



SHIYOU

中等专业学校教学用书

地震资料
数据处理

董泽斌 吴良元 编

石油工业出版社



登录号	100679
分类号	P631.4
种次号	064

中等专业学校教学用书

地震资料数据处理

董泽斌 吴良元 编



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

全书共分九章。第一章至第七章主要介绍了地震资料常规处理的方法原理,即动、静校正、水平叠加和偏移归位技术、振幅处理、速度分析、频谱分析、数字滤波和反滤波;第八章特殊处理介绍亮点处理、合成地震记录、波阻抗曲线技术、复地震道技术和高分辨率处理;第九章介绍了三维地震资料处理。本书是中等专业学校地震勘探技术专业的教学用书,亦可供初、中级石油物探技术人员参考。

中等专业学校教学用书
地震资料数据处理

董泽斌 吴良元 编

*

中国石油天然气总公司教材编译室编辑

(北京 902 信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京科技印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $20\frac{1}{4}$ 印张 2 插页 506 千字 印 1-2,000

1992 年 12 月北京第 1 版 1992 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0742-8/TE·701 (课)

定价: 5.85 元

前 言

5271/22

本书是中等专业学校地震勘探技术专业地震数据处理课程的教学用书。

本书主要是根据石油天然气总公司人事教育局（原石油工业部教育司）1986年制订的教学大纲编写的。为适应地震勘探技术的发展和需要，本书还增添了近几年发展起来的新的数据处理方法和技术。

全书共九章，其中第一章至第七章主要介绍地震数据常规处理的方法原理及主要参数的选择；第八章主要介绍一些特殊处理技术，第九章主要介绍三维地震资料处理。教材内容的选择，是从基本理论和基本方法入手，着重理论联系实际，并注意新理论和新方法的介绍，本书中主要内容都曾在石油物探学校地震勘探技术专业和计算机应用专业试讲过。

讲授本书需用150学时左右。书中加“*”号章节，可供选用。

本书是由董泽斌和吴良元合编。董泽斌编写绪言、第五、六、七、八、九章，吴良元编写第一、二、三、四章。

聘请石油天然气总公司勘探局陆邦干总工程师担任本书主审，征求过石油物探学校梁云辉讲师和吴峰教师的意见，在编写过程中，我们还得到物探局研究院、物探局情报所和石油物探学校许多同志的大力帮助，在此，深表谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不少缺点和错误，欢迎批评指正。

编者

1990.10.

目 录

绪论	(1)
第一章 动校正和静校正	(11)
第一节 动校正的基本概念	(11)
第二节 动校正量的计算方法	(13)
第三节 动校正的实现	(26)
第四节 高保真动校正	(31)
第五节 静校正的基本概念	(33)
第六节 自动统计静校正	(40)
第二章 叠加技术和偏移技术	(46)
第一节 一般水平叠加	(46)
第二节 自适应水平叠加	(49)
第三节 超级叠加	(53)
第四节 弯曲测线水平叠加	(57)
第五节 偏移处理技术	(60)
第六节 时深转换	(77)
第三章 振幅处理	(80)
第一节 真振幅恢复	(80)
第二节 振幅控制处理	(89)
第三节 相干加强	(95)
第四章 速度分析	(100)
第一节 速度谱的基本原理	(100)
第二节 振幅叠加速度谱	(103)
第三节 相关速度谱	(109)
第四节 用计算机计算速度谱的实例	(112)
第五节 速度扫描	(116)
第六节 速度谱参数选择及资料解释和应用	(117)
※第七节 倾斜地层的连续速度分析	(125)
第五章 频谱分析	(131)
第一节 周期信号的频谱	(131)
第二节 非周期信号的频谱	(136)
第三节 地震波的频谱计算	(141)
第四节 频谱分析参数的选取及频谱的整理和应用	(151)
第六章 数字滤波	(155)
第一节 数字滤波的基本概念	(155)
第二节 一维频率数字滤波	(159)

第三节	理想滤波器及其存在问题	(167)
第四节	褶积镶边滤波器的设计	(175)
第五节	相关滤波	(188)
※第六节	递归滤波	(195)
※第七节	二维滤波	(204)
第七章	反滤波	(215)
第一节	反滤波的概念及原理	(215)
第二节	地震子波的性质及分类	(226)
第三节	最小平方反滤波	(233)
第四节	地震子波的求取和处理	(241)
第五节	预测反滤波	(251)
第八章	特殊处理技术	(257)
第一节	亮点技术	(257)
第二节	合成地震记录	(268)
第三节	声阻抗曲线技术	(272)
第四节	复地震道技术	(279)
第五节	高分辨率地震资料处理	(285)
第九章	三维地震资料处理	(295)
第一节	三维地震资料处理基本流程	(295)
第二节	三维速度分析	(301)
第三节	三维剩余静校正	(304)
第四节	三维叠加偏移	(308)
第五节	三维显示	(310)
参考文献	(316)

绪 论

一、地震资料数字处理的概念与发展

所谓地震资料数字处理，一般是指用数字计算机对野外采集的地震信息进行处理和分析，以获得供资料解释用的各类地震资料。它是地震勘探工作三个环节（野外采集、数字处理和资料解释）中关键的一环。数字处理质量的高低直接影响地震勘探成果的精度。

在国外，数字处理工作是从60年代开始的。我国较大规模的数字处理则始于1971年，当时只有一台国产的150型百万次计算机，只能进行简单的常规处理。由于利用数字计算机进行地震资料处理较模拟回放有许多优点，如运算速度快、处理方法多而且灵活、精度高和新技术易于推广等优点，所以不到10年时间，我国数字处理就全部取代了模拟处理。

目前，我国石油系统已有26个地震资料处理中心，百万次以上的计算机有45台，机型包括银河、IBM、CYBER、SPERRY、VAX、PE等，所采用的应用软件基本上保持了与国外技术同步发展的水平⁽³⁾。从事地震数字处理工作的职工总数达6600多人。能从事复杂的常规处理，特殊处理和三维处理。

二、数字处理的任务与分类

数字处理的任务是为最终的地震资料解释提供各类剖面和各种地震地质信息。根据不同的处理任务，它又分为现场处理、常规处理、特殊处理和三维处理。

1. 现场处理

现场处理的任务是通过野外现场小型计算机的处理，提供初步的资料，验证野外施工方法和参数是否正确，及时指导野外施工。现场处理手段一般较简单，能进行地震数字仪器月检和年检的分析，还可进行预处理、频谱分析、速度分析和水平叠加等处理。如GS-2000数字地震仪车上配备的PDP-15小型计算机以及FP-3 386现场处理机都能进行现场处理。

2. 常规处理

常规处理的任务是为地震资料构造解释提供高质量的水平叠加剖面、偏移剖面、频谱和速度分析等资料。目前常规处理的内容是以水平叠加为中心的一套处理。随着时间的推移和技术的发展，常规处理的内容也在不断丰富和更新。如图0-1-1、图0-1-2和图0-1-3是国内某计算中心分别在1974年、1981年和1988年三个时期所用的陆上常规处理的流程图，从三个图的发展看出：常规处理流程从简单到复杂，工作由粗到细，中间监视加强，处理技术有了提高。常规处理目前仍然是各个地震资料处理中心的主要任务。

3. 特殊处理

特殊处理是比常规处理更高一级的处理。它的任务主要是面向地震资料的岩性解释，寻找隐蔽圈闭油气藏和储层预测。通过一些特殊处理方法可以提高剖面的信噪比、分辨率和保真度，落实各种复杂构造和圈闭的形态，同时针对承担的地质任务，进行多种地震信息的提取和各种正、反演计算。特殊处理目前包括的处理项目有：

- (1) 亮点处理技术；
- (2) 子波处理技术；

- (3) 合成地震记录与模型计算;
- (4) 合成波阻抗处理;
- (5) 复地震道处理;
- (6) 碳氢检测 (HCI);
- (7) 高分辨率处理;
- (8) 垂直地震剖面资料处理;
- (9) 横波资料处理。

以上这些特殊处理技术的应用大大地丰富了地震资料解释成果, 开阔了解释员的视野, 拓宽了地震勘探的应用范围。

4. 三维地震资料处理

三维处理一般指对野外三维面积勘探采集的地震数据进行的处理。其任务是为构造地震、岩性地震和开发地震的资料解释提供各种二维切面和三维静态显示资料。三维处理的特点是数据量大、处理周期长、精度高。三维处理方法除包括部分二维处理外, 还包含具有三维特色的三维静校正、三维速度分析、三维偏移和三维显示。随着三维地震勘探工作的展开, 三维处理已得到普遍的推广, 目前石油系统三维年处理能力约为 4000~5000km²。为适应这种形势的发展, 本书在第九章专门作了这方面的介绍。

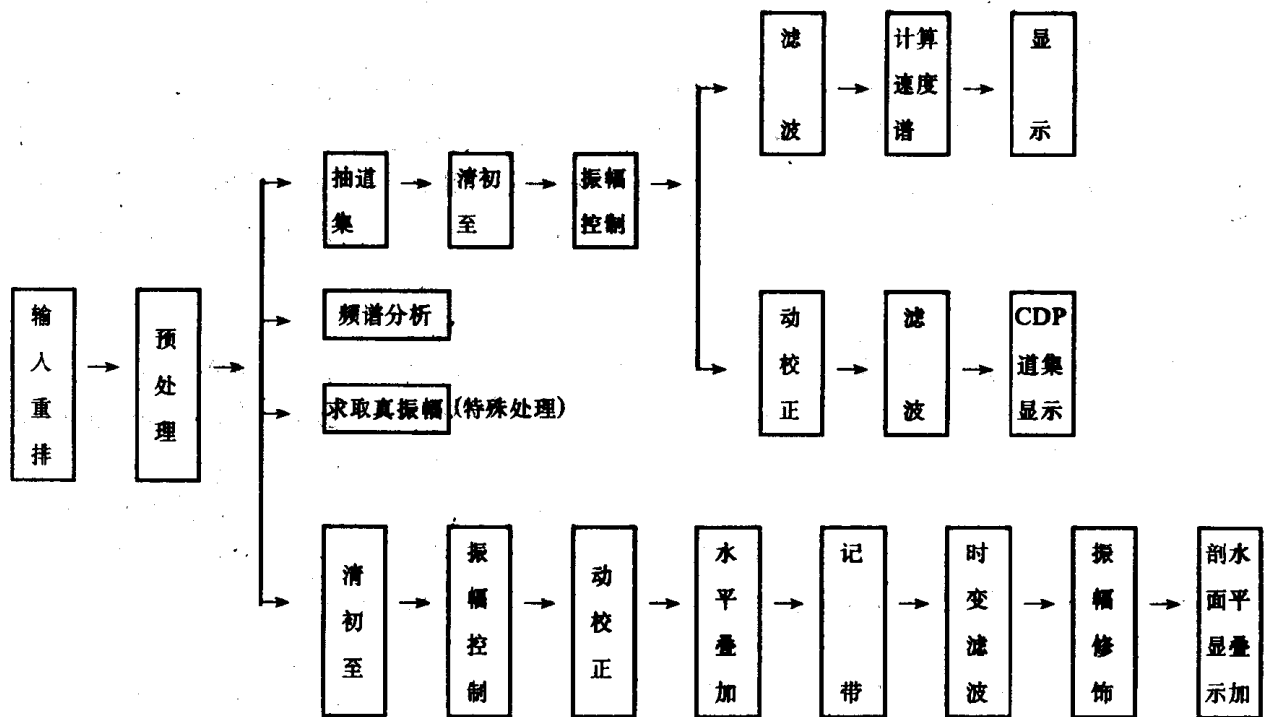


图 0-1-1 1974 年常规数字处理流程

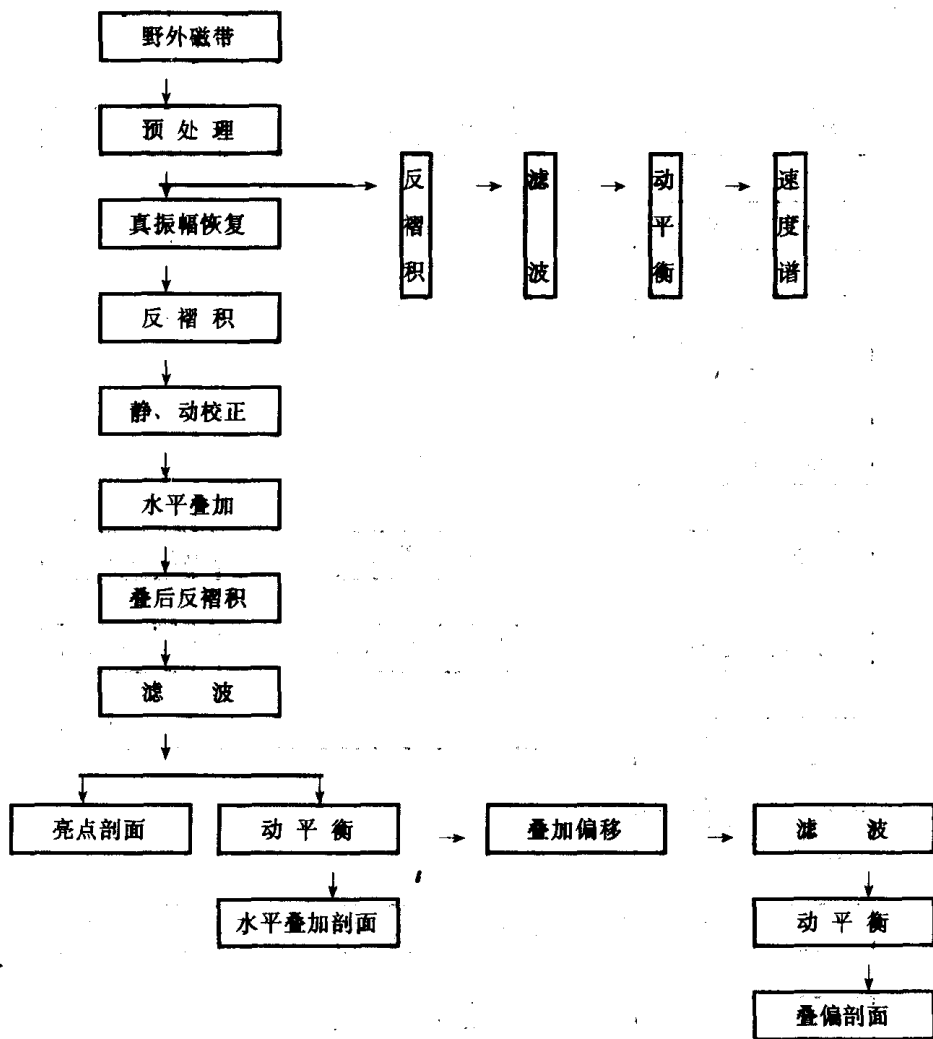


图 0-1-2 1981 年常规数字处理流程

以上把地震资料数字处理分成现场处理、常规处理、特殊处理和三维处理四类。这种分类对于实际工作是有意义的。但是对于数字处理的某种处理方法有可能在各类处理中都用到，故难说它是属于那一类的。为了学习的方便，并考虑到数字处理方法的内在联系，数字处理可分为以下几类。

1) 数据预处理

预处理一般包括解编、登录道头、道编辑、初至切除、道集分选（抽道集）、增益恢复。

2) 数据校正

数据校正包括静校正、剩余静校正、动校正。

3) 叠加（成像）和偏移归位技术

这包括水平叠加、叠前部分偏移、偏移叠加、叠加偏移、垂直叠加和中值叠加。

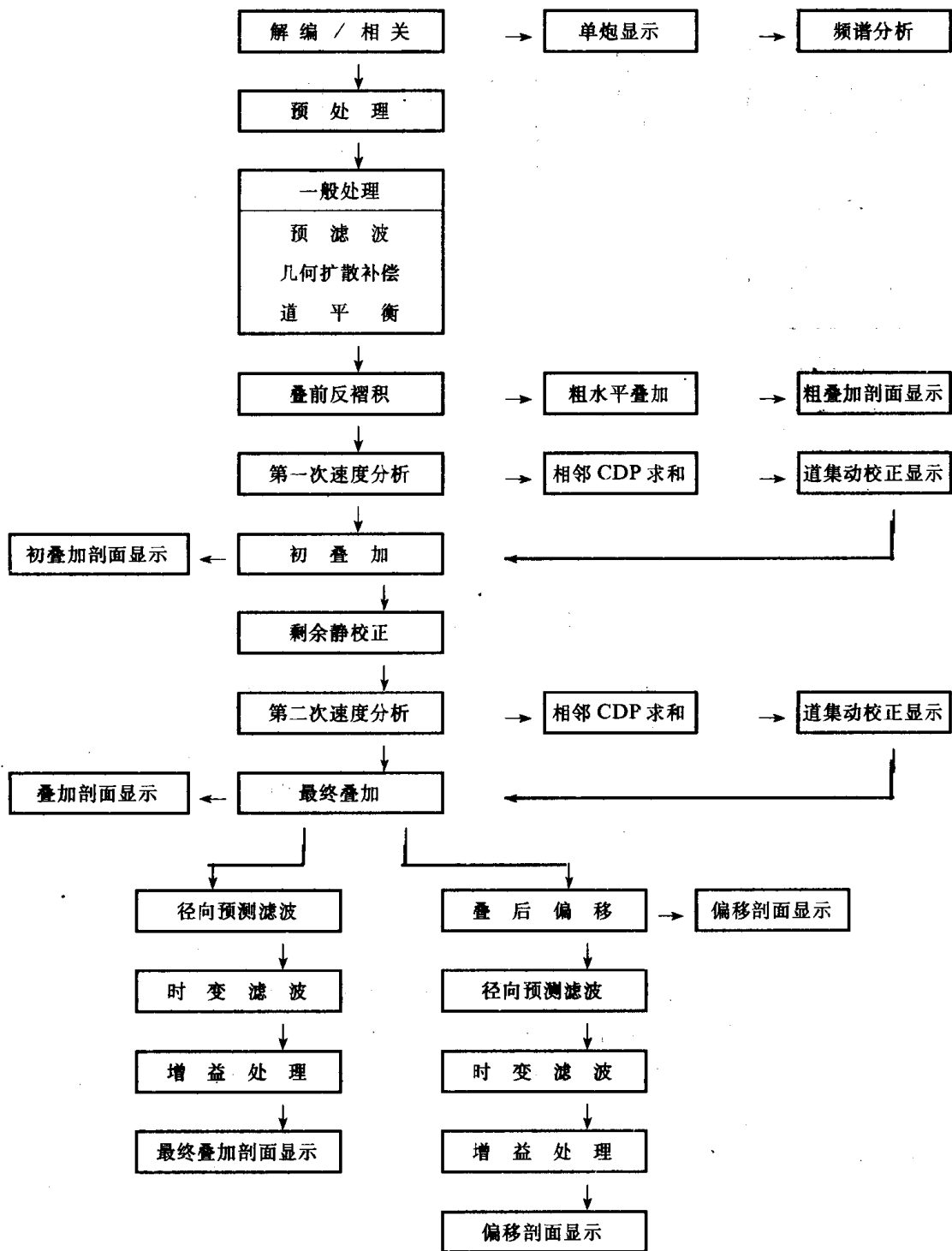


图 0-1-3 1988 年常规数字处理流程

4) 振幅处理

包括振幅平衡、动平衡（单道平衡、道间均衡、区域均衡）相干加强和增益处理。

5) 滤波技术

包含一维滤波、二维滤波和各种反滤波（反褶积）。

6) 分析技术

如速度分析、频谱分析和 Q 扫描等。

7) 正、反演计算

正演计算如人工合成地震记录，岩性模拟。反演计算如合成波阻抗剖面。

8) 复地震道技术

指瞬时振幅、瞬时相位和瞬时频率等“三瞬”剖面的处理。

以上各项内容中，有的处理属于常规处理的范畴，有的处理属于特殊处理的内容，有的处理无论是哪类处理都离不开它，如预处理、滤波技术等。这门课的教学目的是让学生掌握和理解常规数字处理的基本方法和原理，获得进行地震资料处理的基本技能。因此，对涉及常规处理的方法和主要参数的选择原则等内容给与了较多的介绍；对于特殊处理和三维处理的方法，特别是目前已应用的新处理技术（如高分辨率处理等）也进行了必要的、较详细的介绍，使学生毕业后能尽快地适应生产的发展。

三、数字处理质量控制

数字处理的质量关系到地震勘探成果解释的精度，也关系到油、气田的勘探和开发的速度。为了确保其处理质量，对地震原始资料的入库，处理方案的确定，中间监视的控制以及成果验收和质量管理等须按以下要求进行。

1. 野外原始资料的检查与验收

野外原始资料主要包括：野外磁带、仪器班报、观测系统图、测线坐标及测线位置图、地表校正资料，曾处理过的测线还包括地震剖面档案卡等。要处理资料的单位对各项原始资料必须按部颁《地震资料处理技术规程》要求认真整理，齐全、清楚、合格后再送交处理中心。计算中心有权拒不接收不符合要求或资料不全的原始资料。

对于三维资料处理还应提供三维测量成果及各项地质、地震资料和数据，如个别测线的二维剖面 and 工区内的测井资料等。

2. 处理流程及主要参数的确定

为使资料处理目的明确，处理流程及处理参数选择正确，对于承包处理的资料以及专题研究的处理工作，必须遵循先做试验、后批量处理的原则。无试验结论，一般不能批量处理。

批量处理前，首先由甲方（处理单位）处理监督员同乙方（处理中心）技术负责人、处理分析员根据勘探地质任务的要求，共同拟定试验处理方案。为搞好这项工作，甲方应向乙方介绍工区的位置、野外施工条件、原始资料的质量、地下和地表的地质情况、勘探目的层深度和特点、期望解决的地质问题和对资料处理的要求。乙方处理人员应通过频谱分析和速度分析了解反射波和干扰波的频谱特征以及速度特点，还有反射波出现的时间、倾角、强弱和信噪比等。

试验处理应选定有代表性的试验处理测线，确定试验项目，制定试处理流程和主要处理参数。试验后由甲、乙方共同及时地分析试验结果。

在对试验处理资料分析的基础上，由甲、乙双方共同确定处理流程及应用模块主要参

数。处理方案一经确定不能随意更动。

3. 搞好中间监视资料的分析工作

数字处理流程一环紧扣一环，前面处理不好就会影响后续处理的质量，为了不酿成大错，必须层层把好质量关。因此，要搞好对中间监视资料的分析工作。

中间监视资料是处理过程的基础资料，是观察处理过程的窗口，加强对这些资料的分析是搞好资料处理的保证。所谓加强，一是处理分析员责任心要加强；二是处理分析员的技术素质要提高，技术素质好才能善于发现问题，分析问题和解决问题；三是要认真仔细，不认真分析就难以判断处理质量好坏，监而不细就失去了中间监视的作用而造成巨大的浪费；四是中间监视的每一质量控制点要抓主要矛盾，目的要明确。如解编之后的全部单炮显示，除了了解记录的一般质量、反射波分布、干扰波类型之外，主要是准确地挑选废炮、坏道，在预处理时予以剔除。如图 0-1-4 所示，坏道剔除前、后叠加剖面质量有很大不同。

4. 抓好资料处理质量的科学管理

为了搞处理好质量的管理工作，计算中心（站）对资料处理质量应建立处理分析员、班组和系统（站）三级的质量控制，并各负其责把好质量关。在这三级质量检查中，处理分析员的自身检查是质量控制的基础。处理员要有高度的责任心和良好的技术素质，要严、细、准地搞好资料处理工作，努力提高处理质量。班组长的质量控制是三级控制中关键的一环。班组长要全面负责和监控处理的质量，要使处理质量能满足用户要求，对出现的质量问题要协同处理分析员查明原因，并给以必要的技术支持和帮助。系统（站）一级的质量控制是处理成果的标准化检验。对于地表或地下条件复杂，难以处理好的资料要组织“会诊”和攻关，

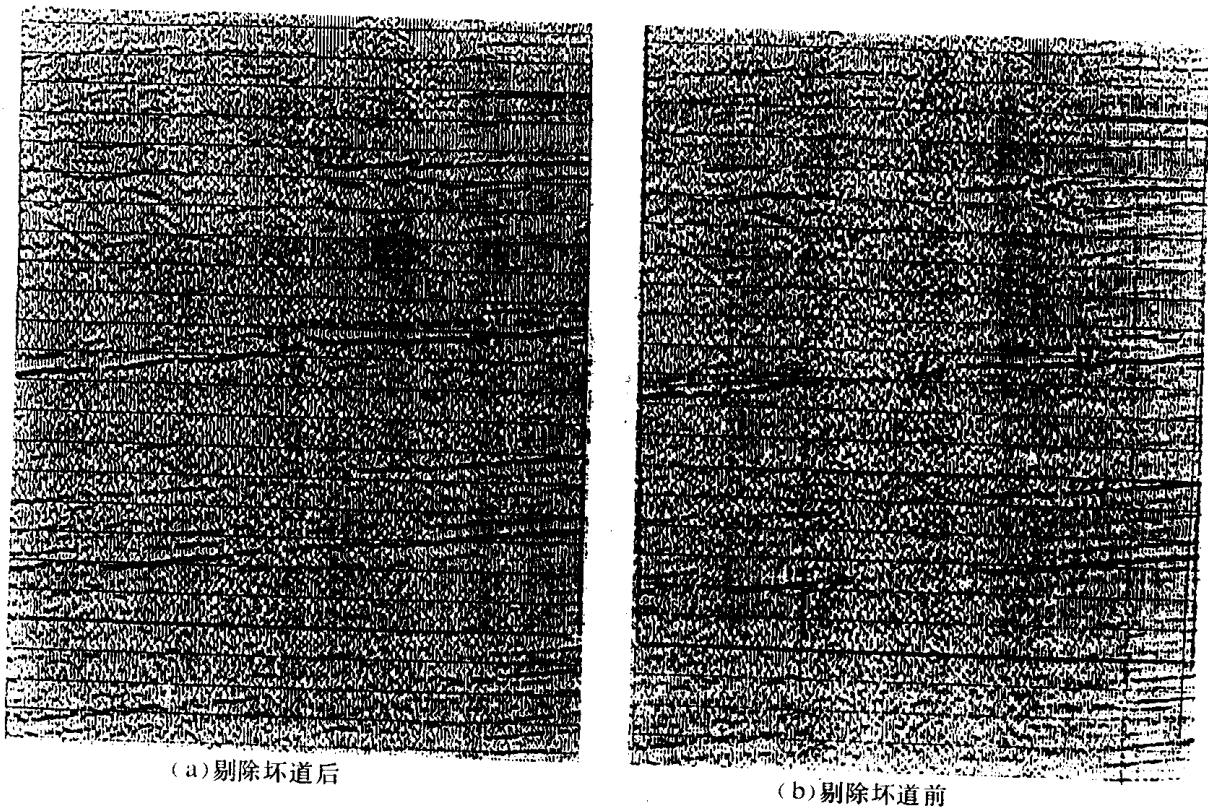


图 0-1-4 剔除坏道前、后的质量对比

以确保处理质量符合标准。总而言之，只有三级尽心尽职抓好质量管理，才能使资料处理的质量更上一层楼。

四、预处理

所谓预处理，即是对原始地震资料进行最初的处理，使之符合一定的计算机和后续处理的要求。例如野外资料的记录格式和数据形式一般与计算机要求不同，必须通过预处理进行数据格式的转换和数据重排才能适应下一步的处理。

预处理一般包括：解编与相关、登录道头、道编辑、道集分选（抽道集）和增益恢复等。

1. 解编（重排）与相关

野外每一炮的数字地震记录是按时分道采样的，即依次记下各道的第一个采样值后，再记下各道的第二个采样值。如此记下去直到该炮记录结束，它在磁带上记录次序为 x_{11} 、 x_{12} 、 x_{13} 、 \dots 、 x_{1n} ； x_{21} 、 x_{22} 、 x_{23} 、 \dots 、 x_{2n} ； \dots ； x_{m1} 、 x_{m2} 、 x_{m3} 、 \dots 、 x_{mn} 。把按时分道排列的数据写成下列矩阵形式为

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (0-1-1)$$

式中 x_{mn} ——表示第 n 道的第 m 个样点值；

n ——记录总道数；

m ——每个记录道的采样点总数。

这种排列形式是不便于处理的，必须把按时分道的采样数据重新编排成按道分时的采样数据。它在磁带上的记录次序为 x_{11} 、 x_{21} 、 \dots 、 x_{m1} ； x_{12} 、 x_{22} 、 \dots 、 x_{m2} ； \dots ； x_{1n} 、 x_{2n} 、 \dots 、 x_{mn} 。按道分时排列的数据写成矩阵形式则为

$$B = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & \dots & x_{m1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & \dots & x_{m2} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (0-1-2)$$

这相当于把 (0-1-1) 式的矩阵转置所得。这种把按时分道排列的数据通过计算机重排成按道分时排列的处理称为解编（重排）。解编后输出单炮记录。

对于可控震源的原始记录，解编之后还应进行相关处理才能得到所需的单炮记录。

解编和相关后输出宽行和单炮记录，挑出坏炮和坏道，分析干扰波类型，拾取反褶积起始时间。

2. 登录道头

由于地震数字处理是以道为基本处理单位，因此，要把说明该地震道的有关信息登录在道头上，以备处理时查找。道头内容包括：炮号、道号、共深度点号、共深度点坐标、炮检距、道距、覆盖次数、采样间隔、记录长度、有效性标志、……等有关的信息。

3. 道编辑（道编校）

道编辑就是对解编和相关后的单炮地震道进行剪辑加工。其主要功能：去除废炮和坏道，清野道、纠正反道和切除处理。

要去除某一坏道，只需在该道头的某个有效性标志位置上置一个约定的“字”，就可以去除该道或将其数据充零。

清野值，野值是指振幅异常大的脉冲干扰。清野值就是把野值充零。

纠正反道是对极性反转的地震道乘以-1。

切除处理包括初至切除和中间切除。初至切除是为了消除能量强的初至波和浅层折射。切除时间等于初至时间与破坏带宽度之和，初至切除对于反滤波器的设计、速度分析以及避免后续处理中出现的叠加噪声都是有益的。中间切除是去除地震道中段某些强烈干扰。如面波、声波以及激发时戒严不严而产生的人为干扰等，其强度有时比反射波大，如果参加叠加会影响处理效果。因此要进行中间切除以保证处理质量。切除就是对被切除的记录段数据充零。

4. 道集分选（抽道集）

道集是指按某一规律从野外测线的全部地震道中分选出一批道的集合。选取道集的过程叫道集分选或叫抽道集。道集有下列四种类型。

1) 共深度点道集

具有相同炮检中心点的各个地震道的集合为共深度点道集（严格地说应是共中心点道集，而只有在反射层水平时共中心点道集才与共深度点道集一致）。在道集中各道依炮检距大小顺序排列。这是方便处理的主要道集类型。如做速度谱、水平叠加等处理都用此种道集。同一共深度点道集中各道都分布在同一共深度点线上（见图 0-1-5）。

2) 共炮点道集

共炮点道集就是一张单炮记录。该道集中各地震道都在同一共炮点线上（图 0-1-5），即具有同一震源。共炮点道集主要用来检查质量和做自动静校正用。

3) 共接收点道集

具有相同接收点的各个地震道的集合称为共接收点道集。道集中各地震道的分布都在同一接收点线上，各道的炮点都不相同（见图 0-1-5）。这种道集主要用于自动静校正。

4) 共炮检距道集

一条测线上所有炮检距相同的地震道的集合称为共炮检距道集。它的分选遵循共炮检连线的规律（见图 0-1-5）。共炮检距道集相当于单次覆盖剖面（未做动校正），可以用来了解野外记录的质量和地下地质体的大致形态，帮助确定速度点等。

5. 增益恢复

在预处理中对数字地震记录要进行增益恢复，即把数字磁带上记录的信号恢复到地面检波器输出的信号。

地震信号的能量变化是很大的。一般情况下，浅层反射波能量大，深层的能量小。为了使深、浅层反射波的能量都能被记录下来，数字地震仪采用了增益控制的办法。其方法是对

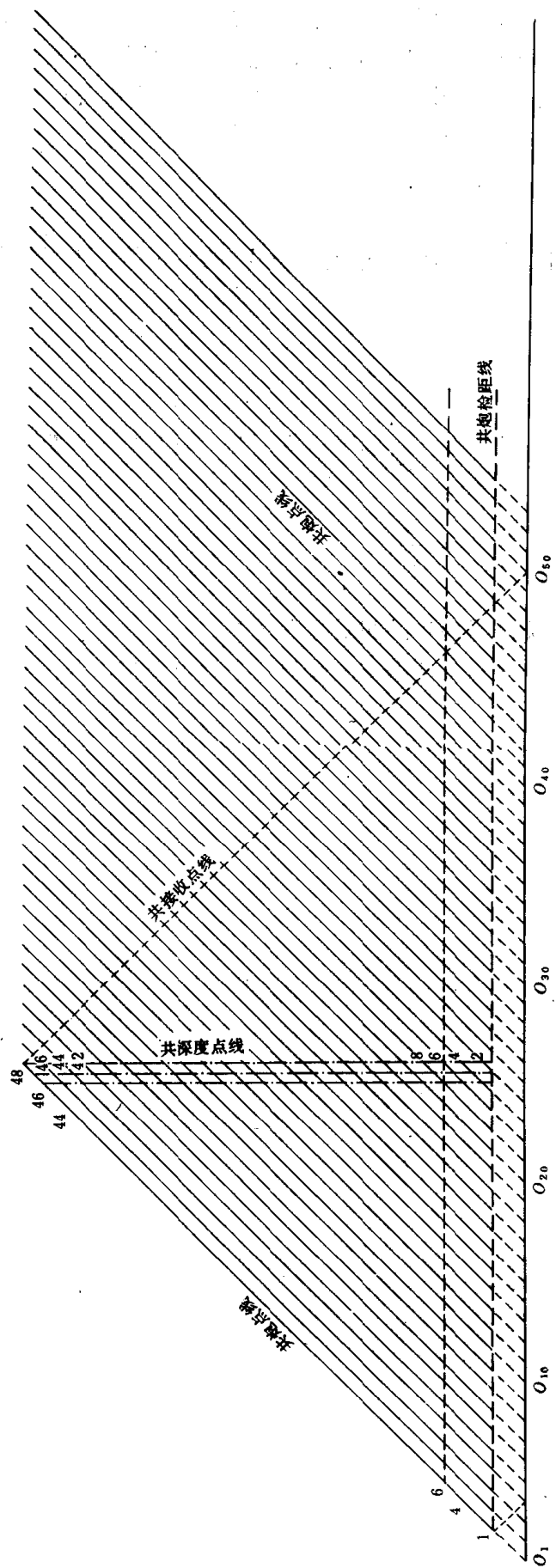


图 0-1-5 抽道集规律示意图

弱信号放大得多，强信号放大得少，目的使强、弱信号都能被记录下来，并保证弱信号有一定的有效位数。从数字仪的记录过程得知，若设数字仪的前置放大器的前放增益（固定增益）为 2^K ，主放大器（瞬时浮点增益控制放大器）的主放增益（可变增益）为 2^G ，某时刻检波器输出的样点值为 X_0 ，则野外数字磁带最后记录下来的数值 X （尾数）为

$$X = X_0 \cdot 2^K \cdot 2^G \quad (0-1-3)$$

从上式知，尾数 X 的大小并不能反映检波器输出信号 X_0 的真正值。为了恢复检波器输出时 X_0 值，增益恢复的公式为

$$X_0 = \frac{X}{2^K \cdot 2^G} \quad (0-1-4)$$

由于野外施工中，一条测线的前放增益一经确定后就不变，它对每个地震道信号的作用在时间和空间上是一致的，因此可用下式

$$X_0 = \frac{X}{2^G} \quad (0-1-5)$$

作增益恢复处理，并不改变检波器输出时信号的相对强弱关系。

把以上各项处理后得到的地震信号转录到磁带上就得到了预处理带，利用预处理带就可方便地进行以后的各种正式处理。

第一章 动校正和静校正

地震记录经过抽道集后，得到共中心点道集记录，在界面水平时，就是共反射点道集记录，简称道集记录。为了进行水平叠加，必须对道集记录进行动、静校正。在这一章中，我们将讨论动、静校正的基本概念，动、静校正量的求取，以及动、静校正的实现方法。

第一节 动校正的基本概念

一、水平界面的动校正

设地下有一水平反射界面 ξ (图 1-1-1)，上覆均匀介质速度的 v ，在 O_i 放炮，在对称于 M 点的 S_i 点接收，接收时间为 t_i ，得到时距曲线的左半支，互换炮点和接收点，则可得到时距曲线右半支。对称点 M 称为共中心点或共地面点，在界面水平情况下，共反射点 A 在共中心点的 M 的正下方。共反射点 A 的时距方程为

$$t_i = \frac{1}{v} \sqrt{4h^2 + x_i^2} = \sqrt{t_0^2 + \frac{x_i^2}{v^2}}$$

式中 $\frac{2h}{v} = t_0$ 为 M 点的垂直反射时

间；

$i = 1, 2, 3, \dots, N$ ，是道的序号；

N ——覆盖次数；

x_i ——炮检距。

各道相对于炮检距 $x_i = 0$ 的中心道均有一个时间延迟 Δt_i ，我们将 S_i 道接收时间 t_i 减去一个 Δt_i ，并使得

$$t_i - \Delta t_i = t_0$$

于是便有

$$\Delta t_i = t_i - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \frac{x_i^2}{v^2}} - t_0$$

$$= t_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x_i}{vt_0}\right)^2} - 1 \right] \quad (1-1-1)$$

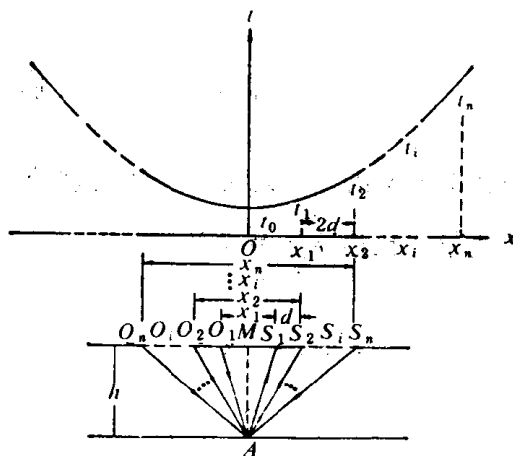


图 1-1-1 水平界面共反射点时距曲线图