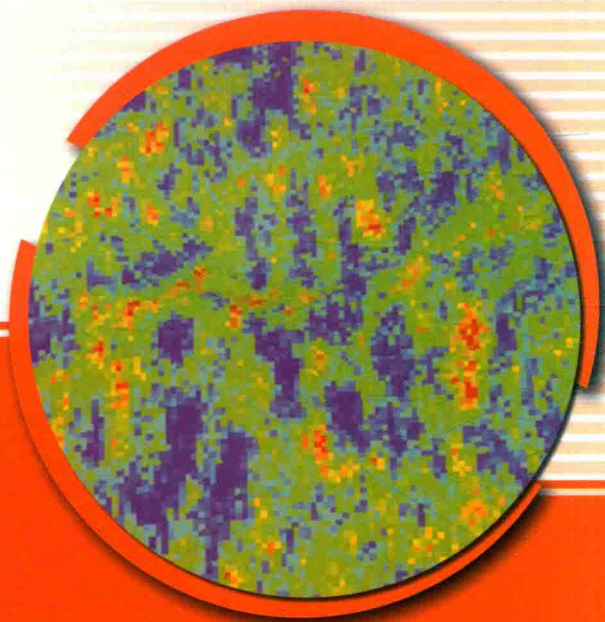


石油地质勘探类系列书

SEISMIC EXPLORATION
FOR OIL AND GAS

油气地震勘探

胡伟光◎编著



中国石化出版社

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

油气地震勘探

胡伟光 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书以四川盆地的油气勘探实例为基础,系统阐述了地震勘探的技术方法、应用实例。以用简单的理论说明地震勘探的各个配套工程为目的,阐明了地震资料采集、处理、解释、储层预测等一整套的技术方法,并采用了一些地震勘探实例来加深认识。利用本书的技术方法及研究成果可为相关的地震勘探工作提供帮助,其配套的应用技术及参数可在地震勘探中进行推广和应用。

本书可供各大石油公司从事地震勘探、油气开发、软件研究的人员参考,也可供高等院校石油地质、地球物理、石油工程等相关专业的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

油气地震勘探 / 胡伟光编著. —北京:中国石化出版社,2017.5
ISBN 978-7-5114-4416-5

I. ①油… II. ①胡… III. ①油气勘探-地震勘探-研究 IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 103183 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

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

700×1000 毫米 16 开本 13.5 印张 237 千字

2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

定价:56.00 元

前言

地震勘探是一个多系统协作的过程，它需要通过地震资料采集、处理、解释及储层预测等部门通力协作，才能根据油气异常信息确定出有利的勘探井位。在这个过程中，广大地球物理工作者付出了辛勤的劳动及聪明的才智。全世界有许多的石油公司及服务商在从事油气勘探工作，从冰天雪地的北极到酷热难耐的沙漠地区，都有勘探者的身影。

现阶段，油气勘探正逐步侧重于岩性勘探，相关的技术手段及方法相继产生，主要包括地震层位精细标定技术、全三维地震资料解释技术、地震多属性综合解释技术、沉积体系和沉积相分析技术、储层综合预测技术等。它们在提高纵、横向分辨率、识别储层和岩性圈闭顶底板方面显示出各自的优势，同时进行综合分析，彼此相互印证。例如在岩性圈闭识别中增加了更多的“约束”条件，以提高岩性识别的准确性，达到降低勘探风险的目的。总之，不同的地球物理技术在岩性油气藏勘探中的作用是不同的，它们呈相互依赖、相互印证的关系。针对储层的孔隙、裂缝等物理特征的地震勘探，可以推动相关地震技术的发展，进而产生适用于储层预测的地震资料采集、处理、解释及储层预测的各个环节的技术。

鉴于中国石化勘探分公司在四川盆地油气勘探的成功，本书主要收集该公司在四川盆地及江汉地区的油气勘探资料，并进行总结，从而编制成书。近年来，在四川盆地围绕焦石坝地区海相的龙马溪—五峰组开展相关勘探工作，并将沿齐岳山大断裂带的四川盆缘的背斜构造区域甚至盆内向斜区域作为页岩气勘探重点。此外，在盆内的陆相

致密砂岩储层及海相礁滩相储层的勘探中，都取得了极大的成功，发现了一大批高产的工业油气田。本书是将利用地震勘探资料所取得的成果进行总结、归纳及分析，希望起到抛砖引玉的作用，更好地为油气勘探服务。通过阅读本书，希望能使广大读者了解油田公司油气勘探的特点及操作方法，更早地融入到油田的勘探实践中，少走弯路，积累相关的勘探经验。

本书共分为七章，第一章主要介绍地震勘探的历程、技术特征、仪器发展。第二章至第六章重点阐述地震勘探的采集、处理、解释及储层预测的实践操作过程和应用情况，对地震勘探的过程进行展示及分析。第七章主要是对书中一些油气勘探例证的说明。

由于现阶段我国的油气勘探进程相对较快，本书中对油气地震勘探成果的分析、认识可能不足，并且本书成果集成总结的时间相对紧张，再加上作者水平有限，书中错误和分析不妥之处望读者不吝赐教。

目 录

1 概论	(1)
1.1 地震勘探历程	(3)
1.2 地震勘探简介	(7)
2 地震资料采集及处理	(16)
2.1 地震资料采集	(16)
2.2 地震资料处理	(31)
3 地震资料解释	(62)
3.1 地震资料解释简介	(62)
3.2 地震资料解释流程	(65)
3.3 地震资料解释讨论	(73)
4 储层空间预测	(78)
4.1 波阻抗反演技术	(84)
4.2 波形地震相分析技术	(99)
4.3 地震属性分析技术	(104)
5 储层油气检测	(118)
5.1 吸收衰减简述	(118)
5.2 AVO 分析技术	(123)
6 储层裂缝检测	(138)
6.1 相干体技术	(144)
6.2 曲率技术	(151)
6.3 方位地震 P 波属性裂缝预测	(157)
6.4 构造应力场模拟	(183)
7 结束语	(192)
参考文献	(195)

1 概 论

近 20 年来,随着世界能源消费量的猛增和供需矛盾的日益突出,油气勘探有着非常重要的意义。而地球物理勘探技术作为油气勘探中的一种重要技术,在当今的油气勘探中具有举足轻重的作用,也随着计算机技术的飞速发展而得到迅猛的进步。由此可见,该技术的进步带动了一大批相关企业和公司的发展,从而不停地推动地球物理勘探技术的发展,更好的为找油找气服务,为经济的腾飞及产业的发展服务。

石油作为一种战略资源,一直受到各国的高度重视。世界的一些热点地区都有石油斗争的影子,比如海湾地区。中国是石油进口大国,每天的石油消耗量很大,而国内产能相对不足。所以,在我国找油找气的勘探工作一直得到政府的高度重视,并有中国石油、中国石化、中国海油等巨型国有企业控制着中国的陆上及海上的油气勘探业务。

北宋时期的大科学家沈括在《梦溪笔谈》中根据石油“生于水际砂石,与泉水相杂,惘惘而出”的特征将其正式命名。他在描述了陕北富县、延安一带石油的性质和产状后进一步提出了“盖石油至多,生于地中无穷,不若松木有时而竭”的科学论断,并且预言“此物后必大行于世”。新中国成立前夕,我国原油产量约为 12 万吨(其中天然油 7 万吨,人造油 5 万吨)。经过 50 多年的艰苦奋斗,在 53 个盆地中发现了油气显示,其中在 36 个盆地中找到工业油气流,包括 531 个油田和 185 个气田。1964 年原油产量就达到 848 万吨,在国民经济建设中,实现了石油的基本自给;1978 年上升到 1.04 亿吨,年产量世界排名由 1949 年的第 29 位上升到第 8 位;1997 年产原油 1.6 亿吨,产量名次稳定在世界第 5 位,成为重要的产油大国之一。

我国沉积盆地广阔,适宜进行油气勘探的盆地约有 500 多个,沉积岩面积约为 $670 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中陆上面积约为 $520 \times 10^4 \text{ km}^2$,近海大陆架面积约为 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在这些盆地中,既有发育在古生代稳定地台上的海相沉积盆地(面积约

$250 \times 10^4 \text{ km}^2$), 又有中生代陆相断陷沉积盆地, 二者常常形成叠合 + 复合沉积盆地。从已发现的油气储量来看, 新生界的石油储量占石油总储量的 44.3%, 中生界占 44.7%, 古生界占 8%, 前古生界占 3%。新生界的天然气储量占天然气总储量的 33.7%, 中生界占 20.3%, 古生界占 41.6%, 前古生界占 4.4%。由此可知, 中生界共占油、气储量的 89% 和 54%, 其产层以白垩系和第三系为主, 三叠系、侏罗系次之。因此, 中生代陆相地层的生油和储油在我国具有举足轻重的地位, 也是我国油气地质的一大特色。

在我国的四川盆地内, 发育着海相及陆相的多套油气储层。由于四川盆地的地层沉积相对稳定, 构造对油气藏的破坏相对较小, 沉积的地层也比较适合油气运移及聚集。总的来说, 四川盆地的储层自上而下, 分别有千佛崖组、大安寨段、须家河组、雷口坡组、飞仙关组、长兴组及茅口组、龙马溪—五峰组及龙王庙组等, 均钻获工业气流并获得重大商业突破。从储层类型来看, 主要有致密砂岩、礁滩相、页岩类储层, 并可例举出大量的地震勘探实例及成功经验, 这些都值得我们去探索及研究。

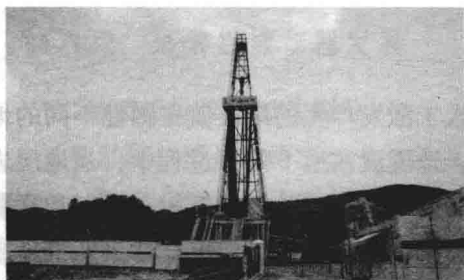
在油气勘探技术方面, 我国经过 50 年的奋斗和发展形成了综合配套的技术系列, 包括地面地质调查技术、地球物理勘探技术、井筒技术和石油地质实验技术, 以及盆地模拟、区带评价—圈闭评价的油气资源评价技术等。油气勘探的过程就是一个多专业协作的过程, 它包括地质调查、地球物理勘探、钻探、测试及开采等 (图 1-1)。其中, 地球物理勘探技术包括多个方面的勘探方法, 如电法、磁法、重力、地震等四大类。但现阶段, 在油气勘探活动中使用得最多的是地震勘探技术, 它广泛地应用于石油勘探及开发过程中。原因在于该技术比其他的勘探技术具有更高的分辨率和良好的油气响应特征及各种信息丰富等特点。随着仪器及计算机技术的进步, 该技术越来越得到广泛的应用, 并可用于工程检测、水库及煤炭行业。目前, 地震勘探已进入三维地震技术、高精度地震数字处理技术、计算机交互地震解释技术以及各种成像处理技术阶段, 并且在各个方面都得到迅猛的发展。



(a) 地质人员在野外开展油气地质调查



(b) 在某山区开展地震勘探施工



(c) 川东南某页岩气专探井进行钻探施工



(d) 对某钻井的某个目的层段进行产能测试

图 1-1 油气勘探过程

1.1 地震勘探历程

纵观油气勘探历程, 由于相关的地质、地球物理、钻探技术的进步, 使得油气勘探变得相对容易, 造成一大批岩性油气藏得到勘探开发 (如焦石坝页岩气), 并获得可观的经济效益。对于地震勘探来说, 也经历了由简单到复杂的资料采集、处理、解释的过程。在这个过程中, 得到了越来越多的经验的积累, 并有相关大量的书籍、文章、专利流传。

19 世纪中叶人类在制造出记录地震发生期地壳运动的地震记录仪后, 对地震波传播理论进行了研究, 并取得了许多成果。在此基础上逐渐研究出了利于人工地震激发和接收的地震波寻找矿产资源的方法。从 1924 年在美国德克萨斯州首次利用单次覆盖地震资料发现油田 (1926 年在美国奥克拉荷马州的沉积盆地上根据反射地震记录解释布置的钻孔第一次打出工业油流) 到现在, 世界上大多数油气田是利用地震技术找到的。所以, 地震技术已成为油气勘探的重要工具。20 世纪 50 年代, 地震勘探方法中多次覆盖技术的出现, 促进了光点记录地震仪被模拟磁带记录地震仪所取代; 60 年代, 反褶积技术和速度滤波技术的提出, 数字地震仪迅速替代了模拟磁带记录地震仪, 而在 70 年代提出的三维地震勘探技术, 对地震仪的带道能力有更高的要求, 多道遥测数字地震仪应运而生; 90 年代, 高精度三维地震勘探技术要求仪器必须解决高频信号的瓶颈问题, 全数字遥测地震仪开始出现; 高密度全数字三维地震勘探概念的提出, 成为万道地震仪面世的第一推手。随着多分量地震勘探技术、时移地震技术的不断推广应用, 以解决复杂地区的勘探问题及提高油藏采收率, 今后地震勘探技术对地震仪器高精度、轻便性、灵活性等方面将提出了新的要求。

1.1.1 地震勘探技术方法

在地球物理勘探中,地震勘探是利用人工激发产生的地震波在弹性不同的地层内传播规律来勘测地下地质情况的方法。地震波在地下传播过程中,当地层岩石的弹性参数发生变化,从而引起地震波场发生变化,并发生反射、折射和透射现象,通过人工接收变化后的地震波,经数据处理、解释后即可反演出地下地质结构及岩性,达到地质勘查的目的。地震勘探方法可分为反射波法、折射波法和透射波法三大类,目前地震勘探主要以反射波法为主。

地震勘探的生产工作基本上可分为三个环节。

第一个环节是地震野外采集工作。这个环节的任务是在地质工作和其他物探工作初步确定的有含油气希望的探区布置测线,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。这一阶段的成果是得到一张张记录了地面振动情况的数字式“磁带”,进行野外生产工作的组织形式是地震队。野外生产又分为试验阶段和生产阶段,主要内容是激发地震波、接收地震波。

第二个环节是室内地震资料处理。这个环节的任务是对野外获得的原始资料进行各种加工处理工作,得出的成果是“地震剖面图”和地震波速度、频率等资料。

第三个环节是地震资料的解释。这个环节的任务是运用地震波传播的理论和石油地质学的原理,综合地质、钻井的资料,对地震剖面进行深入的分析研究,说明地层的岩性和地质时代,说明地下地质构造的特点;绘制反映某些主要层位的构造图和其他的综合分析图件;查明有含油、气希望的圈闭,提出钻探井位。

近几十年来,随着地震数据采集方法和装备的改进、数据处理技术的提高和解释方法的发展,利用地震资料不仅能确定地下构造形态、断裂分布,而且能了解地层岩性、储层厚度、储层参数甚至能直接指示地下油气的存在。地震资料同测井、岩心资料以及其他地下地质资料相结合能对油藏进行描述和监测。

例如青海油田英雄岭地区为历代地质学家公认的油气富集区,但勘探难度堪称“世界之最”,曾经历了“五上五下”的勘探历程,一直未取得突破。采用宽方位高密度三维地震勘探技术后,地震资料品质实现质的飞跃,取得了历史性突破。在英东地区实施钻井42口,钻探成功率达到98%,发现了亿吨级高原整装大油田。在地表条件更为复杂的英中山地,推广应用宽方位高密度三维技术,地震资料品质再次迈上一个台阶,标志着对于中国复杂地质目标的地震勘探再无禁区。

1.1.2 地震勘探仪器发展

1) 地震勘探仪器时代划分

地震勘探仪器是集传感技术、微电子技术、计算机技术、数据传输技术、通讯技术、数据存储技术、工艺材料技术等为一体的综合系统。随着地震勘探方法的不断创新地震勘探仪器也在不断更新换代,从20世纪30年代诞生第一代模拟光点记录地震仪器开始,大致可分为六代。

地震勘探仪器的发展可划分为:第一代电子管地震仪,通常称为模拟光点记录地震仪;第二代晶体管地震仪,通常称为模拟磁带记录地震仪;第三代集成电路地震仪,通常称为数字磁带记录地震仪,也称为常规数字仪;第四代大规模集成电路地震仪,通常称为遥测地震仪;第五代超大规模集成电路地震仪,通常称为新一代遥测地震仪(24位遥测地震仪);第六代全数字遥测地震仪。目前,包括我国在内的世界地震勘探仪器的发展正处于第五代末期和第六代开始的过渡阶段。

2) 各时代地震勘探仪器特点

(1) 模拟光点记录地震仪器(第一代),其中以51型仪器为代表。此种仪器以光点感光照相纸记录作为地震勘探的生产资料,成品记录是一次性直接可操作的模拟波形。所采集地震数据特点是信号的动态范围小(仅20dB左右),记录信号的频带窄(仅20Hz左右),可记录的地震道数一般在24道以下。

(2) 模拟磁带记录地震仪器(第二代),其中以DZ663型仪器为代表。此种仪器以永久性记录到磁带的模拟信号为地震勘探生产资料,其生产记录特点是为可多次重复利用的以磁带为介质的模拟波形。可记录地震信号的动态范围仍然较小(仅40dB左右),可记录地震信号的频带范围在100Hz以下,能够记录的地震道数一般在48道以下。

(3) 数字地震仪器(第三代),如DFS-V、SN338、SK83等型号。这类仪器是将采集的地震信号进行数字角计算。其创新点是采用了前置放大、瞬时浮点放大和模/数转换技术,实现了由模拟记录到数字记录的变革。新技术的应用,使得系统的瞬时记录动态范围达到70dB以上,可记录有效地震信号的频带范围最高可以达到250Hz左右,能够记录的地震道数一般在240道以内。

(4) 遥测数字地震仪器(第四代),如SN348、SN368、OPSEIS5586、SYSTEM ONE、OPSEIS EAGLE、TELSEISTR、YKZ480、SK1004等。这类仪器与第三代仪器有同样的工作原理,所不同的是主机系统通过控制/分布在排列上的采集站来采集地震数据。简化了主机的积木式硬件结构并甩掉了笨重的模拟大线,

其采集能力和抗干扰能力都有显著提高。其技术进步就在于实现了以数字信号形式在电缆上串行传输地震道信息。由于主机得到了充分地简化,加之数字信号传输电缆的重量不再受接收地震道数的限制,系统的采集能力也得到了空前的提高,一般在 2ms 采样时能有 1000 道左右的实时采集能力。

(5) 二十世纪九十年代才推出的采用 PETROLEUM INSTRUMENTS 技术的 24 位 A/D 型遥测数字地震仪器(第五代),其代表是如今广为流行的 SN388、ARIES、BOX、SYSTEM TWO、GDAPS4、IMAGE、SYSTEM FOUR-AC、408UL 等。这代仪器的核心技术就在于用 24 位 A/D 转换器取代了先前的瞬时浮点放大器 and 14 或 15 位 A/D 转换器,且在不考虑检波器的瓶颈作用时,该技术的应用使得系统的瞬时动态范围上升到 110dB 或更多,可记录地震信号的频带达 800Hz 或更高(实际上受模拟检波器的制约,整个接收系统的瞬时动态范围仍在 70dB 左右,其有效频带宽度也在 300Hz 以下)。随着计算机技术的发展以及数字处理技术在地震勘探仪器上的应用,仪器的集成度和采集能力进一步得到提高,其 2ms 的基本采集能力一般都在 5000 道左右。

(6) 全数字地震仪器(第六代),其代表是 I/O 公司生产的系统 IV(VC 或 VR)和 SERCEL 公司生产的 408UL-DSU。这类仪器和前一代仪器相比根本不同的是:系统中包含了以 MEMS 技术为核心的加速度数字传感器(数字检波器),使得整个接收系统的瞬时动态范围在 90dB 以上,而且从 0~500Hz 都能等灵敏度和等相位响应地震波信号。这代仪器的关键技术就是突破了传统模拟检波器(通常的失真度是 1j)长期以来制约着系统的瞬时动态范围,真正实现了完全数字化,不怕电磁干扰,有万道以上实时采集能力。它是今后实现宽频带万道多波高精度采集的方向。

3) 地震勘探仪器未来发展特征

纵观地震勘探仪器的发展历史可见,地震勘探技术、电子技术、计算机技术、通讯技术、数字信号处理技术、数据传输技术的迅猛发展以及新工艺、新材料等的不断涌现是地震勘探仪器发展与更新换代的基础,勘探市场和用户的需求是地震勘探仪器发展的经济动力。地震勘探仪器的发展目标总是以不断满足用户需求、不断适应市场变化、不断跟踪世界最新技术成果为内容,以制造出轻便、廉价、稳定、高精度、大容量、功能齐全、软件完备、指标优越的仪器为特征,以追求通用、灵活、高度智能化、检波有多维全波场万道甚至十万道准实时采集能力,并可将采集数据直接传到中央处理中心等采集与管理过程一体化、高度智能化、自动化但又无固定模式的有线与无线完全兼容的自由组合式开放系统。

1.2 地震勘探简介

地震勘探就是通过人工方法激发地震波（图 1-2），研究地震波在地层中传播的情况，以查明地下地质构造，为寻找油气田或其他勘探目的服务的一种方法。也可以理解为就是利用地震子波从地下地层界面反射回地面时带回来的旅行时间和形状变化的信息，用以推断地下的地层构造和岩性。地震勘探在油气勘探内已有的各种物探方法中是最有效的方法。在地震勘探中用炸药激发时，一声炮响之后会产生各种各样的地震波。按波在传播过程中质点震动的方向来区分，可以分为纵波和横波；根据波动所能传播的空间范围而言，地震波又可以分为体波和面波；按照波在传播过程中的传播路径的特点，又可以把地震波分为直达波、反射波、透射波、折射波等（图 1-3）。地震勘探在石油勘探中除了能产生来自地层界面有用的反射波外，还会产生各种各样的干扰波。

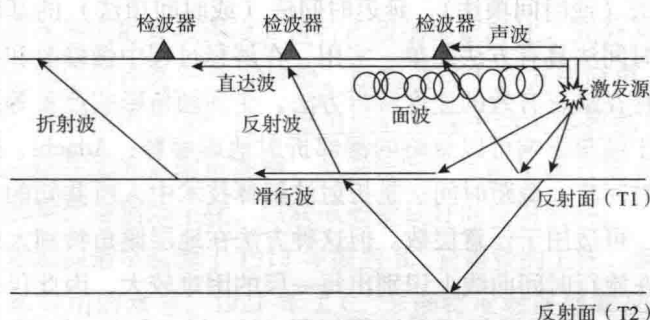


图 1-2 地震勘探中各种波传播的分布示意图

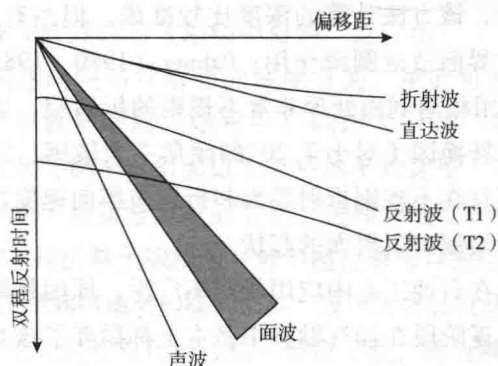


图 1-3 地震记录中的各种波在时间 - 偏移距坐标中分布示意图

综合上述可知地震勘探技术在油气勘探中可以分为多种波的类型, 技术方法主要有折射波法、反射波法、面波法及透射波法、多波联合勘探等方法。当然, 伴随它们有相关的观测系统及采集方案及仪器设备。

1) 折射波法

折射波 (refracted wave) 是指地震波在传播中遇到下层的波速大于上层波速的弹性分界面, 而且入射角达到临界角 (使透射角为 90°) 时, 透过波将沿分界面滑行, 又引起界面上部地层质点振动并传回地面的波。

1919 年德国人 (L. Mintrop) 首先运用了折射法, 当时主要应用于石油勘探。到 20 世纪 30 年代, 就从石油工业方面开始转用于民用工程勘探。Thornburgh 根据地震波传播的惠更斯原理, 提出了一种图解法——波前法; Hagedoorn 根据几何地震学原理, 给出了一种用相遇观测系统 (图 1-4) 折射地震资料求取水平均匀层折射界面的几何作图法——加减法, 并应用加减法成功地解决了浅层折射波解释和地震反射折射勘探中的风化层校正问题; Bathelemes、Tarrant、Barry 等提出了延迟时间法 (或时间项法), 延迟时间法 (或时间项法) 的基础是延迟时间的概念。延迟时间法具有方法简单、实用、在解释过程中做修改和校正十分方便的优点, 但是存在缺乏有效的速度解析方法、受到倾角影响严重等缺点。因此该方法比较适用于倾角影响可以忽略的深部折射地震解释; Adachi、Mota、Johnson 等提出了截距时间法, 截距时间法是折射波解释技术中人所共知的一种方法。该方法比较简单, 可适用于任意层数。但这种方法在地层倾角特别大或倾角与走向发生变化时, 在旅行时间曲线上识别出每一层的困难较大, 因此仅适用于地层呈平面和其倾角小于 10° 的浅层折射地震解释; Hawkins L. V. 在 1961 年提出互换法, 它是一种最简单的方法, 能确定简单的折射层结构和速度变化。当深度变化平缓, 速度反差大时, 该方法计算的深度比较准确。但当有一些较大的构造时, 会产生虚假速度并对界面造成圆滑作用; Palmer (1980, 1981) 提出的广义互换法 (GRM), 可以利用相遇剖面处理非常不规则的折射层。该方法由于使用了正反向时距曲线, 时深转换因子对小于 20° 的倾角不太敏感, 因此可以处理倾角较大的折射层构造。而且在不规则折射界面和折射波横向速度发生变化或存在隐蔽带时, 也可以详细地绘制出折射面的起伏。

总的来说该方法在石油工业中应用相对不广泛, 原因是资料的信息量相对较少, 精度较低所致。现阶段在油气勘探中基本上都抛弃了该技术, 这方面的勘探资料及信息相对较少。

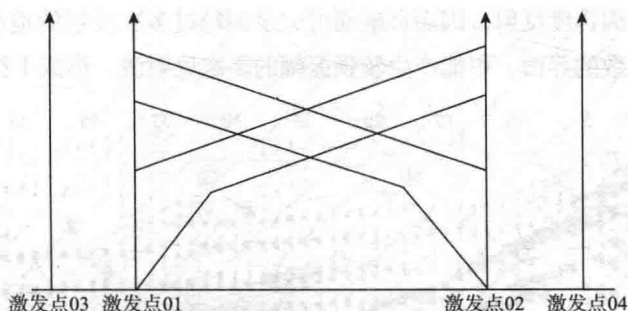


图 1-4 折射波法中的相遇追逐观测系统及时距关系示意图

2) 反射波法

反射波法是利用地震反射波进行地质勘探的方法。通常在激发点附近，即深层折射波的盲区以内接收反射波。在巨厚沉积岩分布的地区，一般在几公里的深度范围内能有几个到几十个反射界面，故能详细研究浅、中、深层地质构造。

根据反射波的资料，可求地震波在覆盖层的传播速度和大段地层的层速度，进而能准确地求得界面的埋藏深度并进行大段的地层对比。充分利用反射波的动力学特点，可以确定岩性甚至直接找油。反射波法工作方法简单，生产效率高、效果好。因此，目前国内外油气田、煤田地震勘探中绝大多数都采用反射波法。由于反射波法一般在激发点附近观测，受激发时产生的干扰及地表结构的影响较大，故随时都必须注意消除干扰，以获取质量良好的反射资料。

反射法地震勘探最早起源于 1913 年前后 R. 费森登的工作，但当时的技术尚未达到能够实际应用的水平。1921 年 J. C. 卡彻将反射法地震勘探投入实际应用，在美国俄克拉荷马州首次记录到人工地震产生的清晰的反射波。1930 年，通过反射法地震勘探工作，在该地区发现了 3 个油田。从此，反射法进入了工业应用的阶段，并在现今阶段的油气勘探中得到广泛应用。

(1) 反射波的到达时间与反射面的深度有关，据此可查明地层埋藏深度及其起伏。随着检波点至震源距离（炮检距）的增大，同一界面的反射波走时按双曲线关系变化，据此可确定反射面以上介质的平均速度。反射波振幅与反射系数有关，据此可推算地下地层波阻抗的变化，进而对地层岩性做出预测。

(2) 反射法勘探采用的最大炮检距一般不超过最深目的层的深度。除记录到反射波信号之外，常可记录到沿地表传播的面波、浅层折射波以及各种杂乱振动波（图 1-5）。这些与目的层无关的波对反射波信号形成干扰，称为噪声。使噪声衰减的主要方法是采用组合检波，即用多个检波器的组合代替单个检波器，有时还需用组合震源代替单个震源，此外还需在地震数据处理中采取进一步的措施。反射波在返回地面

的过程中遇到界面再度反射，因而在地面可记录到经过多次反射的地震波。如地层中具有较大反射系数的界面，可能产生较强振幅的多次反射波，形成干扰。

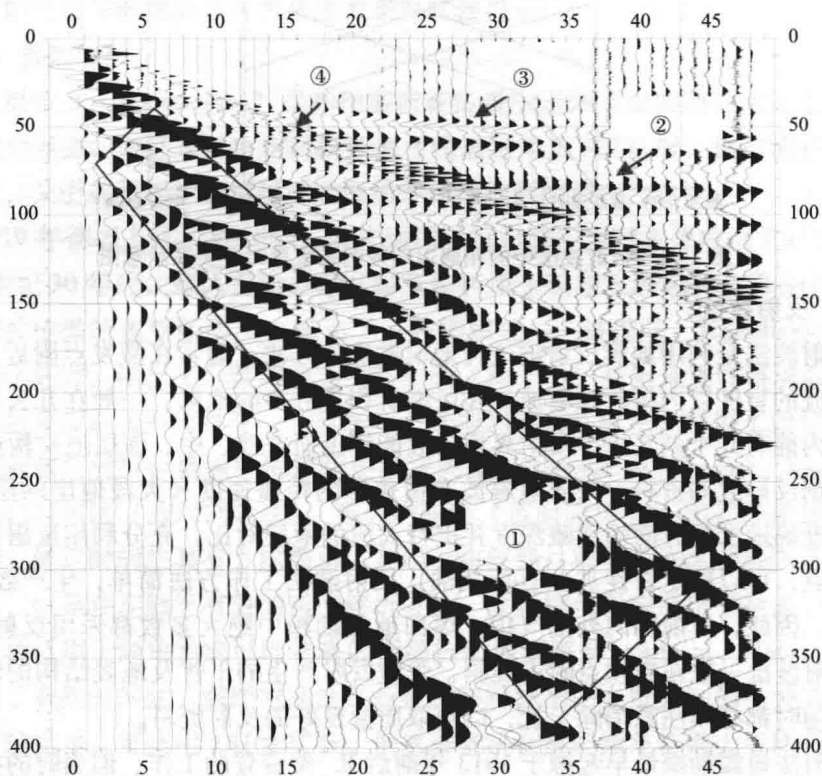


图 1-5 原始单炮记录中的各种波分布示意图

(3) 反射法观测广泛采用多次覆盖技术(图 1-6)。连续地相应改变震源与检波点在排列中所在位置，在水平界面情形下，可使地震波总在同一反射点被反射返回地面，反射点在炮检距中心点的正下方。具有共同中心反射点的相应各记录道组成共中心点道集，它是地震数据处理时所采用的基本道集形式，称为 CDP 道集。多次覆盖技术具有很大的灵活性，除 CDP 道集之外，视数据处理或解释之需要，还可采用具有共同检波点的共检波点道集、具有共同炮点的共炮点道集、具有相同炮检距的共炮检距道集等不同的道集形式。采用多次覆盖技术的好处之一就是可以削弱这类多次波干扰，同时尚需采用特殊的地震数据处理方法使多次反射进一步削弱。

(4) 反射法可利用纵波反射和横波反射。岩石孔隙含有不同流体成分，岩石的纵波速度便不相同，从而使纵波反射系数发生变化。当所含流体为气体时，

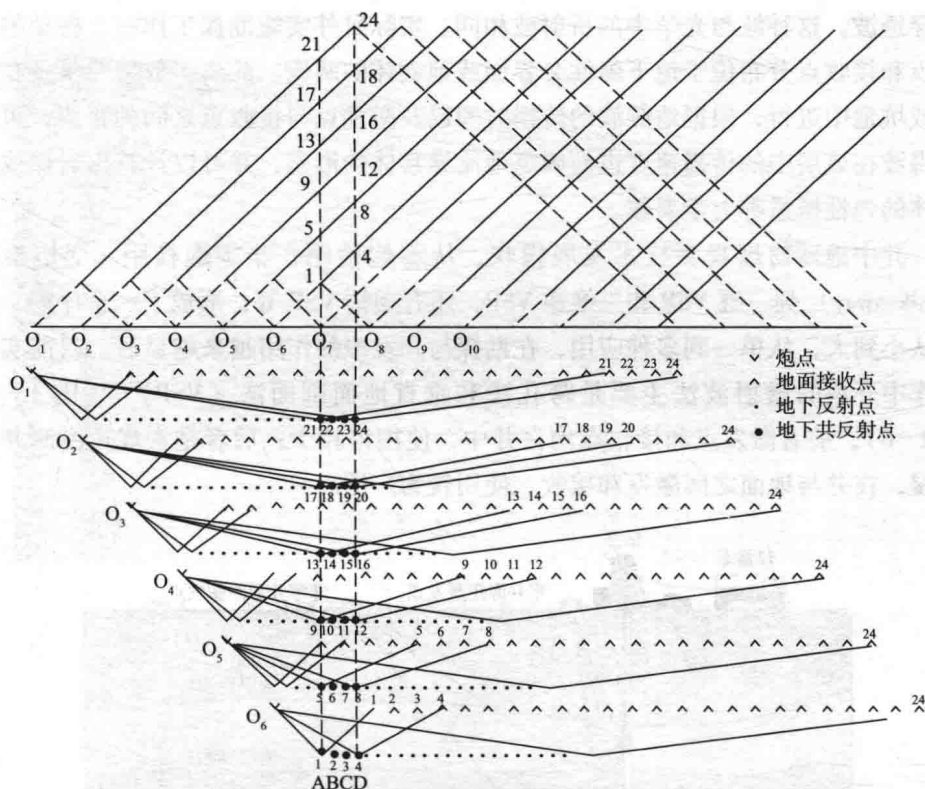


图 1-6 反射波法中的观测系统及多次覆盖示意图

岩层的纵波速度显著减小，含气层顶面与底面的反射系数绝对值往往很大，形成局部的振幅异常，这是出现“亮点”的物理基础。横波速度与岩层孔隙所含流体无关，流体性质变化时，横波振幅并不发生相应变化。但当岩石本身性质出现横向变化时，则纵波与横波反射振幅均出现相应变化。因而，联合应用纵波与横波，可对振幅变化的原因做出可靠判断，进而做出可靠的地质解释。

(5) 反射波的分辨率取决于与地震波波长、地层厚度的大小及埋深。地震波波速一般随深度增加而增大，高频成分随深度增加而迅速衰减，从而使频率变低，因此波长一般随深度增加而增大。波长限制了地震分辨能力，深层特征必须比浅层特征大许多，才能产生类似的地震显示。如各反射界面彼此十分靠近，则相邻界面的反射往往合成一个波组，反射信号不易分辨，需采用特殊数据处理方法来提高分辨率。

3) 透射波法

地震透射波法和反射波、折射波法不同，它是观测和研究通过某种岩层的直