

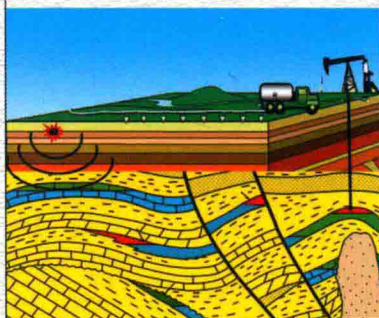


中国地质大学(武汉)本科教学工程项目资助
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助
中国地质大学(武汉)实验教学系列教材

地震勘探 实验指导书

DIZHEN KANTAN SHIYAN ZHIDAOSHU

许顺芳 张 兵 ◎编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中国地质大学(武汉)本科教学工程项目资助
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助
中国地质大学(武汉)实验教学系列教材

地震勘探实验指导书

DIZHEN KANTAN SHIYAN ZHIDAOSHU

许顺芳 张 兵 编著

图书在版编目(CIP)数据

地震勘探实验指导书/许顺芳,张兵编著. —武汉:中国地质大学出版社,2017.4
中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
ISBN 978-7-5625-4004-5

- I. ①地…
- II. ①许… ②张…
- III. ①地震勘探-实验-教材
- IV. ①P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 071880 号

地震勘探实验指导书		许顺芳 张 兵 编著	
责任编辑:王 敏		责任校对:徐蕾蕾	
出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮政编码:430074	
电 话:(027)67883511	传 真:67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn	
经 销:全国新华书店		http://www.cugp.cug.edu.cn	
开本:787 毫米×1092 毫米 1/16		字数:199 千字	印张:7.75
版次:2017 年 4 月第 1 版		印次:2017 年 4 月第 1 次印刷	
印刷:武汉市籍缘印刷厂		印数:1—1000 册	
ISBN 978-7-5625-4004-5		定价:26.00 元	

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

中国地质大学(武汉)实验教学系列教材

编委会名单

主 任:唐辉明

副主任:徐四平 殷坤龙

编委会成员:(以姓氏笔画排序)

公衍生 祁士华 毕克成 李鹏飞

李振华 刘仁义 吴 立 吴 柯

杨 喆 张 志 罗勋鹤 罗忠文

金 星 姚光庆 饶建华 章军锋

梁 志 董元兴 程永进 蓝 翔

选题策划:

毕克成 蓝 翔 张晓红 赵颖弘 王凤林

前言

《地震勘探实验指导书》是中国地质大学地球物理与空间信息学院实验中心系列实践教学教材。本教材适用于勘查技术与工程、地球物理学、资源勘查工程等相关本科专业的教学实验,同时也可供相关人员的培训使用。

地震勘探是地球物理勘探的重要方法之一,它在能源勘探与开发中起到了十分重要的作用。随着地震勘探技术的发展,它不断扩大应用领域,目前已广泛应用于工程地震,如地热勘探,公路、铁路、港口、民用建筑及大型厂房等的基础勘探,另外在天然地震预测、地质灾害(如滑坡等)调查、环境保护方面也有应用。

地震勘探是一门实践性很强的学科,需要有课堂的理论学习和实践锻炼才能真正理解并全面掌握。地震勘探教学由课堂教学和实验教学两大部分组成。实验教学是课堂教学的延续和补充,它既弥补了课堂理论教学中看不到、摸不着的东西,也弥补了课堂上学不到和讲不清楚的知识,往往这些知识又恰恰是生产实际中必需掌握的。因此实验教学在整个教学中是必不可少的,而且至关重要。

本教材结合理论教学中的相关内容设置,共安排了三部分的实验内容。第一部分超声波实验,共4个实验内容,包括弹性波介质速度超声波测量,地震波场超声模拟认识,单层介质反射波时距曲线的超声模拟测定,三维观测系统及物理模拟认识实验。第二部分野外场地实验,共7个实验内容,包括地震勘探装备认识及一致性检查,野外数据采集及地震波认识,地震映像法野外数据采集,浅层地震多次覆盖野外数据采集,浅层折射波野外数据采集,瞬态瑞雷面波野外数据采集,井间地震波CT法野外数据采集。该部分内容从地震装备的认识对仪器的检查出发,通过实验掌握仪器的操作,掌握目前常用的浅层地震的野外数据采集技术,深入理解各种波的传播规律。第三部分数据处理实验,共两个实验内容,包括一维频谱分析与滤波,FK滤波。一维频谱分析要求学生能识别有效波与干扰波频带分布,二维频谱分析要求学生能在F-K域内能识别有效波与干扰波分布的区域。一维和二维频谱分析为设计滤波器提供基础。每部分实验内容安排2~4学时完成,也可以根据课堂教学内容选做实验内容。

在本实验教材的编写中,实验十二和实验十三由严哲编写,实验三中的数值模拟内容由刘江平提供,其他实验内容由许顺芳及张兵共同编写完成。全书由刘江平、朱培民审核,教材中数据处理软件由张学强提供。教材的出版得到中国地质大学(武汉)实验室与设备管理处和教务处的鼎力支持,在此表示诚挚的谢意。同时向教材所涉及参考资料的所有作者表示衷心的感谢。

因作者水平所限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2016年9月

目 录

第一部分 超声波实验

实验一	弹性介质速度超声波测量	(3)
实验二	地震波场超声模拟认识	(6)
实验三	单层介质反射波时距曲线的超声模拟测定	(12)
实验四	三维观测系统及物理模拟认识实验	(19)

第二部分 野外场地实验

实验五	地震勘探装备认识及一致性检查	(25)
实验六	野外数据采集及地震波认识	(36)
实验七	地震映像法野外数据采集	(43)
实验八	浅层地震多次覆盖野外数据采集	(48)
实验九	浅层折射波法的野外数据采集	(54)
实验十	瞬态瑞雷面波的野外数据采集	(58)
实验十一	井间地震波 CT 法野外数据采集	(62)

第三部分 数据处理实验

实验十二	一维频谱分析与滤波	(67)
实验十三	FK 滤波	(73)
主要参考文献		(81)
附件一	RSM-SY5 仪器使用说明	(82)
附件二	超声地震物理模拟实验数据采集系统使用说明	(90)
附件三	Geode 地震仪操作手册	(99)
附件四	HX-DHH-03J 型电火花声波发射震源使用说明书	(111)

第一部分 超声波实验

本部分实验在超声波实验室内完成,共4个实验内容,包括弹性波介质速度超声波测量,地震波场超声模拟认识,单层介质反射波时距曲线的超声模拟测定,三维观测系统及物理模拟认识实验。每部分实验内容安排2学时完成,可以根据课堂教学内容选做实验。

实验一 弹性介质速度超声波测量

一、实验目的

- (1) 认识超声实验仪器及探头(换能器), 学会仪器操作。
- (2) 学会辨认纵波和横波。
- (3) 测量介质纵、横波速度。

二、实验内容

- (1) 认识超声仪器, 学会操作。
- (2) 认识夹心式探头。
- (3) 测量 3~4 种材料的纵波速度和横波速度(多次测量)。

注意: 用夹心式探头测试时, 每一对探头之间会存在一定的超声波传播时间, 在测试之前应该先对这个时间进行测定, 一般称该时间为探头对零时间。计算速度时, 测量的传播时间应减去对零时间。

三、实验原理

超声波测量弹性介质速度的基本原理如图 1-1 所示。RSM-SY5 声波仪的控制部分发信号给发射机, 令它向发射探头发射电压, 同时给计数器开门信号, 并开始计时。当震动信号经模型介质到达接收探头后, 探头接收的信号经放大后送入计算机, 计算机上便显示出相应的波形。

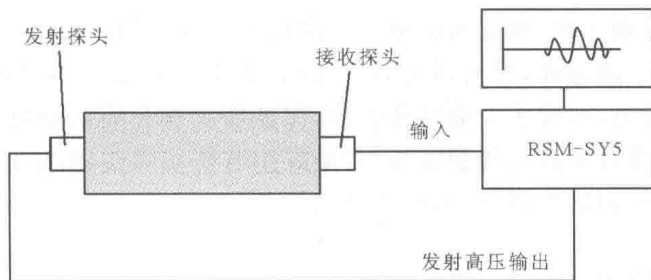


图 1-1 超声波测量弹性介质速度的基本原理示意图

探头(换能器)是用压电陶瓷做成。它是电声转换装置, 可将电信号转换为声信号向介质发射。介质产生的机械振动(声是一种机械振动)又可由探头将它转换为电信号, 再由接收机

将它接收、放大显示出来。

通过读取直达波时间 t (纵波、横波, μs) 和量取介质的长度 l (cm), 利用公式 $v=l/t$ 计算获得介质速度 (m/s)。计算时需注意时间和长度单位的换算。

四、仪器的操作

超声仪器设备主要由发射换能器、接收换能器、RSM-SY5 声波仪和笔记本电脑组成(图 1-2)。仪器的操作见附件一。

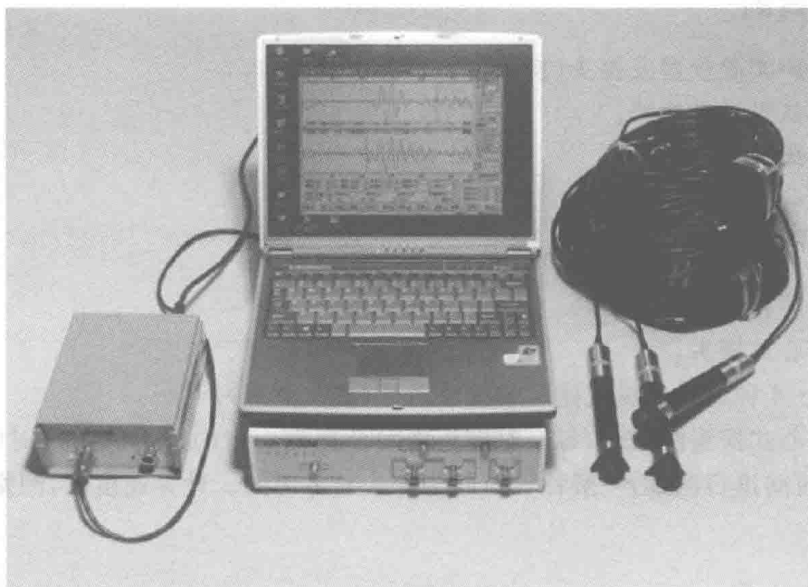


图 1-2 超声仪器主要设备

五、实验步骤

(1) 选择 3~4 种材料, 用尺量取材料的长度, 每种材料的长度量取 3 次以上, 分别记录在表格中, 用材料长度的平均值计算速度。

(2) 对每种材料分别用纵、横波探头测量 3 次以上, 读取时间分别记录在表格中, 用读取时间的平均值计算速度。测量前, 探头要先对零, 读取对零时间, 记录在表格中。

注意: 在纵波测量时, 在探头上涂抹凡士林, 保证探头和介质接触良好; 在横波测量时, 在探头上涂抹少许凡士林并对探头施加按压, 或最好用石膏将探头固结在材料上保证探头和介质接触良好。认真分析识别纵、横波的起跳时间。

六、实验报告内容

(1) 实际的实验内容。

(2) 探头的延续度、分辨率分析。

(3) 材料速度(测量数据列表)。

附记录表格

材料	长度 $l(\text{cm})$			旅行时间 $t(\mu\text{s})$			对零时间 t_0 (μs)	速度 $v(\text{m/s})$			平均 v 值 (m/s)
	l_1	l_2	l_3	t_1	t_2	t_3		v_1	v_2	v_3	

实验二 地震波场超声模拟认识

一、实验目的

验证课本上所学的弹性介质地震波传播理论知识,认识波在介质中的传播规律。

二、实验内容

- (1)学会超声地震物理模拟实验系统的操作。
- (2)观察并描述波的传播规律。
- (3)了解平界面直达波、折射波及反射波时距曲线的特点和相互之间的关系。

三、实验原理

1. 地震波的反射和透射

如图 2-1 所示,假设界面 R 将弹性空间分为上、下两部分 W_1 和 W_2 ,上半空间纵波的传播速度为 V_1 ,下半空间为 V_2 。平面波波前 AB 以入射角 α 投射至界面,当地震波(平面波)波前上的 A 点到达界面 R 上的 A' 点时(此时平面波前为 $A'B'$),根据惠更斯原理可以将界面上的 A' 点看成一个新震源,由该点产生一个新扰动向介质四周传播,当波前上的 B' 点经过 Δt 时间传播到界面 R 上的 Q 点时,由 A' 点新震源发出的扰动在 W_1 介质中亦以速度 V_1 传播了 Δt 时间,且在 W_2 介质中以速度 V_2 传播了 Δt 时间。在 W_1 和 W_2 介质中,均以 A' 点为圆心,并分别以 $V_1\Delta t$ 和 $V_2\Delta t$ 为半径画弧,以 Q 点分别画这两圆弧的切线,切点为 S 点和 T 点。

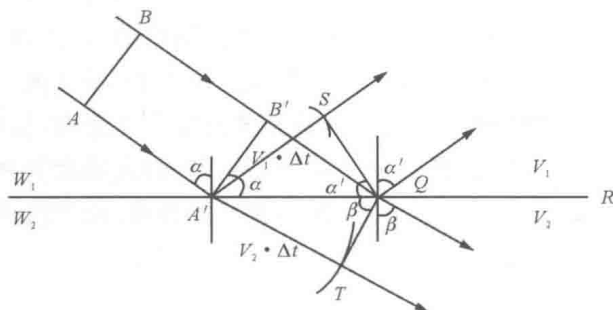


图 2-1 地震波的反射和透射

从图 2-1 中可以看出,在 W_1 介质中产生的新波前为 QS ,它同入射波波前 $A'B'$ 在同一介

质内,称为反射波;在 W_2 介质中产生新波前为 QT ,称为透射波。如果设入射波波前面 $A'B'$ 、反射波波前面 QS 、透射波波前面 QT 同界面 R 的夹角分别为 α 、 α' 、 β ,则从图中简单的三角关系可以得到如下几点:

- 新波前:切线 QS 、 QT 。
- 反射波:波前 QS 在 W_1 介质中。
- 透射波:波前 QT 在 W_2 介质中。
- 斯奈尔定律:

$$\frac{\sin\alpha}{V_1} = \frac{\sin\alpha'}{V_1} = \frac{\sin\beta}{V_2} = P$$

2. 折射波的形成

据透射定律可知,当 $V_2 > V_1$,随 α 增大, β 也增大,透射波射线偏离法线向界面靠拢,当 $\alpha = i$ (临界角),使 $\beta = 90^\circ$,透射波以 V_2 速度沿界面滑行,形成滑行波。滑行波所经过的界面上的任何一点,都可看作从该时刻产生子波的新震源,在上层介质中形成一种新的波动。由于它是高速滑行波的超前运动所引起的,在离开 O 点一定距离后,最先记录到该波,这样的折射波又称为首波,如图 2-2 所示。

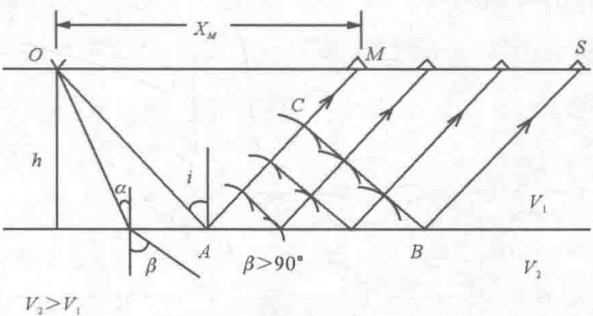


图 2-2 折射波的形成

四、实验操作

本次实验使用的实验装置为超声地震物理模拟实验系统,仪器操作见附件二;水为上层介质,速度为 1450m/s;下伏介质为有机玻璃板,速度为 2200m/s(可以根据实测获得)。

1. 摆放模型,定位发射和接收探头位置

按照实验要求用有机玻璃板物理模型,放入水槽中的实验台上,将坐标轴定位到模型需要观测的起始位置,将起始位置点设置为相对坐标原点,在计算机上按下 **设坐标1原点** 或 **设坐标2原点** 设定为坐标原点。实验模型和装置实例如图 2-3 所示。

2. 量取模型尺寸

用直尺量取模型到水面的距离。

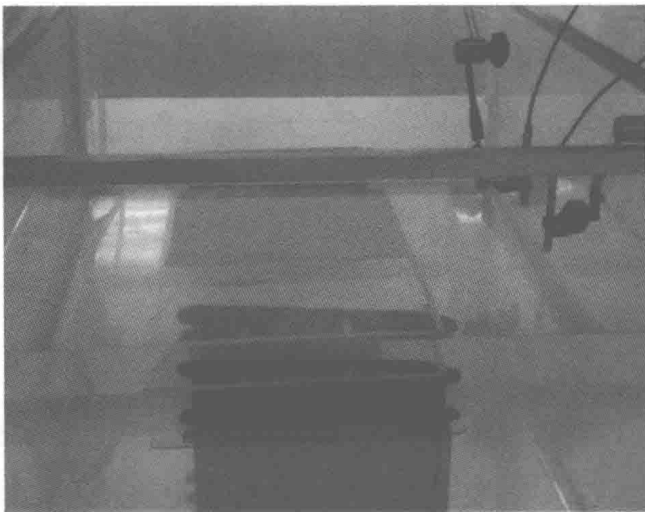


图 2-3 实验模型及装置

3. 输入/读出观测系统

观测系统和野外实际的观测系统相似,是物理模型的地震信号模拟采集的实施方案。根据实验要求合理设计出模型的观测系统,或者将以前设计的观测系统调入,先按 **确认** ,再按 **写文件** ,将当前观测系统参数保存为文件,得到一个观测系统文件和一个采集数据文件。然后按 **读文件** ,读入观测系统(表 2-1)。

表 2-1 观测系统表示例

观测类型 参数	二维地面观测系统 (单位:0.01mm)	三维地面观测系统 (单位:0.01mm)
束线数	1	2
束线距	0	4000
束线测线数	1	4
炮线数	300	20
炮线起始位置	0	0
测线起始位置	0	0
接收道数	48	48
最小炮线检波点距	0	0
炮线距	200	1000
炮数/炮线	1	3
炮点间距	0	2000
道间距	100	200
测线距	0	2000
采样点数	8000	6000
采样频率	20	10

3. 模型数据采集

打开以上保存的观测系统文件,观测系统表将在软件显示栏观测系统表内显示,操作员可利用鼠标或键盘任意地选择一个或多个观测系统表条目,选中的观测系统表条目标记为深色,再选择采集按钮 ,系统按升序检测观测系统表条目,若观测系统表条目被选择,系统根据观测系统表条目序号定位该条目对应的炮记录在地震道数据文件的位置,并在屏幕上显示;依据观测系统表条目内容定位发射和接收测头,启动采集,存储该炮记录。此过程将实现全自动数据采集。

4. 数据后期处理

实验得到的数据是微机二进制 16 位 short 数据格式,可转换为工作站 SEG - Y 数据格式,这里提供一个简单的转换程序:shortTosegy.exe。运行后,根据提示填入正确的参数,如图 2-4 所示,即可转为标准的 SEG - Y 数据。后期的处理解释工作将和野外数据一样,完全可以在工作站专业处理软件中进行处理。

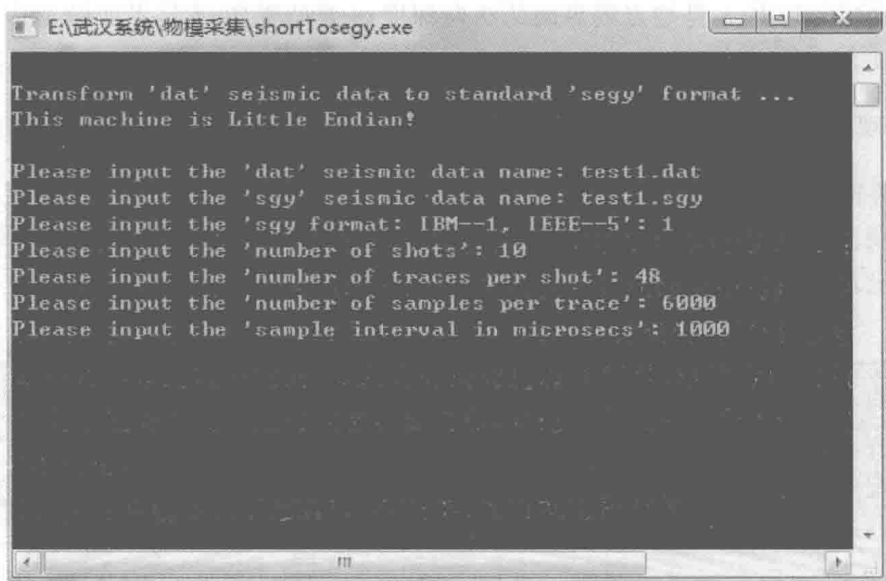


图 2-4 实验数据转存 SEG - Y 格式程序

5. 数据计算

分别在共炮点记录上识别并标示出接收到的各种波。根据实际模型计算出直达波、反射波和折射波的传播时间,并与实测共炮点记录进行对比。

直达波到达时间 $t(\text{s})$ 计算,因均匀介质中波的传播路径是直线,根据水的波速 ($V = 1450\text{m/s}$) 和炮点到接收点的距离 $X(\text{m})$ 就可以根据式(2-1)计算出直达波到达的时间:

$$t = \frac{X}{V} \quad (2-1)$$

反射波到达时间 $t(s)$ 计算,按单个界面时,共炮点反射波时距曲线方程的一般式计算:

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{X^2 \pm 4hX \sin\phi + 4h^2} \quad (2-2)$$

式中: h 是炮点到界面的法向深度(m); X 是炮点到接收点的距离(m); ϕ 是界面的倾角($^\circ$),下倾激发用“-”号,上倾激发用“+”号。

折射波临界点位置到达时间 $t(s)$:

当界面水平时用式(2-3)计算。

$$t = \frac{2h}{V_1 \cos\alpha}, \sin\alpha = \frac{V_1}{V_2} \quad (2-3)$$

式中: h 是炮点到界面的法向深度; α 是临界角, V_1 、 V_2 是上、下层介质速度。

当界面倾斜时,要考虑下倾激发或上倾激发的计算公式差异,下倾激发时用式(2-4)计算,上倾激发时用式(2-5)计算。

$$t = \frac{h}{V_1 \cos\alpha} \left[1 + \frac{\sin(90 - \alpha - \phi)}{\sin(90 - \alpha + \phi)} \right], \sin\alpha = \frac{V_1}{V_2} \quad (2-4)$$

$$t = \frac{h}{V_1 \sin(90 - \alpha)} \left[1 + \frac{\sin(90 - \alpha + \phi)}{\sin(90 - \alpha - \phi)} \right], \sin\alpha = \frac{V_1}{V_2} \quad (2-5)$$

式(2-4)和式(2-5)中: h 是炮点到界面的法向深度; α 是临界角; ϕ 是界面倾角; V_1 、 V_2 是上、下层介质速度。

6. 炮点观测记录

对水平界面和倾斜平界面均做共炮点观测(即发射探头固定在某一个位置,接收探头每移动 2~3mm 观测一次,分别读出直达波和反射波传播时间。注意:激发点两边均要观测)。获得的共炮点记录如图 2-5 和图 2-6 所示。

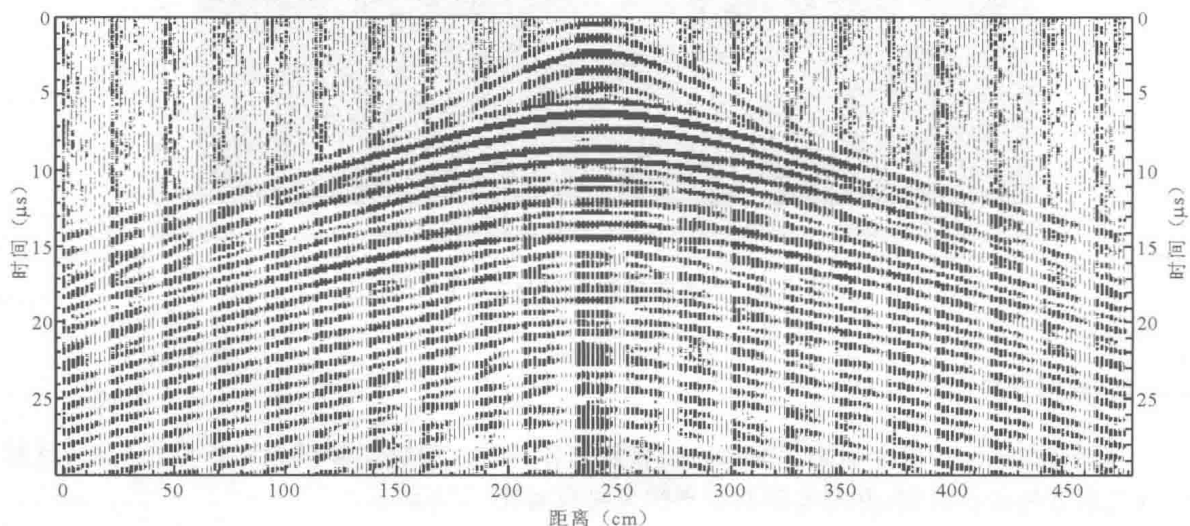


图 2-5 超声地震物理模拟水平界面共炮点记录

