

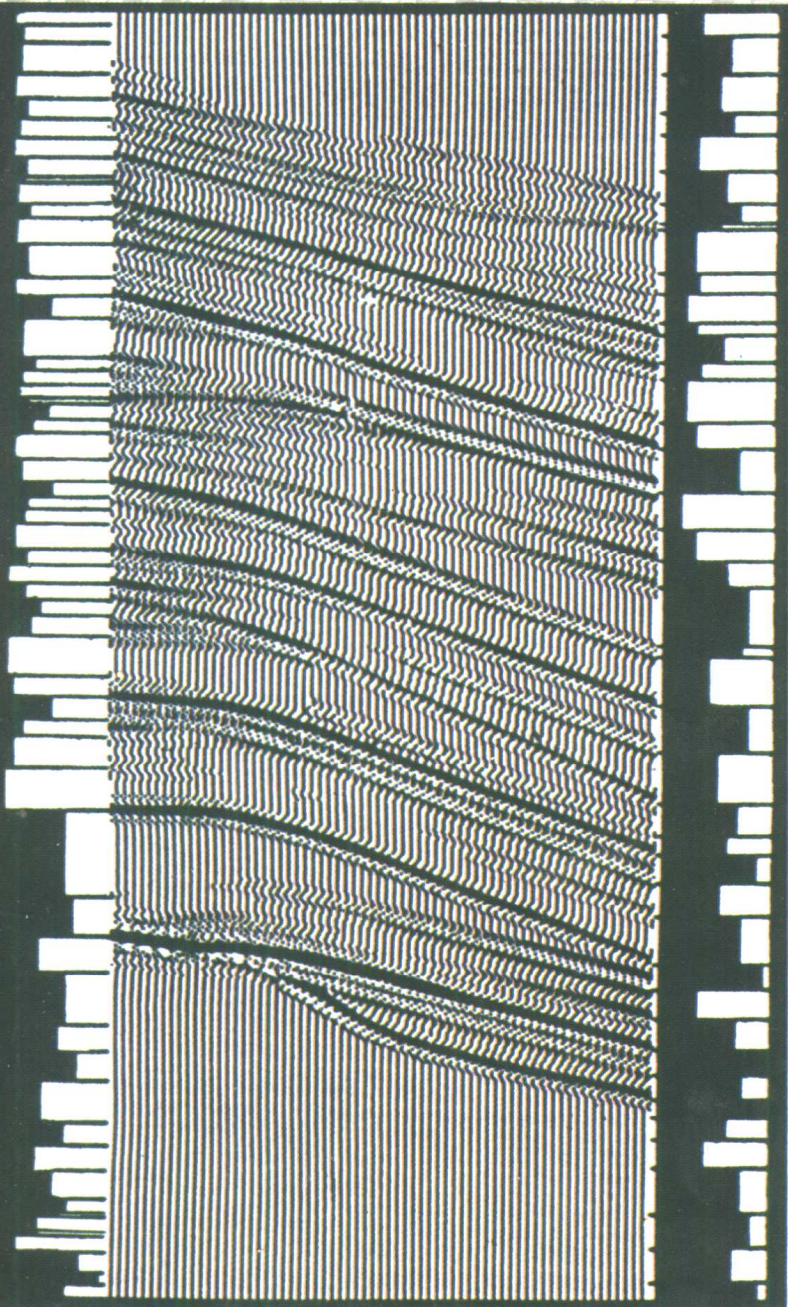
上册

# 地震勘探原理

高等教育用书 DIZHENKANTANYUANLI

陆基孟 主编

石油大学出版社



# 地震勘探原理

(上册)

陆基孟 主编

石油大学出版社

地震勘探原理

(上册)

陆基孟 主编

\*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

石油大学出版社激光排版室排版

泰安开发区成大印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 1/16 16 印张 462 千字

1993 年 1 月第 1 版 2001 年 4 月第 3 次印刷

印数 6501 - 9000 册

ISBN 7-5636-0283-6/TE · 62

定价:19.20 元

## 第二版前言

本书第一版在1980年底交稿,至今已十年了。这期间地震勘探方法技术有很大的发展,为了适应这种形势,我们对此书进行了全面的修订。在修订中,一方面补充了十年来国内外地震勘探理论、技术的新成果;参考了国内外新出版的地震勘探教科书、专著和大量文献资料;另一方面吸取了我们十年来在《地震勘探原理》课教学中的体会和经验、以及广大读者对本书第一版提出的改进意见。

这次修订,本书分为上、下两册。上册是从第一章至第六章,下册是从第七章至第十章。在第一版的基础上对第一章到第六章作了一些增删。对原来的第七章、第八章进行了调整和补充,第七章改为“地震资料解释的理论基础”,重点讨论地震资料解释中的一些重要概念和理论。第八章介绍地震资料的构造解释。第九章对地震波的动力学进行了重写,以适应岩性解释的发展。第十章是新增加的一章,较系统地介绍地震资料地层岩性解释的基本概念和方法原理,其中第一节是对地层岩性解释作概括的介绍,第二节介绍地震地层学,第三、四、五节介绍目前在地层岩性解释中最重要的两个地震参数——速度和振幅信息的应用,第六节介绍波形和频谱这两类信息的定性应用,第七节介绍地震资料的地层岩性解释中非常重要的工具——地震模型技术,第八节简单介绍人机联作解释技术,这也是进行岩性解释不可缺少的工具。第九章介绍地球物理资料和地质、钻井、测井资料的统计分析和综合解释,这既是搞好地层岩性解释的正确指导思想,也是解释的重要方法。岩性解释技术正在发展,我们认为对上述几方面的内容有一个基本了解,就可以为同学们将来从事地层岩性解释工作和进一步学习这方面的新方法、新技术打下一个较扎实的基础。

前九章修订工作的分工是:第一章至第八章由陆基孟修订;第九章由任甲祥重写。编写第十章的分工是:陆基孟编写§10—1、§10—3、§10—4、§10—5、§10—7;郑清编写§10—2,王永刚编写§10—6和§10—9;李利编写§10—8。全书由陆基孟主编。

本书第十章1990年印出校内试用本后,曾得到谢剑鸣、杨云岭、金福锦等同志审阅并提出了宝贵的意见。在此深表感谢。

在本书修订出版工作中霍金菊同志清绘了大部份图件,在此表示感谢。

本书第一版出版后,曾被一些兄弟单位采用作为教材,许多读者也对本书提出了不少宝贵的意见,我们非常感谢。也热诚欢迎读者们对本书第二版提出批评建议,以便将来进一步修订。

编者

1990年12月

## 第一版前言

本书是为石油物探专业编写的《地震勘探原理》、《地震勘探应用数学》、《地震勘探资料数字处理方法》和《地震勘探仪器》等一套教材之一。是为石油物探专业讲授《地震勘探原理》课程而编写的。全书共九章,讲授时数为180学时。根据上述几门地震勘探课程的分工,本书只选择了有关地震波运动学、动力学、野外工作方法和资料解释方面的基本内容,并根据我国石油物探的现状,以讨论反射波法为主。在内容选择上,着重对基本概念、原理的阐述;在章节的编排上,主要从初学者易于接受的教学上的考虑出发。

书中第三章应结合到地震队的实习讲授。第八章应和地震资料解释的实践结合讲授。学习本课程之前要先学完《弹性波动力学》。

书末列出的文献资料,有些内容已被本书引用,有些则只是供读者在进一步深入探讨有关问题时参考。

本书参加编写工作的有下列人员:戈革教授(第二章 § 2—1、§ 2—2,第九章 § 9—1 至 § 9—4, § 9—6 至 § 9—8);周洁韶讲师(第三章、第八章);董敏煜教授(第九章 § 9—9);陆基孟讲师(第一章、第二章 § 2—3 至 § 2—5、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章 § 9—10 至 § 9—14)。并由陆基孟整理定稿。本书由牟永光副教授主审,李承楚讲师审阅。物探教研室杜世通副教授和其他同志也对本书提出了修改意见。此外,俞康胤讲师、周吉平同志参加了本书初稿的编写工作,王永刚同志参加了绘图工作。

在编写过程中,得到了武汉地质学院石油物探教研室、长春地质学院石油物探教研室、地质部石油物探研究大队,第六物探大队,第四物探大队,石油部物探局,胜利油田地调指挥部等许多单位的同志们大力支持帮助,特别是黄绪德总工程师和欧庆贤副总工程师为我们提供了许多资料和宝贵的意见,在此表示深切的感谢。

当前,地震勘探的方法技术正在经历一次深刻的变革,教育工作也面临一个新的形势,编写一套适应这种新情况的地震勘探教材既是迫切的需要,也是要经过长时间努力才能完成的艰巨任务。本书在内容选材、系统结构等各方面错误、不妥之处一定不少,热诚希望读者提出批评意见,帮助我们进一步修改、补充、提高质量。

1980年12月

# 目 录

绪 论	1
第一章 地震波的运动学	9
§ 1—1 地震波的基本概念	9
一、地震波是在岩层中传播的弹性波	9
二、波的几个特征	10
三、地震波的传播规律	14
四、与地震勘探有关的各种地震波	19
§ 1—2 一个分界面情况下反射波的时距曲线	20
一、时距曲线的概念	20
二、水平界面的共炮点反射波时距曲线方程	22
三、倾斜界面的共炮点反射波时距曲线方程	23
四、共炮点反射波时距曲线的主要特点	24
五、正常时差	25
六、倾角时差	26
七、时距曲面和时间场的概念	27
§ 1—3 地震折射波运动学	30
一、对视速度概念的进一步讨论	30
二、对折射波的形成和传播规律的说明	31
三、一个水平界面情况下折射波的时距曲线	33
四、水平层状介质的折射波时距曲线	36
五、倾斜界面的折射波时距曲线	38
§ 1—4 多层介质情况下的反射波时距曲线	41
一、讨论多层介质问题的思路	41
二、三层水平介质的反射波时距曲线	42
三、把三层水平介质简化为均匀介质的思路和办法。平均速度的引入	43
四、两种情况下的反射波时距曲线的比较	45
§ 1—5 连续介质中地震波的运动学	48
一、地震波在连续介质中传播时的射线和等时线方程	48
二、速度规律为 $V(Z) = V_0(1 + BZ)$ 时, 射线和等时线的具体形式	50
三、连续介质情况下的“直达波”(迴折波)	52
四、覆盖层为连续介质时的反射波	54

§ 1—6 透过波和反射波的垂直时距曲线 .....	57
一、水平层状介质的透过波垂直时距曲线 .....	57
二、均匀介质,激发点与井口的距离为 $d$ (称为偏移距)的直达波时距曲线 .....	58
三、两层介质、水平界面,偏移距不为零时的向上反射波时距曲线 .....	58
四、两层介质,倾斜界面,偏移距不为零时,在界面上倾方向激发 产生的上行波时距曲线 .....	58
五、两层介质,倾斜界面,偏移距不为零时的下行波时距曲线 .....	59
<b>第二章 地震信号的频谱分析</b> .....	61
§ 2—1 频谱分析概述 .....	61
一、初步概念 .....	61
二、频谱图 .....	63
§ 2—2 付立叶展式的重要性质 .....	67
一、唯一性定理 .....	67
二、线性叠加定理 .....	67
三、时标变换定理 .....	68
四、时延定理 .....	69
五、褶积定理 .....	70
§ 2—3 频谱资料的获得和整理 .....	71
一、获得信号频谱的方法简介 .....	71
二、地震波频谱资料的计算、整理和显示中的一些问题 .....	71
§ 2—4 地震波频谱的特征及其应用 .....	73
一、各种地震波的频谱的特征 .....	73
二、野外地震仪记录频率范围的选择 .....	76
三、地震信息取样间隔选择的基本依据——取样定理 .....	76
四、假频问题 .....	76
§ 2—5 线性时不变系统的滤波方程 .....	79
一、线性时不变系统的概念 .....	79
二、用什么概念来说明一个系统的特性 .....	79
三、线性时不变系统的滤波方程 .....	81
§ 2—6 频率滤波参数选择的基本原则 .....	83
<b>第三章 地震勘探的野外工作</b> .....	85
§ 3—1 野外工作方法 .....	85
一、试验工作 .....	85
二、生产工作 .....	85
三、干扰波调查的方法 .....	86
四、干扰波的类型和特点 .....	88
§ 3—2 地震测线的布置 .....	92
一、测线布置的两点基本要求 .....	92
二、不同勘探阶段的测线布置要求 .....	93
§ 3—3 观测系统及其图示方法 .....	95

一、观测系统的概念	95
二、一次复盖简单观测系统及其图示	95
三、延长时距曲线法	96
四、多次复盖的观测系统及其图示	97
五、与四种类型的观测方式对应的反射波时距曲线	100
六、三维地震观测系统 <sup>[34][35]</sup>	103
§ 3—4 地震波的激发	106
一、对激发的要求	106
二、陆上用炸药震源	106
三、陆上用非炸药震源 <sup>[6][25][26]</sup>	109
§ 3—5 地震波的接收	112
一、对地震仪器的基本要求	112
二、道间距 $\Delta X$ 的选择和空间假频的概念	114
三、检波器的埋置条件	116
§ 3—6 低速带的测定	117
一、低速带的存在及其影响	117
二、用浅层折射法测定低速带参数的基本原理	117
三、微地震测井	120
四、用 $\tau$ 值时间作为井深校正时间	121
§ 3—7 海上地震勘探工作的一些特点	121
一、海上地震反射法野外工作概述	121
二、海上地震勘探中的特殊干扰波	122
三、海上用的震源	123
四、海上定位 <sup>[6][32]</sup>	126
<b>第四章 地震组合法原理</b>	130
§ 4—1 地震勘探中干扰波的特点和组合法的提出	130
§ 4—2 简单线性组合的方向特性	132
§ 4—3 随机干扰的特点	138
一、地震勘探中随机干扰的一般特点及其产生原因	138
二、非统计问题和统计问题	139
三、地震勘探中的随机干扰是具有各态历经性质的平稳随机过程	140
四、表示随机过程的统计特性的两个统计参数——平均值和方差	142
五、表示随机过程统计特性的另一个重要的统计参数——相关函数	144
§ 4—4 组合对随机干扰的统计效应	150
一、地震勘探中随机干扰的相关半径	150
二、组合的统计效应	152
§ 4—5 确定组合参数的方法步骤和基本原则	155
一、干扰波调查	155
二、理论分析和计算	155
三、正常时差和倾角时差对组合的影响	156



§ 4—6 组合的频率特性	156
一、组合的频率特性	156
二、脉冲波的组合特性	157
三、几个有关的概念	158
§ 4—7 各种组合方式	159
一、不等灵敏度组合	160
二、面积组合	160
三、震源的组合	161
<b>第五章 共反射点叠加法</b>	162
§ 5—1 共反射点时距曲线方程	162
§ 5—2 多次反射波的特点	164
一、多次反射波的产生及类型	164
二、全程多次波的时距曲线方程及其主要特点	165
三、多次波的剩余时差	170
§ 5—3 多次叠加的特性	172
一、基本公式	172
二、多次波的叠加特性	173
三、脉冲波的叠加特性	176
§ 5—4 多次叠加的相位特性	176
§ 5—5 多次叠加的频率特性和统计效应	179
一、频率特性	179
二、多次叠加的统计效应	181
§ 5—6 多次复盖参数对叠加效果的影响及其选择原则	181
一、道间距 $\Delta x$ 的选择	181
二、偏移距 $x_1$ 的选择	182
三、复盖次数 $n$ 选择	183
四、选择观测系统的原则和步骤	183
§ 5—7 影响叠加效果的因素	183
一、动校正速度选取不准确的影响	184
二、地层倾斜对叠加效果的影响	185
<b>第六章 地震波的速度</b>	189
§ 6—1 地震波在岩层中的传播速度	189
一、与岩石弹性常数的关系	189
二、与岩性的关系	190
三、与密度的关系	190
四、与构造历史和地质年代的关系	192
五、与埋藏深度的关系	193
六、与孔隙率和含水性的关系	193
七、与频率和温度的关系	194
八、沉积岩中速度的一般分布规律	194

§ 6—2 几种速度概念.....	195
一、平均速度 $V_{av}$ .....	195
二、均方根速度 $V_R$ .....	196
三、等效速度 $V_e$ .....	202
四、叠加速度 $V_s$ .....	203
§ 6—3 平均速度的测定.....	205
一、地震测井的野外工作 .....	205
二、地震测井资料的整理 .....	206
三、声速测井的基本原理 .....	207
四、声速测井资料的整理解释 .....	208
§ 6—4 叠加速度的求取.....	209
§ 6—5 各种速度之间的关系和一些互相换算的公式.....	211
一、平均速度与均方根速度的比较 .....	211
二、由叠加速度计算均方根速度 .....	217
三、由均方根速度计算层速度 .....	219
四、各种介质结构情况下各种速度的计算公式及互相换算的公式 .....	220
<b>参考文献</b> .....	223
<b>习    题</b> .....	227

## 绪 论

### 一、怎样勘探石油

我国有大庆油田、胜利油田、大港油田等许多油田，如果你到这些油田去参观，看到那一座座井架，一口口油井，自然会提出这样的问题：在这一望无际的大平原上，怎么能知道石油埋藏在什么地方呢？我国一个个油田是用什么办法找到的呢？

找到埋藏在地下一千多米，甚至几千米的石油，的确是很不容易的。人们在长期的生产斗争中，不断地试验，总结，并吸取和引用了许多科学技术部门的新技术、新成就，才逐渐建立了一整套石油勘探的方法技术。地震勘探就是石油勘探方法中很重要的一种。

石油是怎样生成的？它储存在什么地方？这些问题在石油地质学中已进行了长期的研究，初步揭示了油气藏形成的一些规律。现在已经了解到，石油是一种可以流动的液体。石油有机生成说认为：在沉积岩形成过程中，如果同时有大量的有机物质，如生物的遗体，沉积下来，再加上适当的外界条件，就会形成分散的碳氢化合物——石油。石油生成后，还需要在地下有一个封闭的条件，才能储集保存下来，形成油藏。在石油地质学中，把地下储存了石油的构造称为“储油构造”。

勘探石油的方法主要有三类。第一类是地质法。地质法是通过观察，研究出露在地面的地层、岩石，对地质资料进行分析综合，了解一个地区有无生成石油和储存石油的条件，最后提出对该地区的含油气远景评价，指出有利地区。有时在岩石出露的地区，也可能直接发现油气藏。

第二类是物探方法。在地表为松散沉积或沙漠覆盖的地区，被海水覆盖的海洋上，地面和海面上看不到岩石，地质法就受到了很大的限制。如果用大量钻井，取岩芯的办法来了解地下地质情况，不仅成本太高，效率也很低。这时就要应用物探方法。

物探方法（全称是地球物理勘探方法）是根据地质学和物理学的原理，利用电子学和信息论等许多科学技术领域的新技术，建立起来的一种较新的勘探石油的方法。它是利用各种物理仪器在地面观测地壳上的各种物理现象，从而推断、了解地下的地质构造特点，寻找可能的储油构造。物探方法是一种间接找油的方法。

物探方法之所以能用来查明地下地质构造的特点，主要是因为组成地壳的各种岩石或组成地质构造的各个岩层具有不同的物理性质，因而不同岩石或地层对地面上的物理仪器就有不同的作用。根据物理仪器测量的结果，就可以推断地下地质构造的特点。现代应用于石油勘探的主要物探方法有：重力勘探（利用岩石的密度差别）；磁法勘探（利用岩石的磁性差别）；电法勘探（利用岩石的电性差别）；地震勘探（利用岩石的弹性差别）。

第三类是钻探法。因为物探法只能帮助我们了解地下地质构造的特点，寻找到适合于储存油气的地质构造。但是，这些构造是不是储存了油气，物探方法还不能肯定。最后，要根据物探方法提出的井位进行钻探，直接取得地下最可靠的地质资料，才能确定地下的构造特点及含油气情况。

由此可见，勘探石油是一项很复杂的工作。它需要各种方法互相配合、协作，需要综合分析

研究各方面的资料。

## 二、地震勘探是查明地下地质构造的一种最有效的方法

在勘探石油的各种物探方法中,现在地震勘探已成为一种最有效的方法。为了说明这个问题,首先介绍地震勘探的基本原理。“地震”就是地动的意思。天然地震是地球内部发生运动而引起地壳的震动。地震勘探则是用人工的方法引起地壳振动(例如在我国东部平原地区,最常用的办法是打一口 10 多米深的井,在井内放 10 公斤多的炸药,利用炸药爆炸产生人工地震),再用精密仪器记录下爆炸后地面上各点震动的情况。利用记录下来的资料,推断地下地质构造的特点。那么人工地震为什么能查明地下地质构造呢?它的原理并不深奥。我们知道,当投一块石头到平静的水池里,平静的水面就会出现一圈圈的波纹,向四面八方传播,形成了“水波”。水波传到水池边或遇到障碍物时还会返回来,发生所谓的“波的反射”。又如,人在山谷里或大厅里大喊一声,能听到回声,这是因为声波在空气中传播,遇到墙壁等障碍物会发生反射的缘故。利用声波反射现象可以测出障碍物离开我们所站地方的距离,例如,已知声波在空气中传播的速度是  $V=340$  米/秒,如测量出从呼喊开始到听见回声的时间  $t=4$  秒,那么,障碍物离开我们的距离  $S$  就可以用如下公式算出来:

$$S = \frac{1}{2} V t = \frac{1}{2} \times 340 \times 4 = 680 \text{ 米}$$

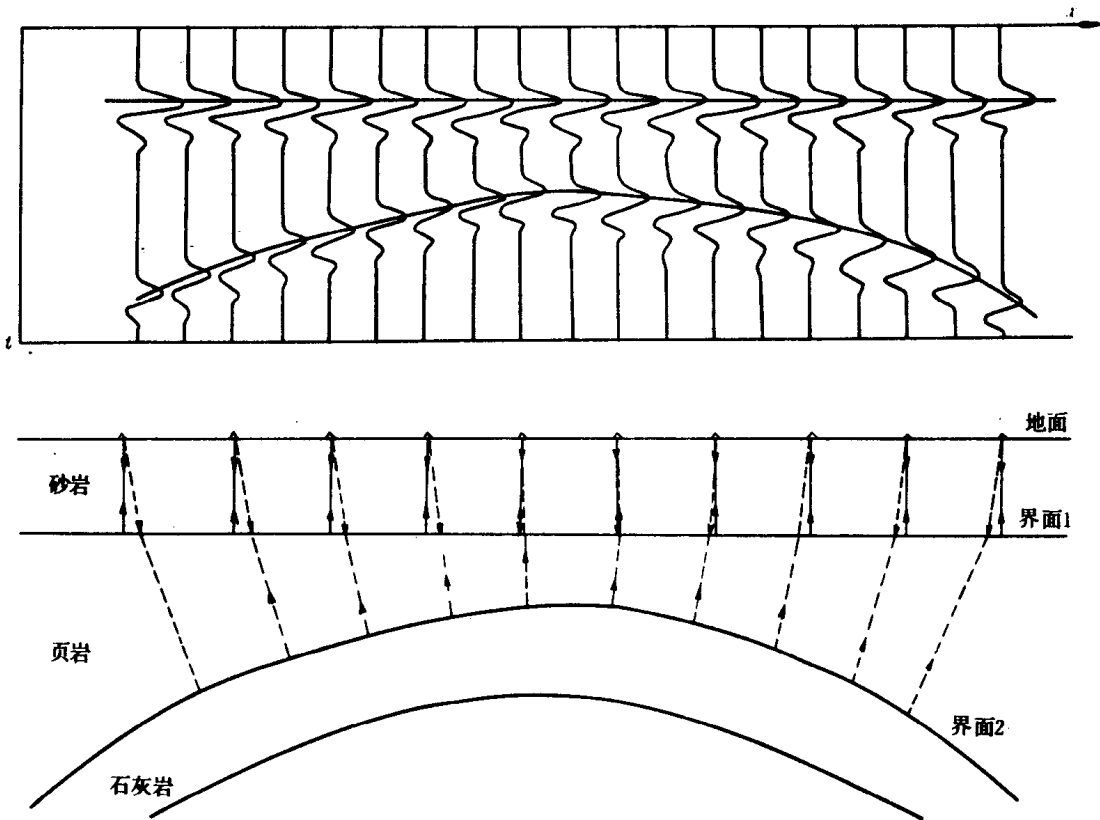


图 0-1 地震勘探原理示意图

地震勘探的基本原理与此十分类似。如图 0-1 所示在地面一条测线上某点 1 打井放炮,于是就产生地震波向地下传播。地震波遇到两种地层的分界面 1(例如砂岩和泥岩两种地层的分界面),就会发生反射。再向下传播又遇到两种岩石的分界面 2(例如泥岩和石灰岩的分界面),也

会发生反射。在放炮的同时，在地面上用精密的仪器把来自各个地层分界面的反射波引起地面振动的情况记录下来。然后根据地震波从地面开始向下传播的时刻（即爆炸的时刻）和地层分界面反射波到达地面的时刻，得出地震波从地面向下传播到达地层分界面，又反射回地面的总时间  $t$ ，再用别的方法测定出地震波在岩层中传播的速度  $V$ ，利用上面的公式，就可以得出地层分界面的埋藏深度。

沿着地面上一条测线，一段一段地进行观测，并对观测结果进行处理之后，就可以得到形象地反映地下岩层分界面埋藏深度起伏变化的资料——地震剖面图（见图 0-1）。在图上可以看到，地层界面 1 是水平的。因而在地面各点观测时，这个界面的反射波 1 的传播时间都相同。在这些反射波的振动图上，振幅极大值的连线（地震勘探中称为一个波的同相轴）就是一条水平直线，形象地反映了界面 1 的形态。地层界面 2 是隆起的，所以来自界面 2 的反射波的传播时间在各点就不一样，在界面埋藏浅的地方，传播时间短，埋藏深的地方，传播时间长。这个反射波的同相轴就是弯曲的，与界面 2 的形态相对应。在工区内布置多条测线，组成一个测线网，并在每条测线上进行观测之后，就可以得到地下地层起伏的完整概念，再综合其它物探方法和地质、钻井等各方面的资料，进行去伪存真，去粗取精，由此及彼，由表及里的分析、研究，就能查明地下可能储油的构造，确定钻探的井位。

概括地说，所谓地震勘探，就是通过人工方法激发地震波，研究地震波在地层中传播的情况，以查明地下的地质构造，为寻找油气田或其它勘探目的服务的一种物探方法。

上面介绍的地震勘探基本原理是不难理解的。但是真正运用这个原理来查明地下地质构造，具体困难是很多的。在沙漠或黄土覆盖的地区要用人工方法产生较强的地震波很不容易；一声炮响之后，除了产生来自地层界面的反射波外，还会产生各种各样的波，它们会干扰对反射波接收，往往造成以假乱真；要根据反射波的传播时间来了解地下地层分界面的埋藏深度，必须知道地震波在地层中传播的速度，但要精确的测出地震波的速度也是很困难的；……。为了克服许多具体的困难，就必须有指导地震勘探生产实践的理论 and 专门的仪器设备，以及一套生产施工的组织和方法。

地震勘探的生产工作，基本上可分为三个环节：

第一阶段是野外工作。这个阶段的任务是在地质工作和其它物探工作初步确定的有含油气希望的地区，布置测线，人工激发地震波，并用野外地震仪把地震波传播的情况记录下来。进行野外生产工作的组织形式是地震队。这一阶段的成果是得到一盘盘记录了地面振动情况的磁带。

第二阶段是室内资料处理。这个阶段的任务是根据地震波的传播理论，利用数字电子计算机，对野外获得的原始资料进行各种去粗取精，去伪存真的加工处理工作，以及计算地震波在地层内传播的速度等。这一阶段得出的成果是“地震剖面图”和地震波速度资料。资料处理工作在配备有数字电子计算机和有关专用仪器设备的计算站来完成。

第三阶段是地震资料的解释。经过计算机处理得到的地震剖面，虽然已能反映地下地质构造的一些特点，但是地下的情况是很复杂的。地震剖面上的许多现象，既可能反映地下的真实情况，也可能有某些假象。在地震剖面上只能看出地层沿剖面方向的起伏形态，而没有一个完整的立体的概念。地震资料的解释工作，就是要以辩证唯物主义思想为指导，运用地震波传播的理论和石油地质学的原理，综合地质、钻井和其它物探资料，对地震剖面进行深入的分析研究，解决上述几方面的问题。对各反射层相当于什么地质层位作出正确的判断，对地下地质构造的特点作出说明，并绘制反映某些主要层位完整的起伏形态的图件——构造图。最后，查明

有含油气希望的构造,提出钻探井位。

地震勘探与其它物探方法相比,具有精度高的优点。其它物探方法都不可能象地震方法那样详细而较准确地了解地下由浅到深一整套地层的构造特点。地震勘探与钻探相比,又有成本低以及可以了解大面积的地下地质构造情况的特点。地震勘探已成为石油勘探中一种最有效的勘探方法。在世界上,1977年资本主义世界在石油勘探方面的总投资中,有90%是用于地震勘探的。在我国,自大庆油田发现以来,新发现的油田有90%以上是用地震勘探方法找到的。目前,在我国的石油物探队中绝大部分是地震队。

从上面地震勘探原理的介绍还可以知道,直到现在,地震勘探仍然主要是寻找地下可能储油的构造,是一种间接找油的方法。近几年来,利用地震波速度资料来划分地下地层的岩性,利用地震波的振幅特性来直接探测地下的油气藏(即所谓亮点技术)等新方法新技术已经出现并进行了一些试验,取得了可喜的进展。

### 三、地震勘探的发展概况

地震勘探工作和世界上的任何事物一样,是充满矛盾的。要运用地震勘探的基本原理来实现查明地下地质构造的目的,会遇到很多具体的困难,要解决很多矛盾。这些矛盾主要是:

1) 在激发地震波时,地面就因地震波的传播而震动起来。地震勘探所要研究的就是由地面振动情况所“传达”的关于地下地质构造特点的讯息。但是激发之后,地面震动在几秒钟后就要停止了。要在地面发生震动的那段短暂的时间内,即时进行研究是不可能。因此必须把地面振动的情况记录下来,使这种“动”变为“静”,以后在室内处理阶段,又用适当的方法,把记录下来的“静止”的东西变为“动”,反复进行各种处理。

2) 人工激发的地震波所引起地面震动是微弱的,为了把它记录下来,就必须进行放大。又因为来自地下许多地层界面的各个反射波,由于传播路程长短的不同,地层界面物理性质的差异等,它们的强弱相差十分悬殊(它们在能量上的差别可大到100万倍)。要把浅层的强反射和深层的弱反射同时记录下来就不仅要求能对微弱的信号进行放大,还要求这种放大作用可以随着各个界面的反射波本身的强弱而改变。

3) 我们为了查明地下地质构造,要利用来自地层界面的反射波(反射波法地震勘探),并称它为有效波。但实际上,激发之后,在地面的振动中,必然会夹杂着各式各样的干扰波。因此在野外记录和室内处理过程中,怎样突出有效波,压制干扰波就是一个十分重要的问题。

4) 地震波的传播特点与地下地质构造之间是有密切联系的。这是我们可以应用地震勘探方法来研究地下地质构造的依据,但是,另一方面还必须考虑到,由于实际地层结构的复杂性,由于我们采用的方法在技术上的问题,最后在地震剖面上反映出来的各种地震波的传播特点,有些可能是反映地下地质构造特点的假象;如何透过地震剖面上错综复杂的现象,揭示地下地质构造的实质,这是在地震资料处理和解释中要解决的一个大问题。

地震勘探从它出现到现在近五十年来,就是围绕着解决上述一系列矛盾,在地震波的基本理论、仪器设备、野外工作方法、处理技术、解释方法等各个方面,不断改进,不断发展的。这个过程大致可以分为三个阶段:

第一阶段是用光点记录,并用人工整理资料。所谓光点记录,就是把地面振动的情况用照相方法记录下来,这样得到的记录是“死”的,不能改变因素重新处理。这样得到的原始资料质量低,资料全部由人工整理,效率低,精度也不高。

第二阶段是用模拟磁带记录,并用模拟电子计算机(基地回放仪)整理资料。模拟磁带记录就是把地面振动情况,以模拟的方式录制在磁带上(与磁带录音类似)。在室内可以用模拟磁带

基地回放仪,改变仪器因素反复处理。也就是说这样的“死”记录,在回放处理时又可以变“活”。因而使资料整理工作实现了部分的自动化,资料整理也有了较大的提高,并可直接得到形象地反映地下地质构造形态的地震时间剖面。

第三阶段是用数字磁带记录,并用数字电子计算机整理资料。所谓数字磁带记录,就是在野外记录的是地震波振幅的离散值,而不是记录连续波形。由于采用数字磁带记录,从而大大地提高了原始资料的质量。此外,使用数字电子计算机后,资料处理方法更加完善、灵活、精确,资料整理的自动化程度和工作效率都获得大大提高,成果资料也更加丰富。

在地震勘探的野外工作方法方面,也有过两次重要的改革。地震勘探的初期,是每道用一个检波器接收,在五十年代利用了检波器组合技术,即在一个接收点上用几个检波器,按一定的方式排列,把它们接收到的振动叠加起来,作为在该点接收到的地震讯号。这种方法能有效地压制面波和微震之类的干扰。

在六十年代中期。随着模拟磁带技术的应用,又提出了多次复盖野外工作方法和共深度点叠加技术。以往的地震工作是对地下反射界面只进行一次观测,而多次复盖方法是适当地布置几对激发点和接收点,使得几次激发和接收都能得到来自地下同一点的反射。在室内处理阶段中,再按一定的方式把几次分别得到的来自同一反射点的讯号叠加起来,这种方法能大大提高地震资料的质量,对压制多次波效果尤其显著。此外,多次复盖方法获得的原始资料还可以用来较准确地计算地震波的传播速度。多次复盖的出现是地震勘探野外工作方法上的又一次重大进步,人们认为,多次复盖野外工作方法和数字地震技术的出现是现代地震勘探已发展到一个新水平的两个主要标志。

最后简单介绍我国地震勘探的发展概况。在旧中国,地震勘探工作完全是一张白纸。解放后,在党的领导下,有了很大的发展,大致经历了如下几个阶段:

建国初期到50年代中期,队伍从无到有,初步开展了地震勘探工作。但仪器和工作方法基本照搬苏联的一套,成本高、效率低,地质效果也不好,当时地震勘探在我国各种石油物探方法中只处于一般的地位,包括地震勘探在内的整个石油地球物理勘探的重心在西部地区。

50年代后期起,石油地球物理勘探重心逐渐转移到东部。地震队的数目从50个发展到150个。由于松辽盆地的地表和地下地震地质条件比较简单,我们在工作方法上也能采取了一些适合该地区条件的措施(如在仪器因素选择上采用高灵敏度、高分辨率、低干扰背景、低振幅,即所谓“两高两低”),获得了面貌清晰、层次清楚的地震记录。在大庆油田的勘探开发中地震勘探取得了很大的成功,从此确定了地震勘探在各种物探方法中的优先地位。

随后,勘探工作迅速向南转移到华北等地,在勘探胜利、大港等油田中,地震勘探进一步发挥了主要作用,并在用地震勘探研究断层方面,取得了较好效果,初步总结出一套在我国东部平原地区进行地震勘探工作的成功经验。

1965年,我国完全依靠自己的力量试制成功第一台模拟磁带地震仪,到70年代初实现了模拟磁带化。这期间多次复盖技术也得到推广。野外工作,资料处理,解释方法等方面都有较大进步。许多新油田的发现、老油田的发展扩大,就是利用模拟磁带技术的成果。

在迅速实现模拟磁带化的同时,从1970年开始加紧了地震数字化的仪器研制和方法研究试验工作。1972年试制出第一台数字地震仪,1973年我国自行设计制造的第一台100万次数字电子计算机及地震专用外围设备正式用于处理地震资料。在我国第一个古潜山类型高产油气田的勘探开发中,数字处理技术取得了显著成效。现在,全国各油田的地震资料已全部采用数字处理,野外数字地震仪逐渐增多,我国的地震勘探技术正在向数字化迅速发展。近几年,我

国西部地区的勘探工作重新得到加强,海上石油物探工作也逐步开展起来了。当然也应当看到,目前我国地震勘探方法技术同世界先进水平相比,还有较大差距,仪器设备,特别是震源和运载工具都比较落后,地震勘探的基础理论研究工作很薄弱,对整个地震勘探生产过程的各个环节缺乏科学的管理,在引进外国先进技术的同时,如何加强我国自身的技术力量,真正做到洋为中用等等。这些问题都需要认真努力解决。只有这样才能使我国的地震勘探得到更快的发展,在石油勘探中发挥更大作用。



## 第二版补充

八十年代,我们继续发扬大庆精神,艰苦奋斗,奋发向上;坚持自力更生为主,又引进先进的管理方法和技术设备,并加以消化吸收和发展,在这些正确的方针指引下,通过地震勘探战线广大技术人员和工人的努力,地震勘探方法技术有了很大进步<sup>[236]</sup>。

在野外数据采集方面,到1988年底,全国石油系统已有地震队259个(其中海上队5个);在1986年地震队就已全部使用数字地震仪。目前已有十多道(120道以上)数字地震仪及遥测地震仪210台套。组建了28个可控震源地震队,有上百台可控震源。有50个沙漠地震队,20个三维地震队,以及少量VSP、横波勘探和高分辨率地震勘探的试验队伍。这些地震队都配备了各种越野车辆,气水两用钻机,通讯电台,卫星定位系统,各种工程车,生活车。在沙漠中还用直升飞机进行运输,从而大大提高了队伍的机动能力,形成了能适应多种复杂地表条件的配套的地震队伍。

在资料处理方面,目前我国石油系统已有26个用于地震资料处理的计算中心,有百万次以上计算机45台。所采用的应用软件基本上保持了与国外先进技术同步发展的水平,特殊处理和三维地震资料处理的能力和完成的工作量都大大提高了。

在地震资料解释方面的进步尤其显著。对断块油田的整套构造解释方法已比较成熟和规范化。对国外的主要以大面积的、比较稳定的海相地层作为研究对象的地震地层学方法原理,进行学习吸收,并在结合实际情况用于我国许多陆相断陷盆地的研究方面发展起来,取得了较好效果,为油气勘探作出了贡献。

七五期间,在用地震资料进行地层岩性解释、油气检测、储层研究,以及帮助解决油田开发中的一些问题等方面,都进行了不少成功的试验和探索,打开了一个新的局面。这些重大进展的基础首先是三维地震技术、横波勘探、VSP、高分辨率地震勘探等新技术,为地震解释提供了数量更多、质量更高的地震信息;其次是解释人员在工作中已注意到更自觉地综合利用地质、测井、钻井等各方面的资料和综合利用地震波速度、振幅、频率、相位等地震参数;还有,我国从1986年开始引进人机联作解释工作站,到目前各油田已拥有40多台,这一先进设备及整套先进的解释技术使构造解释和岩性解释工作的质量和效率大大提高,使解释工作发展到一个新的阶段。

地震勘探一直是在覆盖区勘探油气的重要手段。地震勘探方法技术的进步,有力地促进了全国油气勘探工作的发展,近十年老油区内部继续有新的发现,新地区的勘探步伐显著加快,特别是新疆塔里木盆地取得的重大突破,为今后油气储量的接替和产量的增长提供了有利的条件。

建国以来经过四十年的奋斗,我国已成为一个世界石油地球物理勘探大国,地震勘探方法技术也已跻身于世界的先进行列。可以相信,八五期间以及到本世纪末,地震勘探将会发展到