 目标

资料处理的目标是配合采集和解释人员完成当前形势下的地质任务，为国家多找油气。目前，常规处理正向精细化处理解释一体化转变，地震资料处理服务正向油气开发服务领域延伸。随着目标和服务对象变更，技术需求相应变更，深度、广度均有较大拓宽；目标处理项目加大，针对不同目标，形成不同的处理流程。岩性解释数据要求“三高”，除走时外需动力学方面信息，以及横波、泊松比、密度等信息，详细描述井间不均匀性。

2. 指标

资料处理的指标是，对于任何地区采集的资料，通过加强处理过程质量的控制，达到最佳质量状态。利用高速卫星通信和地面 ATM 网络等方式，实现采集实时交互处理与解释。新一代软件系统表现出开放性、网络化、集成化、可视化、并行化特点，支持计算机集群处理。

3. 技术要求

资料处理的技术要求是，达到最佳的去噪效果、最准的静校正量和速度，实现信噪比和分辨率的完美统一。思路上，从多项目批量作业方式转向单项目交互处理作业方式，从一般地质任务转向针对目的层目标的处理，从单一处理任务转向处理解释一体化的任务，从时间域处理逐渐转向深度域处理，从双曲线模型逐渐转向非双曲线模型，从叠后偏移转向叠前偏移，从叠后修饰去噪转向叠前压噪信号增强，从二维剖面构造解释处理转向“三高”的三维数据体构造、岩性解释处理。对于复杂山地地区，地震资料信噪比很低，与多次覆盖技术相应的叠加、成像难度大；采集技术中使用大炮检距和高覆盖次数，也加剧了叠加成像（同相）的困难。方法研究的效果只有通过解释才能真正体现，只有通过解释才能发现问题，进而实现与地质的结合。

4. 关键

资料处理的关键是充分发挥处理人员的聪明才智，充分利用现代化设备，以及野外采集的有效波成分，从而向解释人员展示丰富的地震地质信息。

2 确保空间关系检查

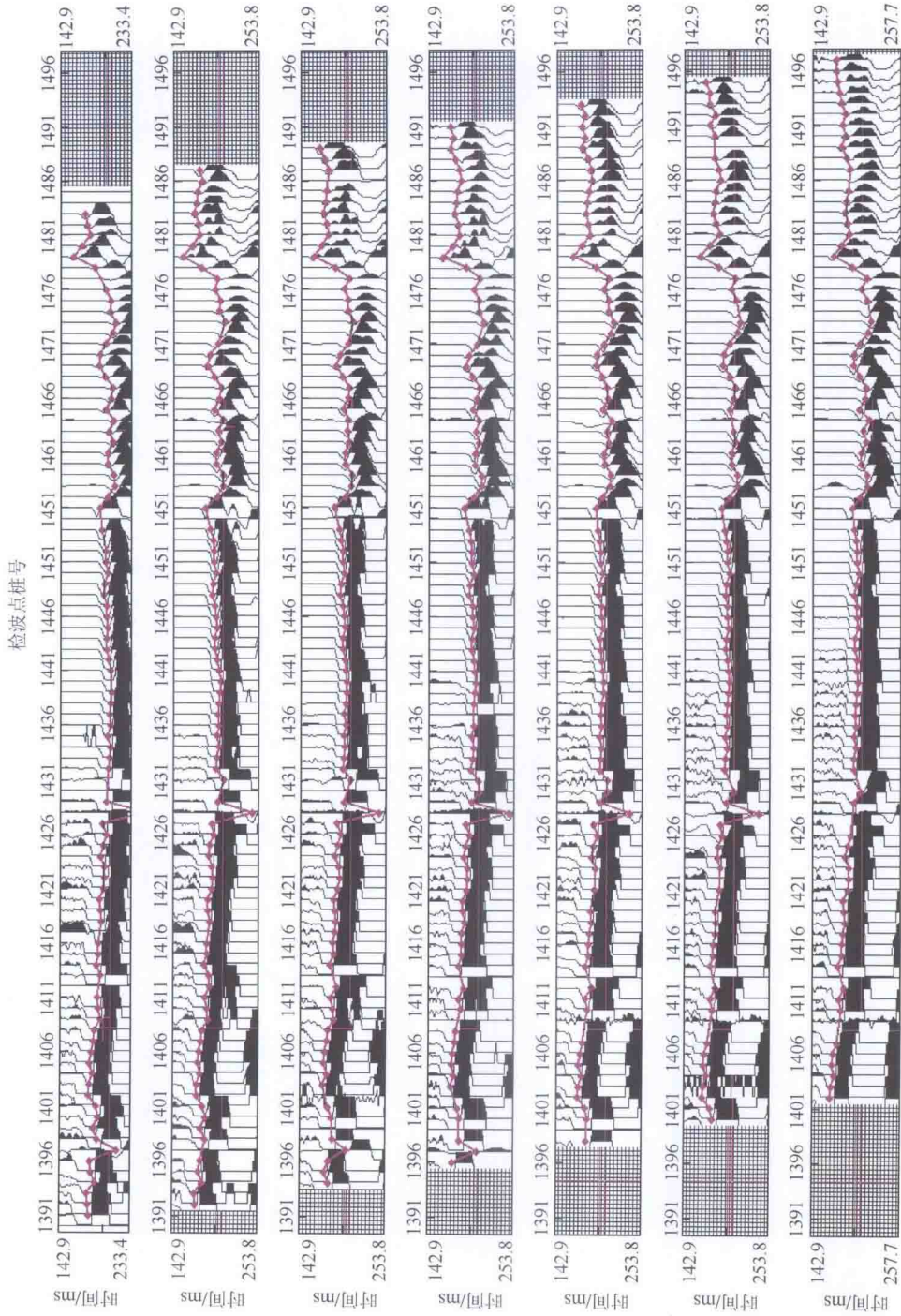
为了使资料处理与野外紧密配合,目前野外都配备有现场处理人员。当天施工记录由现场处理人员输入机器中,一旦发现空间关系有问题,立即与野外有关人员联系,立即纠正。尽管如此,处理上还是会不时地发现空间关系问题。因此,强调在室内资料处理前(数据加载空间关系后),再一次确认空间关系的正确性十分必要。此时,须做好以下两项工作:共检波点检查和初至切除检查。

2.1 共检波点检查

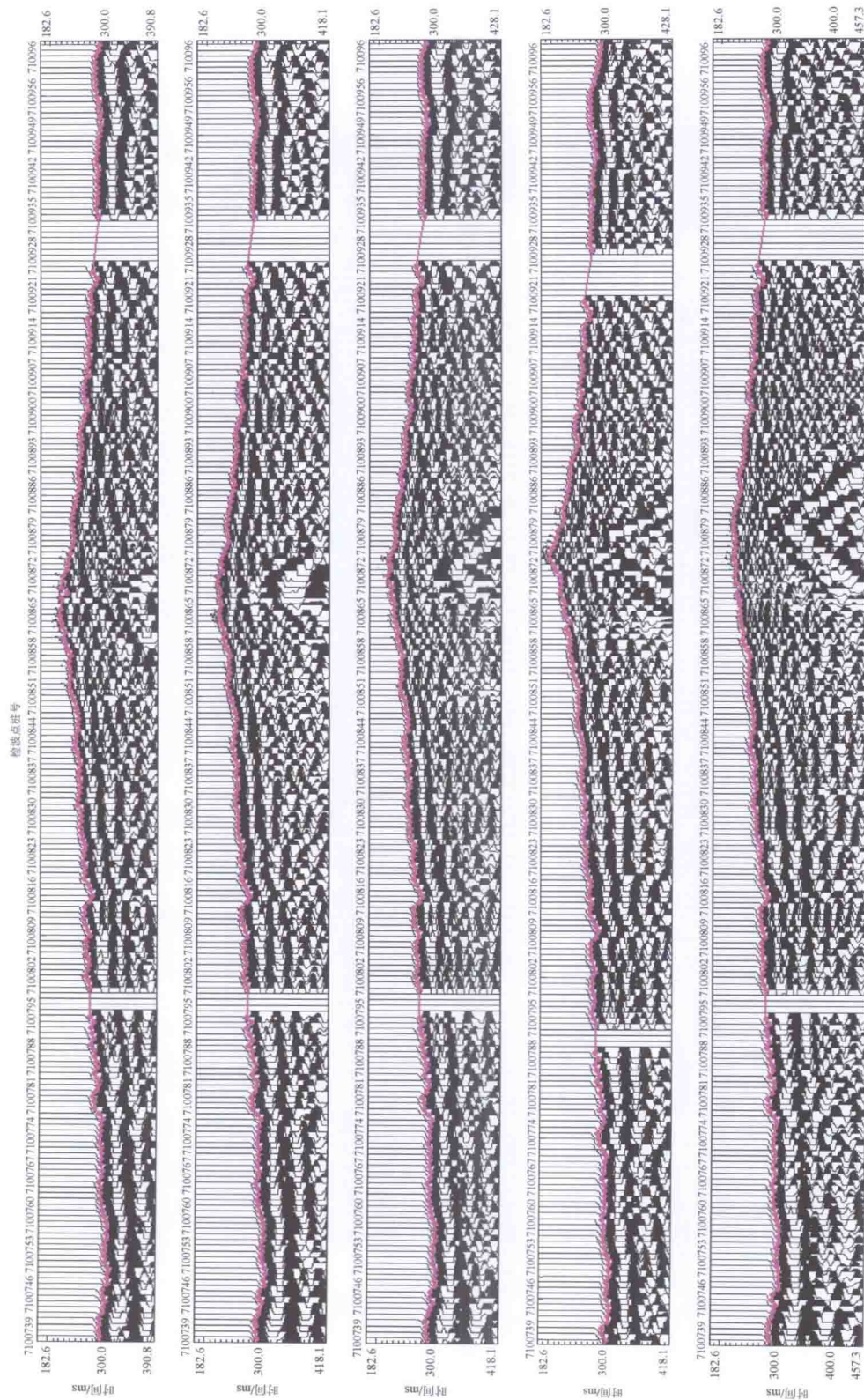
利用初至折射波相邻检波点间时差的相对稳定性,在共检波点(已作线性校正)下查看排列关系(图 2-1 (a)),使共检波点特征一目了然,一切有关排列之错,甚至炮位之错将明显地展现出来供我们仔细分析。例如,检波点是否具有一致性及两边排列的对称性,可利用共检波点拾取初至的方法,确认炮检关系及排列之间的有效性(图 2-1 (b))。图 2-2 就是先用全部的初至确认初至拾取的合理性,若发现问题,再锁定目标、具体检查^[1]。

2.2 初至切除检查

所有记录都必须作初至切除(或“顶切”)检查。这是利用其近炮点、小偏移距道对速度不敏感的特点,查看炮检关系的一种方法。一般情况下,不正确的炮点都能查出来。当全方位采集时(图 2-3),炮点之间仅一道的距离,3D 观测的地面位置对应的大方格中远、近排列炮记录的关系特征如图 2-4 所示。其中,近排列最好辨认(图 2-4 (a));3D 两排列线的中点炮记录差异最不易发现。相邻炮点之间有一道的差距,距离两边排列最远、受近地表影响最大,其分辨能力下降,使错一炮位的时间误差淹没在静校正量中(图 2-4 (b)),只有静校正之后才能发现,这时必须重新计算静值和处理其他工作。



(a) 2D共检波点排列检查 (横向为检波点位置, 纵向是炮记录)



(b) myx07线(宽线分排列显示)第3炮线上的ID172炮的1线排列, 明显看出该炮记录的初至特征不是本排列上的

图2-1 共检波点下排列关系图

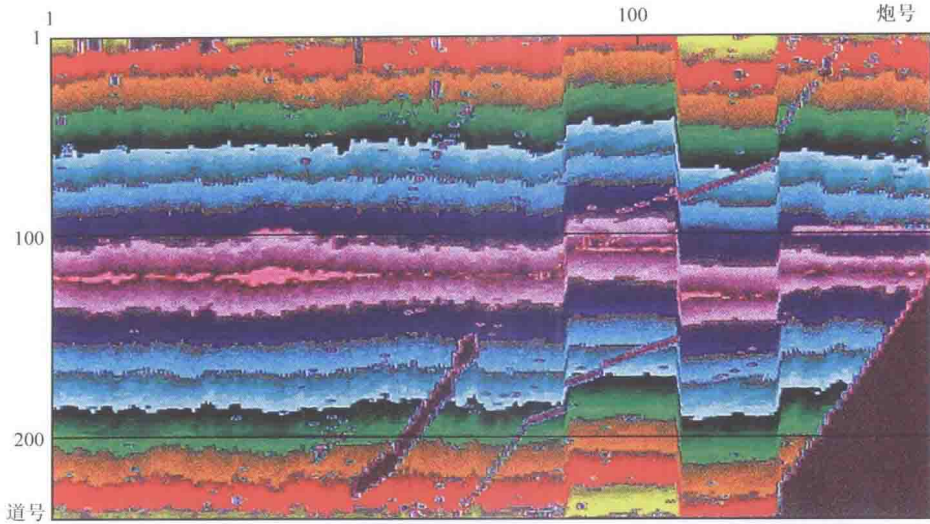


图 2-2 初至拾取质量监控

注：图中显示属性是拾取时间。图中可以看到，100 炮所在位置附近的两列之内的炮记录时间显然有问题

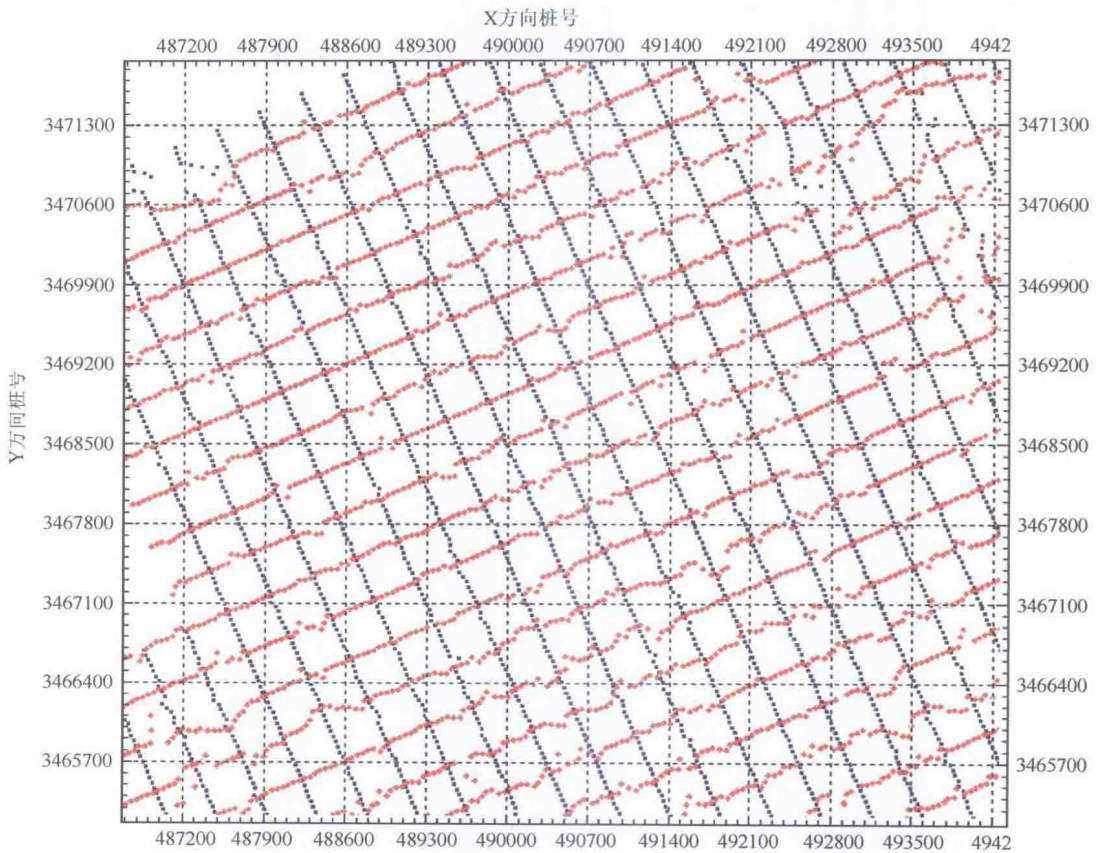


图 2-3 全 3D (炮点距 $d_y=d_x$ 检波点距) 炮、检关系 (红色为炮点、蓝色为检波点)

显然，检波线之间中点的炮点误差最难辨认 (检验)，一道位置的误差将淹没在近地表静校时差中

3 静校正

静校正的“静”字是相对于动校正的“动”字而说的，通常指其校正量相对于记录时间“变与不变”的特性（如地表一致性）。静校正量的实质就是近地表结构的非均质性对记录时间（有效波反射旅行时）的影响（即有效反射旅行时的畸变量）。近地表结构是地下地质岩体经构造运动与大气圈长期相互作用的结果，也就是近地表低速带所涉及的范围^[2]。静校正的目的就是研究近地表结构对地震波传播时间的影响，并对其时差进行校正。

1. 静校正方法分类

野外静校正——又称为**基准面校正**或**高程静校正**。它是对野外直接观测数据（如高程、井口记录时间、微测井、小折射等）进行整理，换算成静校正量并将其记入道头中，以便后续处理，或直接进行校正的过程。

折射波静校正——以全线（区）约束速度（或近地表平均速度）为基准，以折射理论为依据，以给定的折射波初至时间为约束条件，用扩展的广义互换法统计出近地表速度、厚度及其横向变化，并计算各炮、检点的静校正量。

层析反演静校正——以记录初至时间为约束条件，依据波动理论，借助空间网格方式层析模拟近地表结构，并用近地表结构和记录的初至时间计算长、短波长静校正量。

波动方程基准面校正——在已知近地表模型情况下，用波动方程理论作基准面延拓校正，解决复杂近地表静校正问题。

自动剩余静校正（miser 法）——一个成熟而广泛应用的方法。它利用有效反射波，在共中心点（或共反射点）域内，经动校正、基准面校正后，以道集的每一道与相邻多个道集所形成的模型道、在给定的时窗内相关求时差，并经共炮点和共检波点统计、分解出炮、检点剩余静校正量，并加以校正。

自动剩余静校正（模拟退火、最大能量法）——目前的自动剩余静校正方法中，比较好的大约可分为两类：一个是旅行时拾取法（如前所述 miser 法），另一类就是目标函数最小化法。该法把地表一致性的炮点和检波点静值当作一个目标函数，使该目标函数最小化即可求得炮点和检波点的剩余静校正量。

2. 基本概念

长、短波长（周期）静值——静校正量的横向变化周期所达到的横向距离，长（短）于一个排列长度叫长（短）波长静值。通常，长波长静值影响构造形态，短波长静值影响成像效果。

剩余静校正——使用野外、折射波或层析静校正后，再利用反射波计算静校正量的方法。凡是利用反射波的方法只能计算短波长静值。因为有效波的采集及其静值的统计都是在一个排列范围内得到的，不可能获得大于一个排列长度的静值信息。

初至（时间）——每道地震记录的起跳点信息。其特点为：和反射信息一样，能量随