



高等学校教材 地球物理系列

系列教材主编：刘光鼎

DIZHENBOCHANG

地震波场与地震勘探

YU DIZHEN KANTAN

姚姚 编著

地质出版社

高等学校教材
地球物理系列

地震波场与地震勘探

姚 姚 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书分六章介绍地震勘探基本原理、数据采集、数据处理、地质解释等内容。第一二章介绍地震勘探中的地震波理论,地震波的时距关系。第三章介绍反射地震资料的采集,即地震地质条件、有效及干扰波、地震波的激发、采集系统、野外观测系统、地震波的接收,及共反射点多次叠加法。第四章介绍反射地震资料的数字处理,即各种校正和叠加,数字滤波和反滤波,偏移成像,速度和波阻抗的提取,反射地震资料的实际处理。第五章介绍反射地震资料的地质解释,有各种速度概念及关系,反射地震资料的构造解释、地层岩相解释、储层岩性解释,烃类检测技术。第六章介绍折射波地震勘探,垂直地震剖面法,多波多分量勘探,面波勘探。本书资料丰富且选择得当,脉络清晰,重点突出,适合于大学本科学习和科技人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

地震波场与地震勘探/姚姚编著. —北京:地质出版社, 2006. 6

ISBN 7-116-04398-5

I. 地... II. 姚... III. ①地震波-研究②地震勘探-研究 IV. ①P315.3②P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 046992 号

责任编辑:陈军中
责任校对:王素荣
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话:(010) 82324508 (邮购部)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010) 82310759
印 刷:北京中新伟业印刷有限公司
开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆
印 张:18.375
字 数:410 千字
印 数:1—2200 册
版 次:2006 年 6 月北京第一版·第一次印刷
定 价:23.00 元

ISBN 7-116-04398-5/P·2566

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

中国地质大学（北京）
“地球物理系列教材编委会”

主任：刘光鼎

成员：程业勋 管志宁 李金铭

许云 曾华霖 尉中良

乌达巴拉 魏文博

序

地球是一个庞大而复杂的系统。人类在这颗星球上世代代生息繁衍，并在生产和科学实践中不断地研究和深化对地球的认识。随着人类文明的进步，有数学、物理、化学和地质学等基础学科的诞生；在物理学的领域中，又有取得系统规律性认识的力学、光学、热学、电学、磁学和原子物理学等分支学科。地球物理是应用物理学的理论、方法与技术来研究地球、认识地球，从而相应地又有重力、地磁、地电、地震、地热和放射性等分支学科产生。

地球物理探索地球的各种物理现象本身的规律性，如研究重力场、地磁场、地电场、地震波场等；并利用这些规律性取得对地球的认识，如具有全球分布的地壳、地幔和地核的分层性等等。另一方面，地球物理方法还可激发出多种不同尺度的人工场，如人工电场、电磁场、地震波场等，并利用其探索地球。这样，地球物理可以应用多种物理手段主动灵活地进行目的明确的地球研究，解决经济建设中出现的问题，如矿产资源的探查和开发、环境的监测和保护，以及各种自然灾害的监测与防治等。因此，从某种意义来讲，地球物理有地球物理场作为理论基础，同时又是研究认识地球的高科技。

中国的国民经济建设规模宏伟，对地球物理的需求十分迫切。近年来，中国的油气资源供需矛盾突出，已经引起了广泛注意。远景资源量中还有78%的石油和93%的天然气有待发现，显然亟待增加风险勘探，争取有更多的发现。但是，地质条件的复杂性使勘探具有高难度，致使许多业内人士无限感慨地说油气资源：“成也物探，败也物探”。其实问题何止于油气勘探？煤炭的勘查，恶性事故频发的大小煤矿，如老窖水、瓦斯气、采空区、陷落柱、小断层等一系列的与地质有关的问题，都有待于地球物理去解决；经济建设迫切需要的金属矿如金、铜、铅、锌及各种有色金属矿，实际都处于一种“等米下锅”的状态；如何应用地球物理方法攻深找盲，寻找大矿、富矿，则是当前找矿中的关键问题。为了解决中国北方缺水问题，一直在论证并推行东、中、西三条南水北调的路线，解决这些工程问题必然要用到地球物理；

与此同时，还应使用地球物理方法探查地下水资源，以合理利用江河、湖泊的地面水和地下水资源。此外，长江、黄河的高边坡、堤坝、水库大坝的管涌，以及铁路、公路、桥梁、码头、机场的基础与桩基都需要地球物理工作来提供数据资料以解决问题。总之，在资源、环境的各种领域中，有广泛、大量的地球物理课题，深化地球物理工作，探索其规律，这是时代的要求，必将极有益于我国的国民经济建设。

既然国家经济建设和社会发展对地球物理工作有着广泛的需求（姑且不论地球物理在军事与国家安全上的作用），那么，振兴、开展地球物理工作就具有重要的意义。

北京地质学院于1952年建校时，就有地球物理探矿系和地球物理教研室。在傅承义教授主持工作期间，他首先集中精力抓教材建设，领导并参与研讨教学大纲的编制，指定谭承泽编写磁力勘探，萧敬涌编写重力勘探，陈癸尊编写电法勘探，刘光鼎编写地震勘探，并亲自审阅、修改，为以后的发展奠定了基础。随后，在补充了大量前苏联的地球物理资料之后，形成了培育新中国第一批地球物理工程师的基本教材。中国地质大学（北京）在原北京地质学院的基础上发展起来，继承过去的优良传统，并在不断实践中积累了丰富的资料和宝贵经验，理应与与时俱进，在新的高度上编写出新的教材。特别是当前地球物理学科发展迅速，而又十分缺乏教学参考书的情况下，编写出高水平的新教材就显得尤其重要。

为此，我向吴淦国校长建议，由中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院负责编写一套“地球物理系列教材”。此事经学校有关领导同志商定，正式列入学校“地学专业基础课和专业课教材专项建设规划”。同时，这套教材的编写和出版还得到“地下信息探测技术与仪器”教育部重点实验室和“地球探测与信息技术”北京市重点学科的大力支持。

经过一段时间的酝酿，中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院于2002年12月26日成立了“地球物理系列教材编委会”。会议上宣布接受邀请参加编写教材的作者为（之后有所调整）：

- | | |
|---------------|-----|
| (1) 重力场与重力勘探 | 曾华霖 |
| (2) 地磁场与磁力勘探 | 管志宁 |
| (3) 地电场与电法勘探 | 李金铭 |
| (4) 地震波场与地震勘探 | 姚 姚 |

(5) 核辐射场与放射性勘查

程业勋、王南萍、侯胜利

(6) 地球物理测井

尉中良、邹长春

(7) 地球物理场与地球物理勘探

刘光鼎、张贵宾等

各位作者提交了教材大纲，进行交流；会议还深入讨论了地球物理教材的内容、结构与编写的指导思想；要求于2004年内提交全部教材的送审稿。

2003年12月18日再次召开地球物理系列教材编委会，编委们认真讨论了曾华霖教授提交的《重力场与重力勘探》送审稿，进一步贯彻编写指导思想。2004年2月24日第三次编委会上，经过讨论强调了教材的科学性与系统性；同时传达了吴淦国校长关于教材应当是精品的主张。此次会议还形成以下共识：地球物理系列教材是专著性的，可以作为地球物理相关专业大学本科生的教科书，研究生的参考书，亦可供地球物理工作者参考；教师可以从教材中选择适当的内容向学生讲授，而教材的篇幅不受学时的限制。此外，还讨论了教材的审查方法与出版事宜。2004年12月20日召开第四次编委会，确定了教材送审、评审和出版的日程安排。

现地球物理系列教材已基本按期完成，经过审阅、修改，近日即将提交地质出版社公开出版，很快就会与广大读者见面。我们真诚地希望读者们按照吴淦国校长提出的“特色+精品”的要求来审查这套地球物理系列教材，多多提出宝贵意见，以便进一步提高质量，使它在培养新一代地球物理学家的过程中能有所贡献，在全面建设小康社会中为振兴地球物理事业起到积极的推动作用。

在地球物理系列教材编写过程中，魏文博教授做了大量组织工作，特此致谢。

中国科学院院士

中国地球物理学会荣誉理事长

中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院院长



2004年12月29日

前 言

简介

地震勘探是一种最重要的地球物理勘探方法。每一种地球物理勘探方法都依据岩石的某一种物理性质，以某一种物理场为理论基础。地震勘探所依据的是岩石的弹性，其理论基础是地震波场理论。

一般情况下，地球介质可以看成是具有弹性或主要为弹性的介质。因而在地球内部传播的周期不特别长的波都可以看作为弹性波或以弹性成分为主的波，这些波统称为地震波。研究地震波的激发、接收和在各种不同类型介质中的传播、不同种类地震波的特性、地震波的数值模拟和反演等是地震波场理论研究的内容。显然，地震波的激发不仅仅限于由天然地震、火山爆发等自然原因产生，也可以由人工爆炸、冲击、可控震源或其他人工振动源产生。由此出现了地震学的两个分支：天然地震学和地震勘探。二者的研究对象可能有所不同、所使用的具体方法也可能有一定的差异，但其理论基础完全相同。本教材主要讨论地震勘探问题。作为地震勘探的理论基础，地震波场理论具有重要的意义。由于地震波场理论内容繁多，涉及面十分广泛，本教材不可能一一介绍，在第一、二章中讨论与地震勘探最为密切的那些内容。

地震勘探根据对人工激发产生的弹性波在地球中传播的研究来推断地下介质的结构和岩石的性质，从而达到勘探的目的。它采用人工的办法（用爆炸或其他人工振动源）激发弹性波，在地面上不同位置用检波器获得由弹性波引起的大地振动；通常以数字的形式把数据记录在磁带上，以便通过计算机处理来提高信噪比、提取有意义的信息；并以易于解释的形式显示其结果。由于地震波在介质中传播时，其路径、振动强度和波形将随所通过介质的弹性性质及几何形态的不同而变化，根据地震波场理论分析接收到的地震波信息就可以完成推断地下介质的结构和岩石性质的任务。例如，根据接收到的地震波的旅行时间和速度资料（我们通常称之为地震波的运动学特征），可以推断出地下构造的几何形态；而根据地震波的振幅、频率及地层速度等（我们通常称之为地震波的动力学特征），则有可能推断出岩石的性质。

根据地震波场理论，地震波即弹性波包括传播速度不同的二种波：纵波和横波。前者质点振动的方向与波传播的方向一致，后者质点振动的方向与波传播的方向垂直。因为纵波的激发和接收都更为容易，所以目前地震勘探绝大多数都是利用纵波进行，称之为纵波勘探。横波中包含有纵波中没有的信息，所以近年来也开展了横波勘探或纵、横波联合勘探（称之为多波勘探），有关的内容将在第六章第四节中简单介绍。

在实际地下介质中，不同介质的弹性性质不同会形成各种不同的弹性分界面。根据地震波场理论，地震波传播时遇到这些弹性分界面，将产生反射、折射、透射以及局限于界面附近沿界面传播的面波等。接收这些不同的波并加以研究利用，就形成了几种不同的地震勘探方法。

反射波法接收并研究由弹性分界面反射回地面的反射波。从某一方面而言，它与众所周知的雷达利用无线电定位测量目标体的方法有许多共同之处。由于电磁波在空气中的传播速度已知，利用无线电定位测量目标体的距离就比较简单。地震波在地下介质中的传播要比电磁波在空气中的传播复杂得多，因此利用地震波研究地下介质就要比利用无线电定位测量目标体复杂得多。首先，因为弹性波在地下介质中的传播速度受地下介质的成分和结构的影响在很大范围内变化，且往往是未知的，故利用反射波测量反射界面的深度就不那么简单。其次，我们还需要利用地震波中所携带的信息了解波传播路径中所遇到的岩石性质，这在无线电定位测量目标体的方法中是不曾存在的。为了更好地研究反射界面的深度、形态以及地下介质的岩性，一般要在地面若干点上同时记录地震波引起的大地振动，需要使用专门的地震勘探仪器来完成这一工作。根据地震波场理论，地震反射纵波的能量主要集中在接近震源的地方；而且在靠近震源之处，地震反射纵波的运动学特征变化规律也比较简单。因此，纵波勘探反射波法通常在距离震源较近的若干测点上布设接收地震反射纵波的检波器。分析各个检波器上接收到的反射纵波旅行时（即从爆炸瞬间到引起各个检波器振动所需要的时间，也被称为走时），结合地震波的传播速度，就可以计算产生反射地震纵波的反射界面的位置和产状。地震反射纵波的速度、波形、频率、吸收等动力学特征常常用来作为地层特征的解释或作为碳氢化合物或其他矿物存在与否的标志。反射波法的勘探深度可以从最浅的几米到几千米，甚至上万米；只要存在弹性分界面，就必然会出现反射波，因此其应用范围最为广泛。无论是解决工程问题，还是解决矿产资源勘探开发问题，以及深部大地构造、地球动力学问题都可以使用反射波法。本教材的主要篇幅第三、四、五章就是介绍纵波勘探反射波法的。

折射波法接收并研究在一类特殊弹性分界面（下伏岩层比上覆岩层的地震波速度大）上滑行运动的波所引起的振动。当地震波以临界角入射到这类界面时，在下伏岩层中会产生一种沿界面滑行的波，它也会引起上覆岩层质点发生振动，并返回地面。由于这种波在下伏岩层中以较大的下伏岩层速度运行，到一定距离后它会首先被接收到，因此称之为首波或折射波。要注意的是，这种折射不是光学中的折射。与光学中折射概念类似的波在地震勘探中称为透射波。由于首波的出现要在离震源一定的距离之处，故折射波法勘探要在离震源相对较远处（与界面的埋深相比）进行观测，一般都比反射波法的工作距离要长。结果是在折射波工作中地震波旅行路径以水平为主，而在反射波工作中以垂直为主。折射波到达不同观测点的时间包含着这类特殊分界面的深度和速度信息，因此可以利用它来研

究这类特殊分界面。由于折射波需要以临界角入射，仅当下伏岩层比上覆岩层的地震波速度大时才会产生，还由于折射波法得不到像反射波法那样多的资料和那样高精度的构造图，折射波法的应用比反射波法少得多且条件严格。但是，在许多情况下，折射波法资料却比反射波法更容易给出岩性解释。所以，折射波法是仅比反射波法次之的地震勘探方法。有关折射波法的内容将在第六章第一节中简单介绍。

利用与光学中折射概念类似的波进行地震勘探的方法称为透射波法。由于透射波法要求激发点和接收点分别位于地下弹性分界面或地质体的两侧，只有在特定的条件下才能使用，其应用范围更窄，大多只有在存在坑道或钻井时应用。根据透射波的传播时间和波形，可以精细地了解井间或井（坑道）附近地质体的形态、波的传播速度和岩性的细节，为工程建设或矿藏开发服务。目前实际工作中开展的透射波法主要是跨孔（井）法和垂直地震剖面（VSP）法。前者激发点和接收点均在井中，使用得更少；后者是常规地震速度测井的扩展，在井与地面之间激发、接收，使用得较为广泛，发展较为迅速，已经打破了单纯利用透射波的范围，出现了同时利用反射波的内容。有关垂直地震剖面的内容将在第六章第二节中简单介绍。

除了以上几种波之外，在任何弹性分界面附近都会存在能量局限于界面附近沿界面传播的面波。其中，只有在自由表面附近传播的瑞利面波和勒夫面波可以在地面观测到。利用面波进行的勘探称为面波勘探。目前的面波勘探以利用瑞利面波为主。由于在实际介质中瑞利面波存在频散现象，不同频率的瑞利面波穿透深度不同；根据这些性质在实际工作中利用瑞利面波的频散曲线和其他特性可以得到近地表的分层情况和岩石土动力参数，为工程建设服务。因为面波只在地表附近存在，面波勘探主要在工程勘察中使用，应用范围有限。有关面波勘探的内容将在第六章第四节中简单介绍。

迄今为止，地震方法无论从资金的支出，还是参与进来的地球物理学家的人数上看，都说明它是最重要的地球物理方法。多年来，西方世界在物探方面的投资中百分之九十几都用于地震勘探，参与进来的地球物理学家达到上万人，中国的情况也类似。地震方法在地球物理方法中占据主要地位取决于许多因素，最重要的原因是它与其他地球物理方法相比，具有精度高、分辨率高、探测深度大的优点。它在石油工业中的广泛应用证明了地震勘探工作的重要性。在我国，自大庆油田发现以来，95%的新油田都是利用地震勘探发现的；世界上的墨西哥湾油田、中东油田、里海油田和北海油田等许多大中型油田的发现都是如此。

由于地震工作在石油勘探开发中具有举足轻重的地位，几乎所有的石油公司都依赖地震解释来布设钻井。此外，地震勘探还可以确定其他沉积矿藏储积带（如煤、岩盐等）的位置；在寻找地下水资源、地热资源、工程勘测、研究地壳和上地幔深部结构方面；在测定承接大型建筑物、水坝、高速公路和海港等结构的基岩的深度方面，在确定建筑物底

下是否存在潜在的危險，是否在隧道或矿藏钻探中会遇到岩石中的充填水等方面，地震勘探也发挥了重要作用。

任何一种方法总有其局限性，地震方法也不例外。虽然它是最重要的地球物理方法，但在少数地区，即使采用了最现代的技术和方法，仍无法得到可靠的地震信息。同时，地震方法也是所有地球物理方法中最为昂贵的一种方法。因此，任何时候都必须有综合的思想。一方面是要综合使用各种不同的地球物理方法；另一方面还应综合利用地球物理、地质、地球化学等各方面的资料。在具体地质条件下，综合应用能极大地提高地质效果。

发展简史

与其他科学技术领域一样，基础理论研究一般都要走在应用之前。地震波场理论最早应追溯到1660年虎克（Hooke，英国）定理的发表。直到19世纪初之前，大多数弹性力学理论还没有产生。弹性理论的主要进展是由内维尔（Navier，法国）在1821年关于一般平衡方程和振动方程的研究给出的。后来，柯西（Cauchy，法国）建立了弹性理论的大部分理论基础，得出了完全弹性体内的波动方程。他在1818年发表的关于波传播的研究报告赢得了法国科学院的大奖。泊松（Poisson，法国）于1828年发表了关于P波和S波独立存在的理论，并且对于他所限定的模型得出纵横波速度比为 $\sqrt{3}$ 的结论。比较坚实的理论基础是格林（Green，英国）奠定的。他于1839年引进一个应变能函数，对于任意非各向同性体，这一函数具有21个独立系数；对于各向同性体，系数减少为两个。诺特（Knott，英国）在1899年出版了一本有关地震波传播及它们的折射、反射理论的作品。1907年托布里兹（Zoeppritz，英国）等出版了有关地震波的著作。瑞利（Rayleigh，英国）在1885年，勒夫（Love，英国）在1911年以及斯通利（Stoneley，英国）在1924年分别讨论了他们的面波理论，这些理论都是以其人名命名的。可以说，这些开创性的地震波场理论研究工作的，至今仍然具有重要的意义，其内容被写入各种教科书中。到了20世纪30年代和40年代，美国的古登堡、英国的杰夫里斯、前苏联的斯米尔诺夫、索波列夫等许多著名学者都对地震波理论做了多方面的研究。早在20世纪40年代中期，我国著名的地球物理学家傅承义教授就在美国发表了关于地震射线、地震波能量、地震波速度测量、地震面波、地震波的反射和折射等多篇专门研究地震波理论的论文。到了20世纪50年代，地震波场理论研究才有了迅速的发展，从研究单层介质到多层介质，从研究均匀弹性介质到非均匀、非完全弹性介质；理论愈趋深化，方法愈趋完善，愈来愈多地使用了电子计算机。目前，地震波场理论的研究正在向更深入的方向发展。各向异性介质中的地震波场是热门话题，用一些非常规方法如统计方法研究地震波场也是发展方向之一。

勘探地震学是一门发展较晚的学科，仅仅从1913年才开始发展起来。虽然1905年内特（Garret）就建议利用地震折射法来寻找盐丘，但当时还没有研制出适当的仪器，不可能进行实际工作。1913年，费森登（Fessenden）就研究探测冰山的方法。水中声波探

测方法是其中之一。这种方法的结果就是在 1914 年获得应用地震波探测的第一个专利，出版于 1917 年。当然，他的专利最后在 1931 年被明托普（Mintrop）证明是错误的，但这一工作可以看作为地震勘探的开始。1914 年德国的明托普（Mintrop）发明了一种机械式地震仪，可以在足够的精度下观测爆炸产生的地震波。在第一次世界大战期间德国及其对手都做了实验：利用多个机械式地震仪来定位敌军的大炮位置。这种情形下声波通常比地震波能取得更让人满意的结果。参与这些实验的研究人员在战后都成为发展商业地震波应用的著名人物。1919 年，明托普获得了折射初至波法的专利。1920 年至 1921 年期间，尽管没有商业意义，明托普仍利用折射波法研究了德国北部两个著名的盐丘以及后来发现的梅森多佛盐丘。1921 年，他建立了公司来做地球物理勘探，写了很多研究报告，促进了折射波法的发展。1922 年他在瑞典试验了地震方法用于矿业，在荷兰进行了找煤的试验。此后，由于折射波法在地质条件稍微复杂时容易造成解释中的错误，逐渐让位于反射波法。1927 年进行了第一次地震测井，也是这一年美国科罗拉多矿业学院首次开设了地球物理勘探课程。1933 年开始在反射波法中应用组合检波。1939 年，前苏联的甘布尔采夫把反射波法的技术应用于折射波法中，创造了折射波对比法，不仅记录初至，也在续至区内追踪波。这样扩大了折射波法的应用范围，使之又在很多领域发挥了作用。共深度点记录是哈瑞（Harry）在 1945 年作为减小噪声的一种方法发明的，磁带记录使得共深度点法成为可能。这一方法始于 1956 年，但直到 20 世纪 60 年代的晚期才被广泛应用。主要是因为它能够处理多次波和其他噪声而被认可，今天它的应用更为广泛，成为反射地震勘探的常规方法。与陆上地震的发展不同，大量的海上作业直到 1944 年才出现，标志着海上地震勘探开始发展。浮标拖缆首次被使用是在 1945 ~ 1950 年间，近年来出现的海底电缆使海上地震勘探出现了前所未有的好形势。

地震勘探中的记录道数一直在增加。1937 年时，反射波法的标准道数是 6 到 8 道。到 1940 年，大多数地震队采用 10 ~ 12 道的系统。第二次世界大战后的许多年，24 道成了标准的道数。在 20 世纪 60 年代后期，48 道被广泛采用。到了 1981 年以后，大多数地震队都采用 48 ~ 96 道工作。近年来，使用 120 ~ 240 道工作的地震队已经减少，大多数是上千道。最近，上万道，甚至十万道以上的记录系统已经出现。

最初的机械地震仪不久便被电感检波器所取代。早期的电感检波器主要有三种类型：电容型、可变磁阻型、电动线圈型；油阻尼介质经常被使用。随着较好磁性材料的使用，电感检波器灵敏度提高了，重量却减轻了；电磁阻尼取代了油阻尼。电磁类型的检波器成为陆上工作的主要类型。这种使用方式始于 1933 年，至 1937 年已被广泛使用。海上工作主要使用压电检波器。目前，数字检波器已经出现，并有取代上述检波器的趋势。

陆上震源除了炸药之外，还有重锤，而最巧妙的是可控震源（Vibroseis）。它是由克劳富得（Crawford）提出，最早在 1953 年由威廉（Willian）使用的。几种用来代替炸药

用于海上环境的空气枪、电火花等震源在 1965 年被提出。它们既经济又高效，而且适宜环境，又不会伤害海洋生物，因此能够迅速地取代炸药作为海上地震勘探的震源。

以记录仪器的发展为标志(方法技术也随之变革),地震勘探的发展可分为三个阶段。

第一阶段(1927 年至 1952 年)。以光电记录、资料人工处理为特点。地震仪器采用电子管元件,以照相的方法得到地震波形记录。其缺点是动态范围小(约二十多分贝)、频带窄、信噪比低,资料不能重复处理,结果不便保存;人工处理资料效率低、手段少。

第二阶段(1953 年至 1963 年)。以模拟磁带记录、多次覆盖观测、资料用模拟电子计算机处理为特点。地震仪器采用晶体管元件,用磁带记录,然后在室内用回放仪器以不同因素反复处理,以达到最佳效果。动态范围稍大(约四五十分贝)、频带稍宽、信噪比有较大提高,资料处理可实现半自动化,效率较高,结果较有利保存。回放处理结果可得到能直观反映地下地质构造的时间剖面。

第三阶段(1964 年至今)。以数字磁带记录、高覆盖次数观测、资料用数字电子计算机处理为特点。记录动态范围很大(一般达 84 ~ 100 dB 以上),可以适应地震波的动态范围;精度高,提高信噪比的手段多而灵活,提高了资料的质量,扩大了地震勘探解决地质问题的能力。资料处理自动化程度和效率高。记录设备易于实现轻便化和遥测、遥控。

现在,地震勘探技术仍在以数字化为主要标志继续迅速发展。仪器方面正向遥测、遥控、高采样率、超多道发展;野外工作方法技术则是发展非炸药震源、高覆盖次数观测、高分辨率勘探、多波多分量勘探和垂直地震剖面,以解决复杂隐蔽构造、深层构造、地层岩性圈闭以及直接找油、找气等地质问题;在数据处理方面,为了充分利用地震波的信息,特别是动力学信息,正在发展各种基于波动方程理论的处理方法和技术,不断引进其他基础学科和新兴技术的先进成果,并发展人机联作的处理、解释系统。

我国在 1949 年以前没有地震队伍。第一个地震队成立于 1951 年。短短 10 年时间,地震队伍数目就跃增至一百个,为大庆、胜利、辽河等大型油田的发现做出了重要贡献。多年来,我国地震技术紧跟国际最先进水平,不断地发展。在从简单构造向复杂构造、从浅中层向深层、从构造到地层岩性的发展过程中,锻炼了队伍、发展了技术;在解决我国许多地区复杂地震地质条件(例如黄土、沙漠、戈壁、沼泽、山地等)下的地震勘探问题方面,已经走在了世界前列。近年来,还打入了国际市场,在中东、北非等许多地区取得了非常好的成果。

目 录

序

前 言

第一章 地震波理论	(1)
第一节 地震地质模型	(1)
一、理想弹性介质和黏弹性介质模型	(1)
二、各向同性介质和各向异性介质模型	(2)
三、均匀介质、层状介质和连续介质模型	(2)
四、单相介质和双相介质模型	(3)
第二节 均匀介质中的地震波	(3)
一、均匀介质中的纵波与横波	(3)
二、地震波的传播和球面扩散	(5)
三、波动方程的积分解与惠更斯原理	(6)
第三节 地震波射线理论	(9)
一、时间场方程	(9)
二、射线方程与视速度定理	(10)
三、费马原理	(12)
第四节 弹性分界面上的地震波	(13)
一、平面波的反射和透射	(13)
二、球面波的反射、透射以及首波的形成	(20)
三、瑞利面波	(22)
第五节 其他介质中的地震波	(26)
一、黏弹介质中的地震波	(26)
二、横各向同性介质中的地震波	(30)
三、双相介质中的地震波	(33)
第六节 实际介质中的地震波	(35)
一、多层介质中的地震波	(35)
二、地震波的薄层效应	(38)
三、绕射波	(40)
四、一个反射地震记录道形成的物理机制	(43)
习 题	(47)
第二章 地震波的时距关系	(48)
第一节 一次反射波的时距关系	(48)
一、双层介质一次反射波的时距关系	(48)
二、水平多层介质一次反射波的时距关系	(54)
三、连续介质一次反射波的时距关系	(57)

第二节 地震折射波的时距关系	(60)
一、一个水平层时折射波的时距关系	(60)
二、多个水平层时折射波的时距关系	(62)
三、倾斜界面和弯曲界面折射波的时距关系	(62)
第三节 绕射波、转换波和多次波的时距关系	(65)
一、绕射波的时距关系	(65)
二、转换反射波的时距关系	(66)
三、多次反射波的时距关系	(68)
第四节 透射波及垂直接收各种波的时距关系	(69)
一、透射波的时距关系	(70)
二、其他垂直接收的各种波的时距关系	(71)
习 题	(74)
第三章 反射地震资料的野外采集	(75)
第一节 地震地质条件	(75)
一、表层地震地质条件	(75)
二、深层地震地质条件	(77)
第二节 有效波和干扰波	(78)
一、规则干扰波	(78)
二、不规则干扰波	(82)
第三节 地震波的激发	(84)
一、炸药震源	(84)
二、非炸药震源	(86)
第四节 地震数据采集系统	(90)
一、地震检波器	(91)
二、地震数据数字记录系统	(93)
第五节 地震勘探野外观测系统	(95)
一、观测系统图示	(96)
二、反射地震勘探观测系统	(98)
第六节 地震信息的接收	(103)
一、检波器的安置条件	(103)
二、接收点间距的选择	(103)
三、方向特性的利用	(104)
第七节 共反射点多次叠加法 (水平叠加法)	(112)
一、共反射点叠加原理	(113)
二、共反射点多次叠加的叠加效应	(114)
三、影响共反射点叠加效果的因素	(118)
四、多次覆盖观测系统的设计原则	(120)
习 题	(121)
第四章 反射地震资料的数字处理	(122)
第一节 校正和叠加处理	(122)
一、动校正处理	(122)

二、静校正处理	(126)
三、叠加处理	(132)
第二节 数字滤波处理	(133)
一、滤波器的基本概念	(133)
二、一维频率滤波	(137)
三、二维视速度滤波	(142)
第三节 反滤波处理	(145)
一、反滤波的基本概念	(146)
二、最小平方反滤波	(147)
三、预测反滤波	(152)
四、其他反滤波方法	(154)
五、反滤波中某些问题的讨论	(156)
第四节 偏移成像处理	(157)
一、叠后偏移的基本概念	(157)
二、绕射扫描叠加偏移	(160)
三、波动方程偏移	(161)
第五节 速度和波阻抗参数的提取	(168)
一、速度分析	(168)
二、层析速度反演	(176)
三、波阻抗参数的提取	(181)
第六节 反射地震资料的实际处理	(184)
一、常规处理流程	(184)
二、预处理	(185)
三、修饰性处理	(186)
习 题	(189)
第五章 反射地震资料的地质解释	(190)
第一节 地震勘探中的速度	(190)
一、各种速度的概念及相互关系	(190)
二、各种速度的获取和用途	(193)
三、影响速度的地质因素	(196)
第二节 反射地震资料的构造解释	(199)
一、地震剖面的对比	(199)
二、地震波场分析	(201)
三、层位、断层的解释	(209)
四、深度剖面、构造图、等厚图的绘制	(211)
第三节 反射地震资料的地层岩相解释	(214)
一、地震层序划分	(216)
二、地震相分析	(216)
三、地震相的地质解释	(221)
第四节 反射地震资料的储层岩性解释	(224)
一、速度参数转化为岩性参数	(224)
二、属性参数的利用	(227)

三、岩性体的预测	(229)
四、储集层厚度的确定	(229)
第五节 反射地震资料的烃类检测技术	(230)
一、烃类检测的物理基础	(230)
二、“亮点”技术	(232)
三、碳氢指示 (HCI) 技术	(235)
习 题	(238)
第六章 其他地震勘探方法简介	(239)
第一节 折射波法地震勘探	(239)
一、折射波法资料采集	(239)
二、折射波资料的处理、解释	(240)
第二节 垂直地震剖面 (VSP) 法	(245)
一、垂直地震剖面资料的采集	(245)
二、垂直地震剖面资料的处理、解释	(247)
第三节 多波多分量勘探	(253)
一、多波、多分量资料的野外采集	(253)
二、多波、多分量资料的处理、解释	(257)
第四节 面波勘探	(265)
一、面波资料的采集	(265)
二、面波资料的处理、解释	(267)
习 题	(270)
参考文献	(271)