

# 典型地震地质特征图集



曲寿利◎著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 典型地震地质特征图集

曲寿利 著



中國石化出版社

图书在版编目 ( CIP ) 数据

典型地震地质特征图集 / 曲寿利著. — 北京 : 中国石化出版社, 2018.11  
ISBN 978-7-5114-5064-7

I. ①典… II. ①曲… III. ①地震地质图 - 中国 - 图集 IV. ①P315-64

中国版本图书馆CIP数据核字 ( 2018 ) 第233476号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

**中国石化出版社出版发行**

地址: 北京市朝阳区吉市口路9号

邮编: 100020 电话: ( 010 ) 59964500

发行部电话: ( 010 ) 59964526

<http://www.sinopec.press.com>

E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

880 × 1230毫米 16开本 19印张 459千字

2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

定价: 368.00元

# ORDER 序

近 20 年来，中国石化在国内油气勘探方面取得了重大成果，在西部塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地等相继发现了塔河、顺北、普光、元坝、涪陵、大牛地等大型油气田，在东部老油气区的新领域、新层系也有新发现，实现了东部老区增储稳产。

油气勘探成果给了我们重要启示：一是大油气田的发现首先是地质思路与认识的创新，二是地球物理技术的进步和地震资料品质的改善。短短 20 年间，中国石化油气发现区基本实现了三维地震全覆盖，重点增储区完成了高精度三维地震勘探，同时应用基于大数据、云计算的处理和解释新技术，不仅大幅改善了地震资料的品质，而且挖掘出更多的用于地质解释的地震属性，从而给勘探家更多的信息去判识、预测和描述地下的油气藏，大大推进了地震和地质更紧密地结合，这也是勘探成功的重要保证。

典型地质体和油气藏都具有典型的地震响应特征，值得认真地总结。很高兴能看到《典型地震地质特征图集》一书与读者见面，书中总结了我国主要含油气盆地典型的沉积、构造、储层的地震地质特征，不仅可以帮助物探人员更好地认知地质模式，也可以让地质人员了解地质体的地震响应特征，是油气勘探工作者加强地震与地质紧密结合的一本重要参考书。

本书的作者曲寿利教授是我国著名的地球物理学家，是中国石油物探的技术带头人，在地震勘探方法与应用、软件研发、信息化建设等方面均有很深的造诣，他带领团队利用近两年的时间完成了本书的编写。该书图文并茂，其中蕴含了作者多年积累的勘探经验，也反映出地球物理技术的进步。相信本书对地质工作者、地球物理工作者都有重要的借鉴和指导意义。

曲永生

# PREFACE 前言

油气地震勘探在我国已经有近百年的历史，国内外油气勘探史证明，地震反射法是寻找油气圈闭的最有效的方法。进入 21 世纪后，随着地震仪器、装备、计算机计算能力的发展，地震采集、处理与解释技术不断进步，地震勘探方法由二维发展到三维、四维、五维，地震信息量成十倍、甚至百倍地增长，地震勘探不仅继续解决油气藏的发现，还能从中获得储集层的分布、岩性、物性、流体性质、地层压力及油气藏模型等信息，指导油气勘探与开发。

近 20 年来，中国石化在国内油气勘探方面取得了重大的成果，在塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地等相继发现大规模的油气田，如塔河油田、普光气田、元坝气田、大牛地气田涪陵页岩气田等。这些大型油气田的发现首先是地质认识的创新，同时也得益于地球物理技术的快速发展。在地震勘探与石油地质结合的过程中，地球物理工作者积累了丰富的典型地质体地震响应特征的规律性认识，值得认真地总结并推广应用，以推动地质地震的一体化研究。为此，特编写《典型地震地质特征图集》一书，旨在通过本书向地质人员介绍各种地质体的基本地震反射特征，向物探人员介绍如何根据地震反射特征解释地质现象，知其然并知其所以然，从而对油气勘探工作者提供借鉴与指导。

本书以图示的方式展示我国含油气盆地中主要的构造类型、典型储集体和泥页岩为主的烃源及盖层的地震地质特征。全书分八个章节：第一章是对地震采集、处理、解释三个关键环节的基本概念和方法技术做简要介绍，便于非物探专业读者了解图集中涉及的地震勘探概念和方法以及相关数据的来源。第二章通过地质模式图、地震剖面、地震平面属性图等展示我国含油气盆地典型的构造样式，使读者直观地认识不同构造样式与对应的地震剖面特征。第三章展示了典型的沉积层序与地层结构的地震响应特征。第四章重点图示扇体、河流相砂体、三角洲砂体、海相滨岸砂体等碎屑岩储层的测井曲线及地震剖面等，读者可以进一步了解典型碎屑岩储层地质模式及地震响应特征。第五章列举了塔里木盆地奥陶系缝洞储层和四川盆地古生界生物礁滩储层的地震剖面、等时切片、沿层属性等图件，并对其进行简要的描述与说明，便于读者准确把握碳酸盐岩主要储层类型及标志性的地震响应特征。第六章图示了侵入相火成岩与喷发相火山岩的地震响应特征。第七章展示了我国主要陆相含油气盆地烃源岩或盖层（泥岩、页岩以及煤系地层）的地震响应特征。第八章用图件的形式对塔河油田 S48 井区、大牛地气田 D52 井区、松南气田 YS1 井区三个典型的油气藏进行地质地震表征，

较系统地展示了油气藏的综合地震响应特征及地震描述成果。

本书涉及的基本概念和术语主要引用已经出版发行的文献和著作，介绍的地震方法是当前通用的方法技术。所谓典型是指有明确地质模式和清晰的地震响应特征，书中给出的地质模式图主要反映共性特征。所有图件主要呈现地质体信息，因信息保密原因而隐去了其他参数及标注信息。书中地震剖面所涉及的色标类型、测井曲线符号说明等在附录中统一说明。

本书由曲寿利教授主持编写，参加编写的人员有关达、杨江峰、常鉴、邬达理、王世星、赵群、王立歆、刘卫华。编写过程中，董清源绘制了书中部分地质模式图件；蒋波、李华东、田建华、孙振涛、罗延、王延光、谭明友、陈迎宾、杨勤林、曹少蕾、郑连弟、韩宏伟、胡起、胡华峰、曹辉兰、向雪梅、王猛、陈勇、张秀容、蔡玉华、马永强、林正良、王秀玲、潘兴祥、郑四连、朱博华、张薇、马灵伟、郭全仕、李博、张云银、于正军、刘建伟、张永华等提供了有帮助的素材。

本书编写过程中，承蒙闫相宾教授在百忙之中对全书进行了审阅，徐旭辉教授、陈迎宾教授、周方喜教授等对本书提出了宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢！本书引用了中国石化胜利油田、西北油田分公司、勘探分公司、东北油气分公司、华北油气分公司、西南油气分公司、河南油田、江苏油田、中原油田等企业的部分资料，已在书中具体注明，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平及资料所限，书中的纰漏之处敬请广大读者批评指正。

# CONTENTS 目 录

## 第一章 地震勘探基本方法简介 1

第一节 地震采集 .....	2
一、地震采集基本方法与概念 .....	3
二、表层地震地质条件对地震记录的影响 .....	5
第二节 地震处理 .....	9
一、地震处理基本流程 .....	9
二、地震处理基本方法与概念 .....	9
第三节 地震解释 .....	15
一、构造解释基本方法 .....	16
二、地层沉积解释基本方法 .....	18
三、储层预测及流体识别基本方法 .....	19

## 第二章 构造样式与地震剖面特征 24

第一节 伸展构造样式与地震剖面特征 .....	25
一、正断层主要类型 .....	25
二、伸展构造样式 .....	30
第二节 挤压构造样式与地震剖面特征 .....	42
一、褶皱 .....	42
二、逆断层 .....	45
三、逆断层相关褶皱 .....	46

四、挤压构造样式 .....	53
第三节 扭动构造样式与地震剖面特征 .....	62
一、走滑断裂 .....	63
二、花状构造 .....	68
第四节 垂直构造样式与地震剖面特征 .....	74
一、溶蚀垮塌背型构造 .....	74
二、底辟构造 .....	76
三、披覆构造 .....	79

## 第三章 沉积层序与地震反射特征 81

第一节 沉积层序边界地震反射特征 .....	82
一、整合面 .....	82
二、不整合面 .....	83
第二节 地层结构与地震反射特征 .....	92
一、沉积层序单元的外形 .....	92
二、沉积层序内部结构 .....	101

## 第四章 碎屑岩储层地震响应特征 105

第一节 扇体 .....	106
一、地球物理参数及地震正演 .....	108
二、扇体地震响应特征 .....	112

第二节 河流相砂体 .....	120
一、地球物理参数及地震正演 .....	122
二、河流相砂体地震响应特征 .....	132
第三节 三角洲砂体 .....	140
一、地球物理参数与地震正演 .....	142
二、三角洲砂体地震响应特征 .....	148
第四节 海相滨岸砂体 .....	166
一、测井曲线特征 .....	167
二、滨岸砂体地震响应特征 .....	168

## 第五章 碳酸盐岩储层地震响应特征 171

第一节 孔洞储层 .....	173
一、地球物理参数及地震正演 .....	173
二、孔洞储层地震响应特征 .....	183
第二节 孔缝储层 .....	193
一、地球物理参数及地震正演 .....	193
二、孔缝储层地震响应特征 .....	197
第三节 礁滩储层 .....	200
一、地球物理参数及地震正演 .....	202
二、礁滩相储层地震响应特征 .....	205
第四节 断控储层 .....	214
一、地球物理参数及地震正演 .....	214
二、断控储层地震响应特征 .....	216

## 第六章 火成岩地震响应特征 220

第一节 侵入相火成岩 .....	222
一、地球物理参数与地震正演 .....	222

二、侵入相火成岩地震响应特征 .....	224
第二节 喷发相火山岩 .....	227
一、地球物理参数及地震正演 .....	227
二、喷发相火山岩地震响应特征 .....	236

## 第七章 泥岩和页岩地震响应特征 246

第一节 泥岩 .....	247
一、泥岩测井曲线特征 .....	247
二、泥岩地震响应特征 .....	249
第二节 页岩 .....	252
一、页岩地球物理参数 .....	253
二、页岩地震响应特征 .....	255
第三节 煤系地层 .....	259
一、煤岩测井曲线特征 .....	259
二、煤岩地震响应特征 .....	261

## 第八章 典型油气藏地震地质特征 266

一、碳酸盐岩缝洞型油藏——以塔河油田 S48 井区为例 .....	266
二、河道砂体岩性气藏——以大牛地气田 D52 井区为例 .....	278
三、火山岩气藏——以松南气田 YS1 井区为例 .....	284

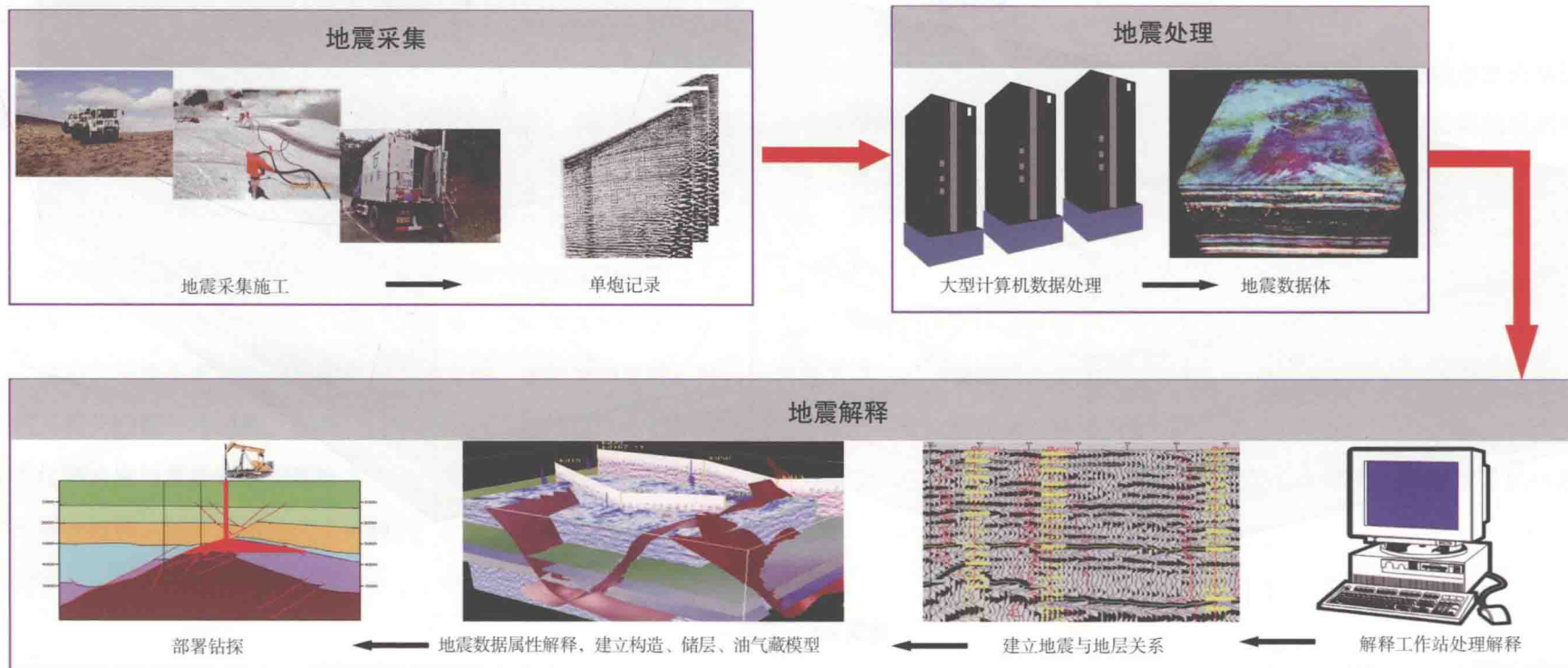
## 附录一 图集中所用地震剖面色标说明 289

## 附录二 图集中所用测井曲线符号说明 291

## 参考文献 292

# 第一章 地震勘探基本方法简介

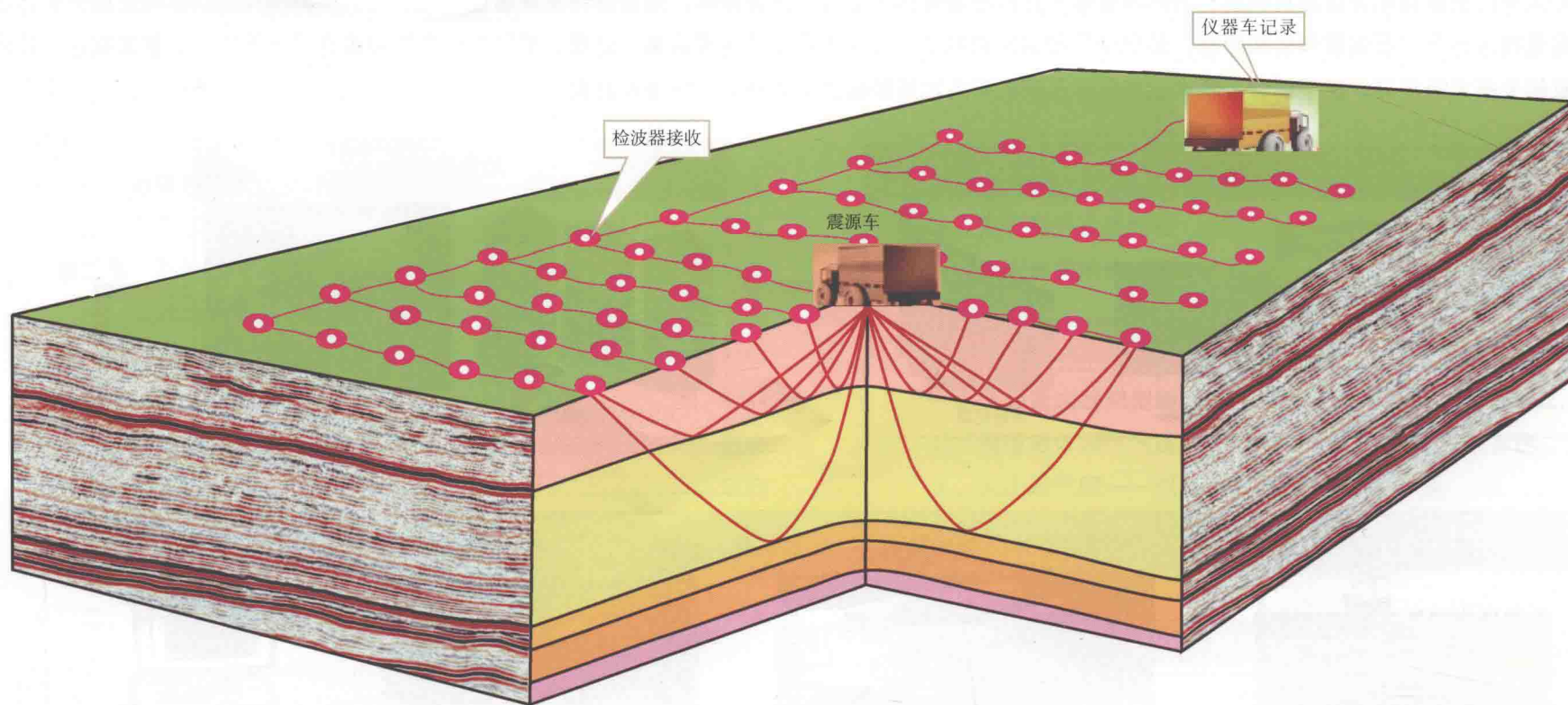
地震勘探，简单地说就是利用地震波为地球做“CT”，主要包括地震数据采集、处理、解释三大关键环节。由于地下介质具有弹性、非均质等特性，所以当地震波在地下传播过程中遇到介质性质发生变化时会产生地震反射波。地震采集就是记录来自地下介质的地震反射波场数据，地震处理就是把采集的数据转化为自激自收的、去除噪音等干扰的地震成像剖面或三维数据体，地震解释就是通过对地震波的动力学和运动学特性的分析，定性或定量描述地下岩石性质和岩层形态、预测储层和识别油气藏。本章主要是从地震采集、处理、解释三个方面简单介绍地震勘探的基本概念、技术术语及相关技术流程等，便于读者了解本图集所涉及到的有关地震勘探的基本概念、方法和数据。



## 第一节 地震采集

地震采集是地震勘探的基础环节，是用人工地震方法产生地震波并将其记录的过程，包括采集部署、技术方法设计、前期准备、采集试验、采集施工、成果验收等，其中的技术方法设计包括了观测系统设计、地震激发和地震波接收的方法以及参数设计、地震波记录参数设计等。针对不同的地质目标，在不同的地震地质条件下，选择不同的地震采集方法和参数，会获得不同品质的资料，也会直接影响地震勘探效果。

本节简单介绍地震采集的基本方法及特点，列举典型表层地震地质条件下地震采集的单炮原始记录，并分析其基本特征。



地震采集示意图

## 一、地震采集基本方法与概念

### 1. 地震观测系统

地震观测系统是一系列事先设计好的地面激发点位置与检波器点位置的相对空间关系，其主要参数有面元尺寸、覆盖次数、偏移距、接收线距、纵横比等。常用的观测系统类型主要有二维和三维观测系统（称为二维地震采集和三维地震采集）。

二维观测系统包括直线二维、宽线二维和弯线二维观测系统。直线二维观测系统的激发点与接收点在同一方向的一条直线上；弯线二维观测系统是激发点与接收点设置在一条弯曲的测线上，目的是为了避开城镇、厂矿等障碍；宽线二维观测系统是激发点和接收点均匀分布在多条平行直线上，目的是增加目的层有效覆盖次数、更加有效地压制地震噪音。二维观测系统采集的数据经处理后得到一条线的地震剖面，反映沿测线方向地下的情况，这种方法通常被应用在勘探初期的普查阶段。

三维观测系统可分为规则和不规则两类，规则观测系统的激发点和接收点的分布是有规律的，而不规则观测系统的激发点和接收点的分布是不规律的，规则观测系统包括正交、砖块、斜交、锯齿、纽扣等多种形式，其中所有激发线与接收线相互垂直的正交观测系统是目前最常用的观测系统。三维观测系统采集的数据经处理后得到可以任意方向切割的三维数据体，能反映地下三维空间的地层结构，而且因为接收的地震波场完整，成像更精确，信息量大，这种方法通常被应用在勘探详查期或开发阶段。

不同类型的三维观测系统不仅影响地震数据的成像效果，也影响勘探成本。因此，选择观测系统参数及类型时，要综合考虑目标区地质任务要求、地震地质条件、资料特点、项目投资情况等各种因素。观测系统的论证方法包括理论计算、正演模拟、野外试验和地震采集经验等。

目前，三维采集技术向着高密度、宽方位、宽频方向发展，随着油气勘探开发对地震资料精度要求的提高，四维地震和五维地震得以应用。四维地震又称为时延三维地震，能够通过不同时间三维地震资料的差异研究地下储层中流体的变化，要求其资料的采集具有重复性和一致性。五维地震是宽方位高密度地震勘探的配套技术，该技术以叠前方位各向异性属性分析为核心，获得“纵向、横向、垂向、偏移距、方位角”五个维度的信息，有利于裂缝检测、储层预测和流体识别。

## 2. 地震激发

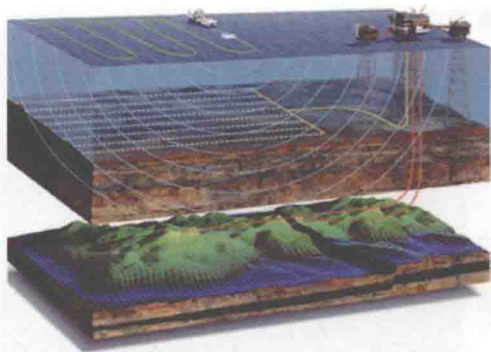
地震波激发是使用激发震源产生向地下传播的地震波的过程。陆上常用的震源主要有以炸药震源为代表的脉冲震源和以可控震源为代表的连续震动震源。炸药震源操作简单，它以脉冲形式提供宽频谱和高能量地震波，其激发效果与激发深度、岩性、药量等有关。可控震源激发是将设计好的具有时间函数关系式的波形通过震源车振动输入地下，通过较低功率、长时间的能量输出，达到炸药震源大功率、短时间能量输出的效果，该方法可以控制向地下输入的地震波的频率及能量，且具有安全、环保的特点；激发参数主要有扫描信号的起始频率、终了频率、扫描长度、震动台次、震源出力等。空气枪震源是利用压缩空气迅速释放作为动力的一种非炸药震源，它利用气枪将高压空气在极短的瞬间送入水中，形成气泡，气泡在水中发生膨胀与收缩相交替的振荡，即造成地震振动，这种振动的能量、频率与气泡中空气的容量、压力、水的深度有关。各种类型震源激发参数的选取通常是在掌握工区表层结构和岩性特点的基础上，依据野外试验并结合必要的理论分析而确定。

## 3. 地震接收

地震波接收是将一定数量的检波器安置于观测系统设计好的一系列接收点上接收地震波的过程。检波器种类很多，从工作原理上分为动圈式检波器、数字检波器、压电式检波器等。目前陆上广泛使用的是动圈式检波器。生产中，在接收点上将多个检波器按一定图形摆放，组成一个地震接收道，称之为“检波器组合”，其主要参数有组合基距、组内距，目的是压制噪音，野外采集时要根据干扰波的特点结合理论分析和现场试验来确定组合方式。数字检波器的使用越来越受到重视，目前主要应用于高密度地震勘探，其核心是MEMS (Micro Electro Mechanical System)，也叫做微电子机械系统，与常规的相比，数字检波器具有高频响应好、动态范围宽、抗电磁干扰、灵敏度高的特点。压电检波器主要用于海洋勘探，是利用压电元件所产生的电压与所受压力成正比的原理来接收地震波。



可控震源地震激发照片



海洋地震激发接收示意图



地震接收示意图

## 4. 地震记录

地震记录是利用地震仪器将检波器输出的连续信号进行放大、离散采样,经过增益控制、数字化后,按照 SEG (Society of Exploration Geophysicists) 标准数据格式记录在存储介质上,地震仪器和数据处理系统能读取并以波形显示的方式对数据质量进行监控。

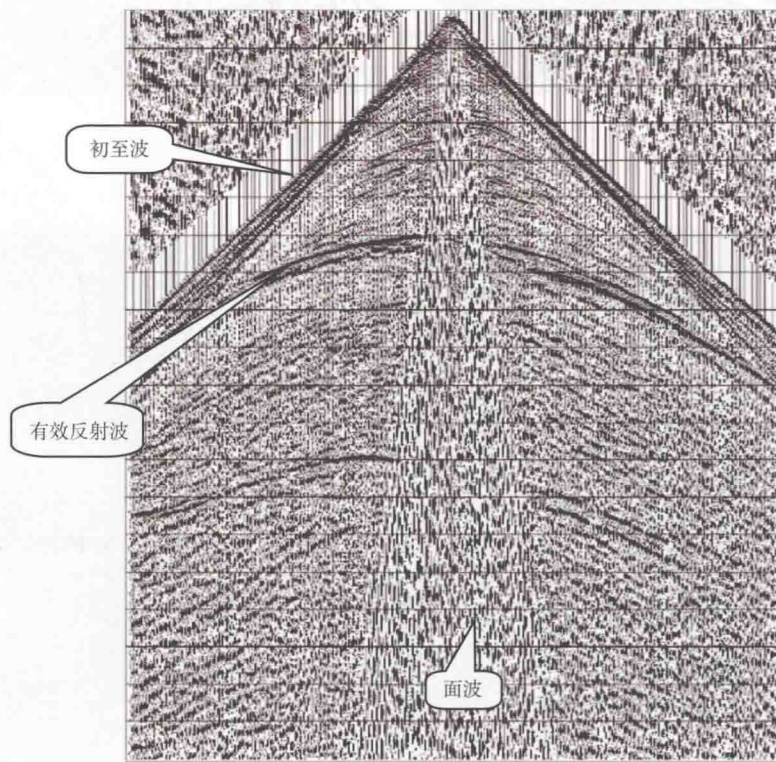
地震仪器的记录参数包括采样间隔、记录长度、记录格式、前放增益、高低切滤波等。地震仪器是集现代电子技术、计算机技术、数据传输技术、数据存储技术、材料技术等综合于一体的系统。目前地震仪器具有高位数(大于 24 位)模数转换器、高动态范围( $\geq 120\text{dB}$ )、系统低噪声、宽频响应(几赫兹到几百赫兹)的特点,可开展接收道数为十几万甚至百万道的高密度、宽方位采集,且具有便携、可靠、灵活及多功能操作系统和人性化的操作界面、有线无线混合等性能特点,提高工作效率,降低勘探成本。

## 二、表层地震地质条件对地震记录的影响

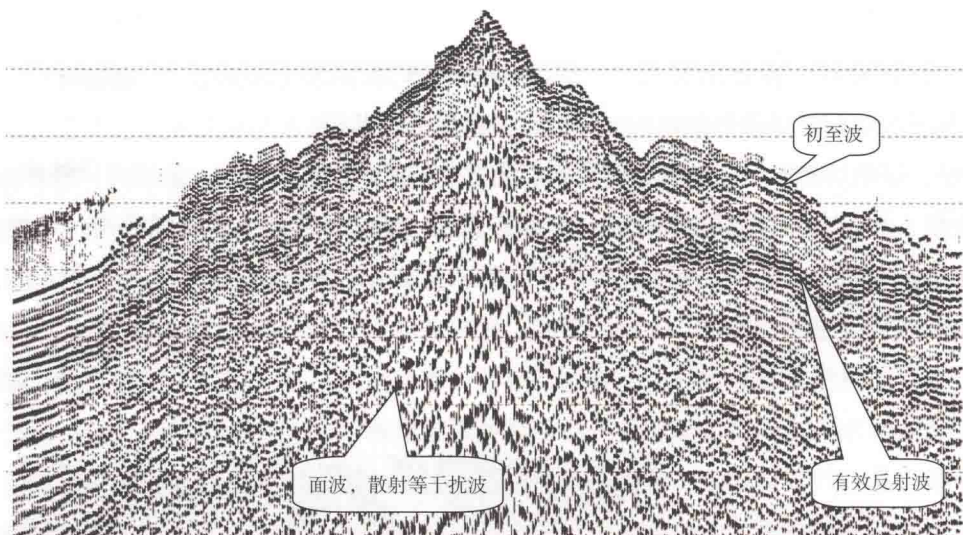
表层地震地质条件对地震记录品质有极大的影响,勘探实践表明:在地势平坦、低降速层岩性和结构横向变化小、潜水面较浅,地震地质条件良好的地区,能得到高质量的地震单炮数据;而在地表起伏大、低降速层岩性和结构横向变化大的地区,干扰严重,单炮数据质量较差;通过下面典型地区的地震记录可以看到这些差异。

### 1. 平原区

平原地区属于地震地质条件良好地区,地面海拔一般小于 100m,表层结构和岩性相对稳定。表层结构一般呈低速层、降速层、高速层三层结构,岩性多为第四系黏土、沙质黏土。一般使用炸药震源在潜水面以下的黏土层中激发,可以获得信噪比较高的地震记录,该类地区的主要干扰波为面波。



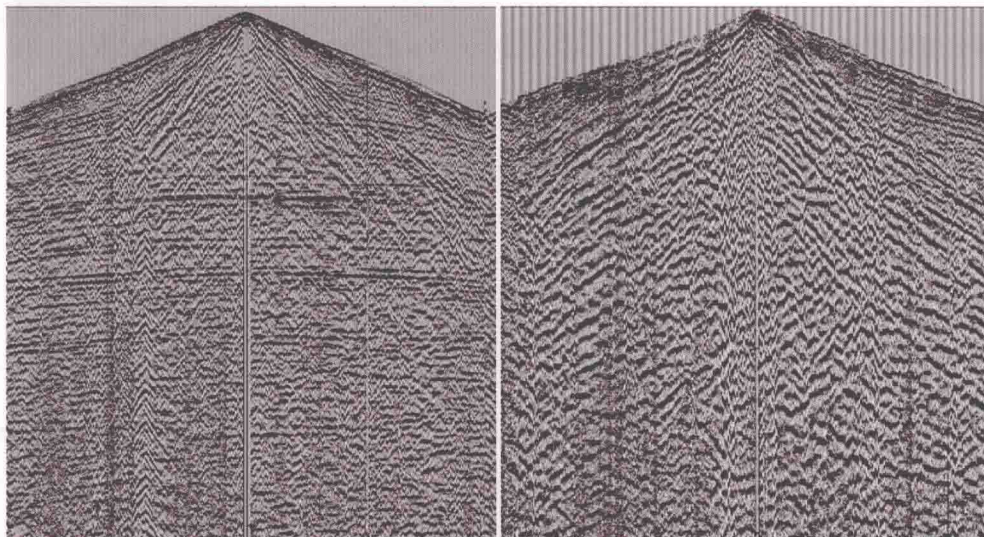
平原区单炮记录



黄土塬区单炮记录

## 2. 黄土塬区

黄土覆盖区主要位于我国鄂尔多斯盆地中南部，地震地质条件较复杂。近地表为黄土覆盖，塬、梁、峁、沟、坡纵横交错，地形起伏剧烈。典型的表层岩性组合结构自上而下分为干燥黄土、潮湿黄土和含水黄土，总厚度最高可达数百米，速度在 300~1700m/s 间变化，有利激发岩性为含水黄土。该类地区虽然地表岩性单一，但近地表岩性疏松、地形起伏大，导致静校正问题突出，面波、杂乱散射、多次折射等干扰波发育。



砂泥岩覆盖区地震单炮记录

灰岩裸露区地震单炮记录

## 3. 山地

山地勘探区主要分布于我国南方和西部地区，地震地质条件复杂。海拔高度一般达数百米至千余米，表层岩性和结构横向变化大，低速层速度变化于 300~1200m/s 之间，降速层速度在 1000~2400m/s 之间，厚度大多几米到十几米不等；砂岩高速层速度一般在 2500~4000m/s，灰岩速度一般在 3000~6500 m/s。该类地区因受强烈构造运动作用，老地层出露地表，深部地层结构复杂，断裂系统发育。复杂的地表导致各种干扰波发育，并且激发岩性的变化对记录质量影响大；当地表岩性为砂泥岩时，一般能够得到质量良好的地震记录，干扰波为面波为主的线性干扰；当地表为灰岩裸露时，线性干扰、次生散射等随机干扰发育，很难见到有效反射波。

#### 4. 沙漠、半沙漠

沙漠主要分布在我国北方地区，地震地质条件较复杂。沙漠区地表介质单一、疏松，由连绵起伏且流动的沙丘、沙垄及复合体组成，相对高差几米到近百米，最高可达数百米。低速层基本上为两层结构，以潜水面为界，其上统称为低速层，速度范围在 350~700m/s，厚度基本随地表高程变化，范围一般在几米至近百米；潜水面以下含水沙层为低速层，速度范围在 1600~1900m/s。潜水面以下 5~7m 激发的地震记录可以见到有效反射。沙漠区噪音类型包括面波、浅层多次反射、折射波等线性干扰，以及因沙丘起伏导致的随机次生干扰等。

半沙漠区一般位于沙漠区边缘，地表为低矮沙丘或戈壁、碱地、农田等，其表层低速层速度一般在 300~800m/s 之间，厚度为 6~15m，低速层速度一般为 1600~1750 m/s，相对于沙漠区该类地区地势相对平坦，地震地质条件相对较好，在潜水面以下 5~7m 激发可获得信噪比较高的单炮记录。

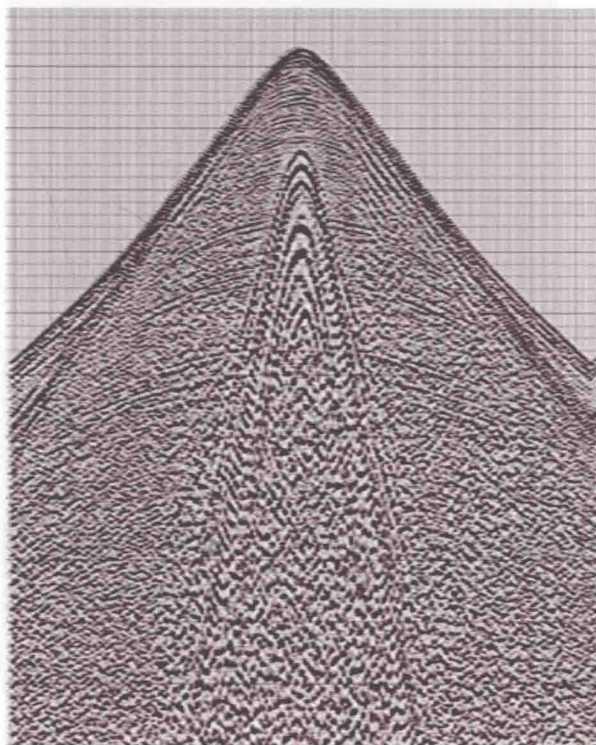


图 A

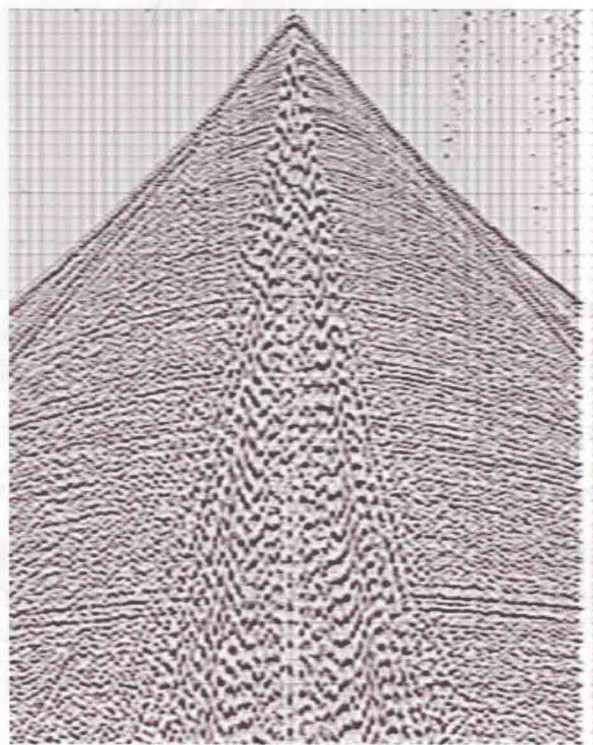


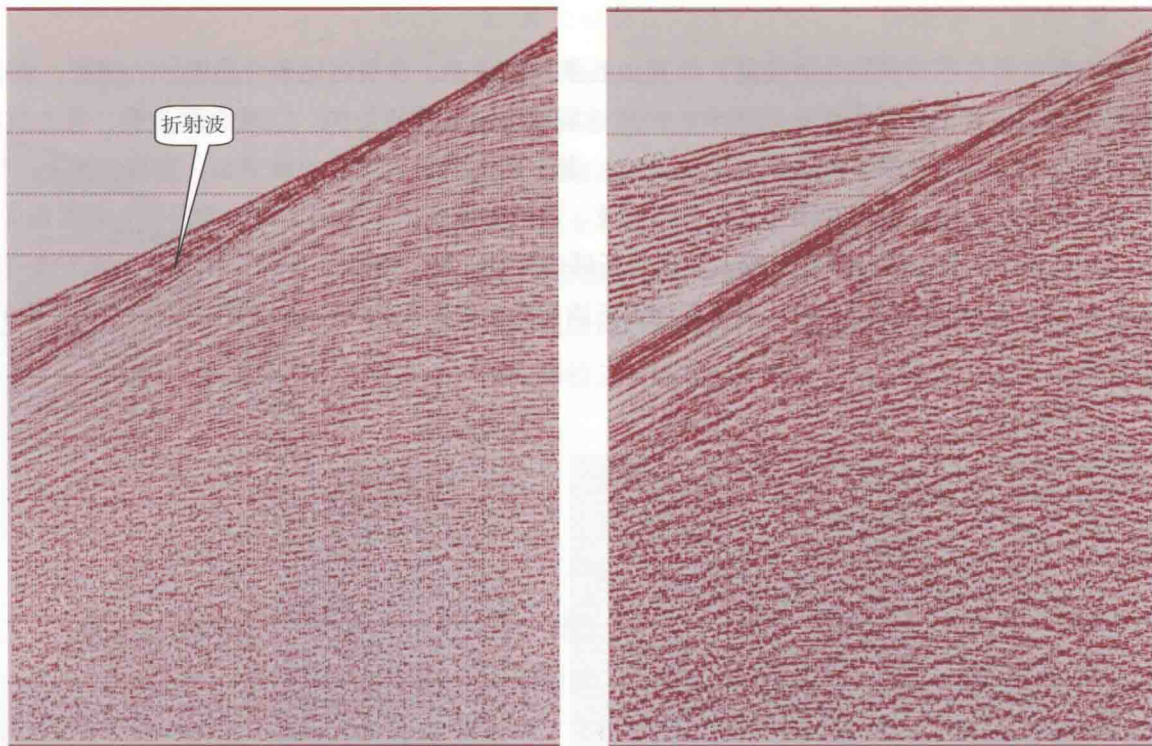
图 B

图 A 为沙漠区潜水面以下 5~7m 激发的地震记录，可以看到浅、中、深反射波组，主要干扰波为面波和起伏沙漠地表引起的杂乱散射

图 B 为半沙漠区潜水面以下 5~7m 激发地震记录，浅、中、深层反射齐全，信噪比较高。该类地区地势相对平缓，地震地质条件良好，主要干扰波以面波为主

## 5. 海洋和滩浅海

海洋地震采集在水中使用空气枪激发，压电地震检波器及电缆拖曳于船后一定深度的海水中接收，特点是激发、接收条件均一。海洋地震勘探中常遇到一些特殊的干扰波，如鸣震和交混回响，以及与海底有关的干扰。滩浅海指包括沿海近岸滩涂、潮间带以及水深在 50m 以内的浅海区域。滩浅海地震激发主要是炸药震源和气枪震源，地震接收使用陆检（速度检波器 Z）和水检（压力检波器 P）。由陆检和水检两种检波器组成双检 OBC 进行水下接收系统正得到广泛应用，目的是利用两种检波器对海底鸣震产生相反极性的特点，进行合并处理来消除鸣震干扰。



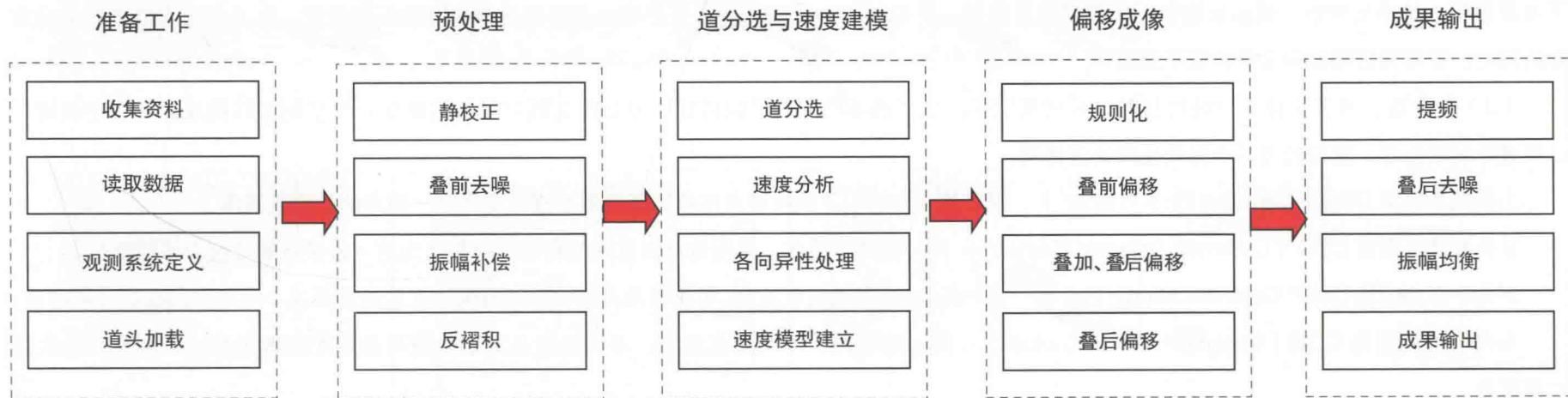
两张典型的海洋地震单炮记录  
(除反射波外，还发育有折射波、多次波及其他线性干扰)

不同的表层地震地质条件得到的地震记录品质上有很大差异。在地震地质条件良好的地区，采集记录品质高、信息量大，经处理解释后能得到丰富准确的地质信息；在地震地质条件复杂的地区，地震记录干扰波发育，有效波难以识别提取，在这类地区，地震采集方法仍需改进。

## 第二节 地震处理

地震资料数字处理就是在配备有数字电子计算机、地震资料处理软件系统和有关专用仪器设备的计算中心,根据物理规律和数学方法,对野外地震采集所获得的原始资料进行整理、加工、处理,计算并恢复地下介质信息,以期得到高质量的、可靠的地震成像资料,为下一步地震解释提供数据资料。

### 一、地震处理基本流程



### 二、地震处理基本方法与概念

(1) 静校正：在地震记录上,反射波的到达时间中包含了炮检距引起的正常时差和表层不均匀性引起的时差,对由表层不均匀性引起的时差的校正称为静校正。静校正主要方法有近地表静校正、地表一致性剩余静校正、非地表一致性剩余静校正等。近地表静校正主要是消除表层不均匀性引起的长波长时差,解决较大静校正值问题;地表一致性剩余静校正消除短波长时差,解决较小静校正值问题;非地表一致剩余静校正将经动校正的CMP道集记录以模型道数据为标准进行时差校正,进一步提高信噪比。