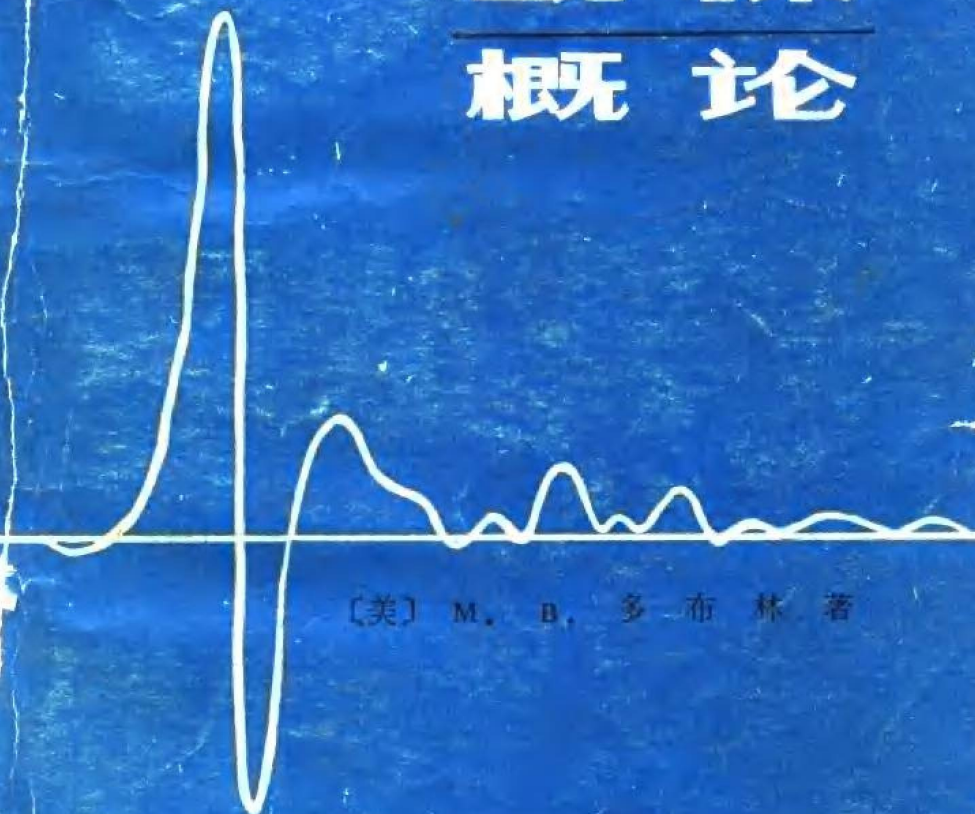


地球 物理 勘探 概论



〔美〕 M. B. 多布林 著

石油工业出版社

地球物理勘探概论

[美] M.B.多布林著

吴晖译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以地震勘探为重点系统地论述了地震、重力、磁力和电法的基本原理、仪器、方法及其在石油和矿物勘探中的应用。本书是根据原书第三版翻译的。第三版做了重大修改,增添了许多新内容,增添了地球物理资料处理,海洋地震资料的采集及海上地震勘探设备,反射法直接找油气,用地震反射波法研究地层等等。这些新内容基本概括了高速电子计算机在地震勘探中广泛应用以来的新方向。关于重力、磁力和电法勘探,书中也增加了新的内容。综观全书基本上以新技术为中心,反映了地球物理勘探的现代水平。

本书可做为从事石油地球物理勘探技术人员、大专院校物探专业师生的参考书或教学参考书,也可供从事矿物地球物理勘探技术人员及有关地质工作人员参考。

MILTON B. DOBRIN

Introduction to Geophysical Prospecting

Copyright © 1976, 1960 by McGraw-Hill,

Inc. All rights reserved. Copyright 1952 by

McGraw-Hill, Inc. All rights reserved.

Printed in the United States of America.

地球物理勘探概论

〔美〕M.B.多布林著

吴晖译

石油工业出版社出版

(北京安定门内大街东后街甲36号)

北京通县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 20³/₄印张 529千字 印1-5,000

1983年2月北京第1版 1983年2月北京第1次印刷

书号: 15037·2350 定价: 2.55元

科技新书目: 38—138

译者前言

本书是美国休斯敦大学教授M.B.多布林所著的一部综合性地球物理勘探著作。初版于1952年。1960年，在对初版作了重大修订、补充后出了第二版。这次是根据1976年的第三版翻译的。新版的内容远较以前版本充实和丰富，而且增添了新的章节，因此作者认为“甚至可以把它看作一本新书而不算一种修订本”。

本书广泛、扼要地论述了地球物理勘探的各种方法，重点论述了地震勘探方法。材料收集丰富、内容深入浅出，适合于从事地球物理勘探尤其是石油物探工作的各类技术人员阅读，本书在美国被列为大学地球物理专业的教科书，也作为在职技术人员的进修教材，多年来是国际地球物理界公认的颇有影响的重要著述。作者专门为中译本写了序言，表达了对中国人民和地球物理勘探同行的友好感情。不幸的是，在作者还未实现访华讲学的愿望之前，于1980年秋猝然逝世，令人深感痛惜。本书在中国出版，或许也可作为对作者的一种纪念。

本书的翻译出版，得到了许多同志的鼓励和帮助。特别是欧庆贤同志，审阅了很大一部分译稿；此外，徐忠信、万有林、陈乐寿、王非君、柳栋林、徐嘉善、钱祖皋、赵伯芳、周骥康、田正平、魏文圆、胡震中等同志，也分别参与审阅了译稿的部分章节，特此表示感谢。鉴于译者水平有限，书中错误之处在所难免，请读者不吝指正。

吳 暉

中译本序

本书对于中华人民共和国培训勘探石油、天然气和其它矿物的地质和地球物理工作者有所帮助并已被译成中文，使我深感荣幸。我应邀能为中译本写这篇序言，也感到非常愉快。

中国的勘探活动水平特别在水覆盖区域近年来显著增加；地球物理技术在中国的发展速度，给予曾有机会观察过这种进展的来自西方世界的地球物理学家们以极为深刻的印象。进展特别惊人的一个技术范围是数字处理。最近中国刊物上有关这类题目的文章所显示出的成熟程度，使西方地球物理学家们感到钦佩。中国在应用地球物理学方面最新出现的高质量的新期刊，令人信服地证明现在所进行的研究工作的蓬勃生机。

这种勘探活动高速增长的必然结果，是在地球物理工作的各个方面(包括数据采集、资料处理和解释)对全体人员进行训练的要求显著增加了。现在从事地球物理工作的许多技术人员，他们很可能具有在其它领域的学历。对于这样一些人，需要在地球物理方法的原理和原理的技术应用两个方面进行训练。

地球物理勘探概论的第三版，是专门为地球物理勘探原理和实践的课堂讲授与进修教育而准备的。本书对原来是在其它领域(如地质或工程)受到教育，目前却从事着地球物理工作，并且期望获得关于他们新活动领域专业知识的那些人的需要，给予了特别的注意。如果中国地球物理工作的迅速发展使得必需吸收在其学历中不包括正式的地球物理学训练的技术人员，那么对他们进行一次与现在担任勘探工作的人们类似的进修教育是必要的。

由于最近寻找能源活动的扩大，美国和其它西方国家的许

多大学必须加强它们的地球物理勘探的教学努力。这些大学中大多数都把本书作为这个学科的基础课教科书。也许这个译本在中国大学开设的相应课程中会有类似的用途。

自从本书这一版出版以来的四年中间，地球物理学又有了新的发展，它们当然不可能包括在这一版内。这些发展几乎在任何一种情况下都是渐进而不是突变的，并且是以已经建立的原理为基础的，这些原理的大部分在书中都作了论述。新的发展之中有波动方程和频率域偏移，三维记录，横波震源的应用，子波处理以及合成声波测井等。幸而所有这些课题的资料，在地球物理文献中都很容易找到。

本书被译成中文是西方国家和中华人民共和国之间在能源勘探——对于所有国家的福利都是极端重要的一种活动——不断增加的技术合作的又一个标志。我为能在这非常重要的合作领域内起到小小的作用而感到高兴，并且希望这个译本将有利于中国正在加强的勘探工作。

M. B. 多布林

原书第三版序

一九六〇年以来在地球物理技术各个方面的突飞猛进，使得有必要对本书进行一番重大修改，这种修改远远超出通常对一本书的不同版次的修订。这回新版与以前版本差别极大，因而甚至可以把它看作一本新书而不算一种修订本。

有三章完全是新添的（海洋地震资料的采集，地震反射资料的处理，以及地震反射法直接探测碳氢化合物）。必须增写这些章节本身，就反映了过去十多年间在地震资料的数字记录和处理以及海洋地震勘探技术等方面的飞跃发展。

二十世纪六十年代新一代高速数字计算机的发展，对应用地球物理学的各个环节——从野外资料的记录到其最后的解释——都产生了巨大的影响。数字计算机不但使获得高质量的地震资料变成可能，而且能从其中提取几种新的地质信息——直到不久以前还认为这些信息根本不可能用地球物理方法获得。要适当叙述这些发展，就必须介绍地球物理学诸方面的材料，它们在一九六〇年本书第二版发行时甚至尚未问世。

目前这版的一大改革，是采用了初等微积分来阐述各种地球物理方法的基本原理。过去几版没有这么做，主要是考虑到许多阅读本书的地质学家也许未曾学过那类课程。而现在几乎所有为取得地质学士学位所必须进修的地质课程，至少要求具有学过一年微积分学的基础，因此，以前版本订立的不采用微积分的约束已无必要。对于不熟悉微积分学的读者们，如果在阅读过程中跳过涉及微积分的那些方程式，只要他们认为这些方程式是正确的，并且根据书中一系列有关的讨论来确定它们的含义，似乎也未必会遇到任何真正的麻烦。

应用地球物理学在近数十年间日益专业化，因此大部分读

者往往不会对它的一切方面都发生同样的兴趣。甚至在这个学科的基本课程方面，由于指导者的经历和兴趣的差异，侧重点也会有所不同。在勘探部门工作的人中，一些人主要对石油勘探中应用的地球物理技术感兴趣，而另外一些人则关心那些在寻找金属矿时最为广泛应用的地球物理方法。在石油或矿产工业中从事地球物理工作的人恐怕各自都有不同的瞩目范围，例如野外操作、仪器、资料处理或地质解释等。作者希望本书能满足所有这些读者的要求。

担任一学期应用地球物理课程的讲师们，如果不想浏览全书而愿趁此机会对这个学科的若干专门方面进行更深入的研究，那么，本书也准备了一些尽可能相对完整的独立章节，以便满足他们的需要。

和以前版本一样，这一版也考虑到了地质学家的要求，并强调了地球物理学在地质上的应用。除非地质学家对各种地球物理方法的许多物理原理尤其是野外资料的记录及其处理有充分的了解，否则就不可能卓有成效地使用各种地球物理工具。地质因素应当指导地球物理勘探从野外记录参数选择、处理程序一直到用地质符号绘制最后成果等各个方面。

本书也适合于地球物理系的学生，给他们提供地球物理学各个方面，特别是在他们专业范围之外的知识。对于既愿复习基本原理，同时还要掌握最新发展的专业地球物理工作者，本书也能提供帮助。近年来受到充分注意的地球物理进修教育趋向，表明了适应技术的不断革新的普遍需要。

希望本书能用于多种目的，而不是单纯提供技术资料。地球物理勘探是当代具有特殊意义的一个活跃领域，它担负着维持世界工业经济以及世界许多地区生活水平的重任——两者均高度依赖于从地下不停地开发所需的能源与矿物资源。鉴于寻找地下资源的困难与日俱增，无疑也就越来越需要一批才能出众的人选择应用地球物理作为职业并为之献身。如果本书能够引导具有种种必要条件的学生们在这样一种领域内考虑其职

业，这个领域既有助于满足社会对物质的需求，又能克服在清理自然界存在的零乱线索从而确定地下宝藏的位置时所面临的种种困难(随着时间的推延日益严重)，那么，作者将深感快慰。

在写作本版时许多人曾以多种途径给予帮助。作者对得克萨斯A.M大学的特里·斯潘塞，西方地球物理公司的卡尔·萨维特，佩德雷公司的哈理·梅恩，埃克森公司的勒鲁·布劳，塞斯科-德尔塔公司的罗伯特·谢里夫，明尼苏达大学的哈罗德·穆尼，以及休斯敦大学的弗雷德·希尔特曼谨表谢意，感谢他们为写作本书提供了颇有价值的资料或材料。

好几位地球物理学家审阅了与他们专业范围有关的那部分手稿，并提出了他们的有益的意见。他们是：萨维特先生，梅恩先生，谢里夫博士，埃代康公司的托马斯·拉弗尔，以及科罗拉多矿业学院的拉尔夫·霍尔曼与乔治·凯利。科罗拉多矿业学院地球物理系顾问拉尔夫·罗斯，退休主任约翰·霍利斯特阅读了全部原稿。所有审阅者都对修改本书提出了许多宝贵建议，作者深切感谢他们的帮助。

本人还要特别感激休斯敦大学学生伯纳德·贝什和约翰·霍夫，他们在收集本书的材料过程中提供了极其宝贵的帮助；同时也要感谢多里斯·西格霍斯特太太，她以惊人的毅力将全书的浩瀚篇幅打出清稿。

M.B. 多布林

目 录

第一章 地球物理学在石油和矿物勘探中的地位	(1)
1-1 地球物理学与地质学	(1)
1-2 地球物理学的技术问题	(2)
1-3 地球物理勘探方法概述	(3)
1-4 石油地球物理勘探	(8)
1-5 地球物理在矿物勘探中的应用	(20)
1-6 本书所用单位的缩写	(23)
第二章 地震波的传播	(27)
2-1 固体的弹性特征	(27)
2-2 压缩波(纵波)与切变波(横波)的传播特征	(34)
2-3 地震波的类型	(38)
2-4 弹性波的衰减、反射、折射及绕射	(42)
2-5 地震勘探中波的激发	(48)
2-6 地震波在地层介质内的吸收	(50)
2-7 地震波在岩石中的传播速度	(53)
2-8 地震波特性测定中的一些原则	(59)
第三章 地震记录仪器	(62)
3-1 检波器	(62)
3-2 模拟记录	(68)
3-3 数字记录仪	(72)
3-4 其它野外仪器	(81)
第四章 陆地地震反射资料的记录	(83)
4-1 常规野外工作方法	(83)
4-2 野外记录时必须压制的地震噪音的特性	(88)
4-3 陆地反射勘探的震源	(95)
4-4 组合爆炸和组合检波	(105)
4-5 共深度点技术	(113)
第五章 海洋地震资料的采集	(119)

5-1 水下地震能量的激发	(119)
5-2 海洋震源	(124)
5-3 海洋地震勘探电缆	(137)
5-4 海洋反射勘探	(141)
5-5 海洋折射勘探	(142)
5-6 海洋地震工作中的噪音问题	(145)
5-7 海洋勘探的定位技术	(146)
第六章 地震反射资料的处理	(157)
6-1 模拟系统的资料处理	(158)
6-2 地震资料处理用的数字计算机的运算特点	(162)
6-3 数字滤波原理	(164)
6-4 地震资料数字处理的实际应用	(195)
6-5 地震资料在记录剖面上的显示	(211)
第七章 根据反射时间绘制地质构造图	(214)
7-1 反射波路径的几何结构	(214)
7-2 反射波记录解释中使用的校正方法	(223)
7-3 地震波速度的测定	(237)
7-4 地震反射资料的显示	(249)
第八章 地震反射资料的地质解释	(268)
8-1 解释的含义	(268)
8-2 反射波的对比	(269)
8-3 地震反射波测量的分辨率与精度	(271)
8-4 在石油勘探中用反射波资料确定地质构造	(276)
8-5 用反射波法研究地层	(289)
第九章 地震折射波勘探	(306)
9-1 折射波与反射波的关系	(306)
9-2 水平层的波行路径与时间—距离关系	(308)
9-3 速度不连续的倾斜层	(317)
9-4 通过断层的折射剖面	(320)
9-5 速度随深度连续变化的介质内的折射波	(320)
9-6 延迟时间	(328)
9-7 折射波法的野外工作	(330)
9-8 折射记录及初至、续至同相轴	(331)

9-9 常用折射排列资料的解释	(334)
9-10 折射波解释中所进行的校正	(350)
9-11 用折射波法详查盐丘	(353)
9-12 折射波资料的显示	(353)
第十章 地震反射法直接探测碳氢化合物	(356)
10-1 作为多孔砂岩内碳氢化合物标志的反射波振幅	(357)
10-2 除反射系数外决定反射波振幅的其它因素	(359)
10-3 相对振幅的记录及亮点	(361)
10-4 天然气储集的标志——亮点	(363)
10-5 地震记录上碳氢化合物的其它标志	(365)
10-6 测定碳氢化合物特性与估算储量的地震模型	(368)
10-7 直接探测技术的发展前景	(372)
第十一章 重力勘探的原理和仪器	(374)
11-1 重力法在石油和矿物勘探中的地位	(374)
11-2 重力、加速度和位	(376)
11-3 牛顿定律对大体积物体的应用	(378)
11-4 地球的重力场及其与重力勘探的关系	(380)
11-5 不同形状的地下物体产生的重力效应	(391)
11-6 陆地重力测量的仪器	(405)
11-7 海洋重力测量的仪器	(412)
11-8 井孔重力仪	(419)
11-9 附录	(420)
第十二章 重力测量的野外工作和校正	(424)
12-1 陆地重力测量	(424)
12-2 海洋重力测量	(430)
12-3 密度测定	(433)
12-4 重力资料的校正	(437)
12-5 各种地质体的典型重力异常	(447)
第十三章 重力资料的解释	(458)
13-1 异常的划分	(459)
13-2 重力解释中需要的密度的测定	(479)
13-3 根据重力资料确定地下构造	(484)
第十四章 磁力勘探的基本原理和仪器	(501)

14-1 基本概念和定义	(502)
14-2 地球的磁性	(508)
14-3 岩石的磁化率	(515)
14-4 埋藏磁性体产生的磁力效应	(519)
14-5 磁力测量的仪器	(529)
第十五章 磁力勘探技术	(545)
15-1 陆地磁测	(545)
15-2 航空磁测	(549)
15-3 海洋磁测	(558)
第十六章 磁法资料的解释	(560)
16-1 磁力资料的定性解释	(560)
16-2 垂直磁场资料的定量解释	(570)
16-3 总磁场资料的解释	(573)
16-4 磁法资料解释中的一般问题	(581)
16-5 典型磁测资料的解释	(583)
第十七章 电法勘探	(596)
17-1 岩石的电性	(596)
17-2 自然电位法	(599)
17-3 直流(和低频电流)电阻率法	(602)
17-4 大地电流法、大地电磁法和音频磁法(AFMAG)	(621)
17-5 感应类型的电磁勘探方法	(629)
17-6 激发极化法	(641)
17-7 电法在石油勘探中的应用	(646)

第一章 地球物理学在石油和 矿物勘探中的地位

以不断增长的速率从地下开发化石燃料和有用矿物，已经导致了资源短缺的危机，它象幽灵一样威慑着发达社会的经济与生活方式。本世纪七十年代中期发生的一系列事件，充分表明了它的影响所及。地下实际存在的石油、天然气和金属矿物的数量，包括已知和尚未发现的，无疑是有限的；在现有储备日感不足的状况下，燃眉之急的课题是如何在地下找出新的补给，来代替那些被消耗的部分。鉴于容易找到的资源在以往任何时候都已经被发现和开采，因而随着时间的推延，寻找能源和矿物原料的任务变得日益困难了。

面对着这种挑战，地学科学家们发展了越来越精巧完备的勘探技术。在本世纪初叶，寻找石油和固体矿物，被局限在以油苗、露头或其它暴露物形式出现在地表、能够直接观察的那些矿床。当一个地区用如此简单的方法就能找到的矿藏统统被发现后，就会要求根据地面观测到的地质资料间接地去推测被覆盖的矿床的存在。而在这样获得的成果也逐渐减少时，于是又不得不求助于研究地下地层的新方法了。它们无需任何地质观察，而是在地球表面进行物理测量，通过这种测量提供对找到所需矿床或许有用的埋藏着的岩石结构或组分的资料。

1-1 地球物理学与地质学

我们把在地面进行物理测量研究地球的学科，称作地球物理学。地质学与地球物理学之间尽管难以划定一条含意确切的界线，但仍可认为其差别主要在于人们获取资料的方式。地质

学根据地面露头或者钻井直接观察岩石来研究地层，并且通过对这种观察的分析，推断其构造、成分与历史。而地球物理学，则是用合适的仪器通常在地面通过测定岩石的物性来研究隐蔽在地下的那部分地层。它也包括对观测作出解释以得到关于隐伏带的构造和成分的有用资料。这两个地球科学分支的差别并不那么泾渭分明。例如，拿测井来说，虽然它们提供的纯粹是仪器观测的结果，但却在地质研究中被广泛应用。井下地球物理一词通常指的就是这类测量。

广义地说，地球物理学提供了研究地球内部的构造与成分的工具。大部分被钻孔或矿井透穿的有限深度下面我们所知的情况，均来自地球物理观测。研究地壳、地幔、地核的存在与性质，主要依靠对天然地震产生的地震波的观测，以及地球的重、磁与地热特性的测量结果。为进行这类研究而发展起来的许多装备和技术，同样可以在碳氢化合物和金属矿的勘探中应用。同时，为勘探用途而设计的一些地球物理方法，也用于对地球内部性质的学术性的研究当中。因此，虽然本书将着重于地球物理学的经济用途，但仍然需要强调：“理论”与“应用”地球物理领域之间是如此相互依存，以致于将它们截然分开充其量也是人为的。

1-2 地球物理学的技术问题

地球物理勘探是一个较新的技术领域。虽然早在1600年就已经用磁罗盘找到了铁矿，然而在矿藏勘探中采用专门仪器，却是近百年的事。地球物理勘探用于寻找石油和天然气，还只有50年历史—首次用地球物理方法发现石油，是1924年。纵观历史，我们可以看到，勘探地球物理学的仪器和方法在实践和经济效果两方面都是不断进展的。每当原有的技术不再能够找出足够的新矿藏时，则要求发展新的找矿能力的强大压力，便推动着这一技术进展。除掉新开辟的勘探地区以外，在过去由于仪器、野外技术或解释方法不够良好而遭到失败的地区，又将

重新进行大量的地球物理勘测。换句话说，用现有的技术找到的仅仅是在特定时间内可以找到的那些矿藏，而对于那些剩余部分，除非技术进展到足以发现它们的水平，否则就将无能为力。

因此，勘探地球物理学家将发现自己处于这样一种境地，仿佛一个人骑着加速脚踏车，他踏得快而又快，却始终未离开原地。当然，勘探程序中的其它专家——如地质学家和钻探工程师——今天也面临着同类问题。

地球物理勘探技术的进展有几种情况。某些时候，同必须进行勘探的环境有关的一些问题，促进了新技术的发展。例如，在近海地区、沙漠、北极冻土带或熔岩覆盖区，就需要特殊的后勤支援。此外，这些地区存在的独特类型的噪音，常与期望的地球物理信息发生干扰，这时便要求发展专门技术压制它们。五十年代和六十年代由于计算机技术的兴起，增加了记录和处理各种地球物理资料的新能力，于是就有了提取被无用的噪音掩盖着的有用信息的可能。

第二次世界大战后技术革命带来的科学发展，曾经对地球物理勘探的效能发生极大影响。例如，电子计算机、信息处理技术和导航卫星等这些与宇宙时代发展有关的新技术，全部都被寻找石油和其它自然资源的地球物理家们所广泛采用。

1-3 地球物理勘探方法概述

在勘探工作中广泛应用的地球物理方法是地震、重力、磁法和电法。此外，还有不常用的包括在地表或在地表附近以及在空中进行的放射性测量和温度测量。

这些方法的其中一部分几乎完全用来寻找石油和天然气，而其它一些则主要用于勘探固体矿物。有相当大的一部分同时为上述两种目的服务。地震勘探和重力勘探是石油勘探的主要工具。电法基本上用在金属矿勘探，虽然在苏联和过去的法国领地也曾经作为石油勘探的常规方法。磁法在两类勘探中都能

应用。

地震反射波法 这是地理物理技术中最为广泛应用的一种方法。在地表附近用炸药、机械撞击或连续振动震源激发而产生一种地震波(或脉冲)，它在具有不同物性的地层分界面上反射后返回地面，然后根据测到的旅行时间绘制地下地层的构造。反射波由能够响应地面振动的探测仪器记录下来。这种探测器(检波器)沿着地面布置，同爆炸点保持一定距离，这个距离和反射层的深度相比一般是很小的。反射波在地面从一处到另一处的时间变化，通常是地下岩层构造特征的标志。根据反射时间以及速度资料——可以从反射信号本身或在钻孔内测量获得——就能求出反射界面的深度。一次爆炸通常能够观察到深达20000英尺的反射波，于是就可测定大部分地区沉积剖面内的地质构造。最近几年，反射资料已经用于识辨岩性，一般是利用速度和吸收特性；并且能够直接根据反射波振幅与其它地震标志预测碳氢化合物——主要是天然气。

反射波法比任何其它勘探技术都更适于提供地下地层的构造图，这种图和根据大量井距很近的钻井资料绘制的构造图相类似。现代的反射波记录剖面看起来与地质剖面极为相似，然而地质学家使用时却必须多加小心。因为假若不考虑到某些潜在的危险，往往就有可能导致错误的解释，即使质量很好的反射资料也难免如此。在理想的条件下，构造起伏的测定精度是10~20英尺。

根据该方法可以绘制产生反射波的任何地质界面的构造图，不过如果没有独立的地质资料(如从钻井得到的)，也难以判别地质界面的性质。从反射波资料中可以求取平均速度，但从地质观点来看，取得厚度不小于数百英尺的剖面的层速度却更为重要。这些资料至少能提供岩性的统计指标，其效果取决于成层情况以及要解决的问题的性质。

用反射波法可以确定和查明诸如背斜、断层、盐丘、礁等地质结构，其中许多与石油和天然气的储集有关。从反射剖面