

地震地质

综合解释教程

孙家振 李兰斌 编著

中国地质大学出版社

3.130.8

地震地质综合解释教程

孙家振 李兰斌 编著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

《地震地质综合解释教程》是石油地质专业的重点专业课程之一,也是当前油气勘探领域最重要的一门学科。笔者结合多年来的教学与科研实践,在广泛吸收国外最新地震地质解释理论和实践经验的基础上,在内容体系和结构上做了较大的改变,突出了地震地质两方面的成因分析和综合解释的思想方法,并力求反映当前国内外油气地震地质综合解释的现状和进展。

全书共8章,在介绍与解释密切有关的地震基本概念的基础上,重点论述地震资料在构造地质、沉积与层序、油气判别与油田开发中的解释思路,典型实例分析。书中自始至终强调如何提高解释技巧,合理判别和分析各种地震信息,以达到精确重现地下地质情况的目的。

本书可作为高等院校石油地质和相关专业的本科生和研究生的教材,也可供从事油气勘探开发的科研、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地震地质综合解释教程/孙家振,李兰斌编著. —武汉:中国地质大学出版社,2002.7
ISBN 7-5625-1670-7

- I. 地…
- II. ①孙…②李…
- III. 地震地质-解释-高等院校教材
- IV. P618

地震地质综合解释教程

孙家振 李兰斌 编著

责任编辑:张晓红

责任校对:张咏梅

技术编辑:阮一飞

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101

传真:87481537

E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:310千字 印张:12.25

版次:2002年7月第1版

印次:2002年7月第1次印刷

印刷:湖北荆州鸿盛印刷厂

印数:1—2 000册

ISBN 7-5625-1670-7/P·566

定价:19.80元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

地震勘探自 20 世纪 20 年代问世以来,已发展成为油气勘探的重要技术手段。地震勘探包括三个阶段,即地震资料采集、资料处理和解释。从某种意义上讲,地震解释是地震勘探的中心环节,地震资料解释的正确与否不仅直接关系到油气藏的发现,而且关系到盆地评价与油气勘探方向选择等重大战略决策问题。因此,如何提高地震勘探技术,解决地质问题的能力一直是十分重要的发展方向。

近十几年来,地震资料解释技术得到了很大的发展。以计算机及相关技术为支撑的人机联作地震解释工作站的普遍使用,不仅减轻了解释人员的劳动强度,提高了工作效率,而且由于三维解释和可视化技术的应用,大大提高了解释精度,使地震解释工作上升到一个新的更高水平。然而,地震解释的核心并没有改变,仍然需要解释人员的智慧及创造性的劳动。

那么,什么是地震解释?不同勘探地质家对其含义做出了不同的解释。多布林(1976)把地震解释理解为“根据地质上的标准所进行的某些判断”;Lafehr 等(1987)认为地震解释就是把地震资料转变成抽象的地质术语,并强调这种转换的质量取决于每个解释人员的能力、诚实和想象力。金福锦(1987)在对地震解释的定义中强调成因分析,认为地震解释实际上是一种将地震信号或信息转译成相应的地质信息,并用各种适当的符号或图件来反映研究区内各种地下地质现象,并判别其可能的成因。简而言之,地震解释是将地震信息转换成地质信息。其主要核心就是依据地震剖面的反射特征和地震信息,应用地震勘探原理和地质基础理论,赋予其明确的地质意义和概念模型。毫无疑问,解释工作的质量首先取决于所能获得的地震信息的数量和质量,以及相应的硬件条件。然而,单就信息转换而言,解释成果的正确与否,则取决于能够建立这种转换关系的解释工作者的学识、解释技巧与解释经验。

从世界油气勘探发展历程来看,地震解释随地震技术发展,大致可以分为三个阶段,即地震构造解释阶段、地震沉积解释阶段(包括地震地层、层序地层和地震岩性解释)及地震地质综合解释阶段。20 世纪 70 年代中期以前,主要是地震构造解释阶段,即在构造地质学和地震成像基本原理的基础上,确定地下主要反射界面的埋藏深度,落实和描述地下岩层的构造形态特征,为钻探提供有利的构造圈闭是其主要目的。20 世纪 70 年代中期,随着数字地震技术的大量使用,地震剖面质量显著提高,开始了地震沉积学方面的解释。主要以地震地层学和层序地层学理论(思想方法)为基础,识别地震反射层所代表的地层学和岩石学意义;确定反射层或波组所代表的地层年代;确定地震相类型借以分析沉积体系与砂体横向展布,以落实隐蔽油气藏、描述地下储层空间几何形态为主要目的。毫无疑问,地震地层学和层序地层学的出现,扩大了地震资料解释内容,极大地推动了利用地震资料来解决地质问题获取地质信息的思想方法和技术手段的进步。

进入 20 世纪 80 年代后期,油气勘探的任务更为艰巨,油气勘探的难度越来越大,油气勘探活动向深度和广度进军。在新的勘探地区遇到十分复杂的地表条件和地下地质条件,且油气藏类型十分复杂;在老油区则面临着如何寻找隐蔽油气藏,提高油气资源潜力等问题。应该认识到,任何一种地球物理勘探和解释方法在解决地质问题时都存在多解性和片面性。与之相对应,人们对地球物理信息的综合分析解释予以了更大的关注,并提出了地震地质综合解释。即以地震资料为基础,综合一切可能获得的资料(包括地质、钻井、测井以及地球化学和其他地

球物理等资料),合理判别和分析各种地震信息的地质意义,以达到精确重现地下地质情况。

很显然,地震地质综合解释对地震解释人员提出了更高的要求。Lafehr等在《地球物理综合解释》一文中指出:“一个成熟的解释人员,不仅要在熟悉野外资料采集、处理方面是个奇才,而且要通盘了解地质过程,以及了解地质现象如何影响地震资料。”要做到这一点,必须提高地震解释人员的综合素质。即要求地震解释和综合勘探人员不仅要熟悉地震资料采集、处理过程,深刻理解地震勘探技术的基本原理和各种地质现象(包括沉积的和构造的)对地震资料的影响,同时要把研究区作为整体来考虑,在了解地质作用过程的前提下,对各种地质现象进行综合的整体的成因分析。包括盆地演化历史、构造变形史、沉积充填史和综合油气评价。也就是说,在进行地震解释时,不仅要知道所面对的地震剖面 and 资料所显示的现象是什么,更要弄清其为什么。即从地震和地质两个不同的角度弄清其成因机理。只有如此,地震解释人员才能把地球物理信息与地质信息有机地结合起来,才能从地震资料中获得尽可能多的有效的地质信息,才能使我们的认识和判断更符合地下的实际情况,从而达到最大的勘探和开发效益。

迄今为止,尽管地震地质综合解释提倡了十多年,且一直受到生产和研究部门的重视,但具有地震地质综合解释素质的人才仍然十分缺乏,大多数有经验的解释和勘探人员往往是在实际中逐渐摸索成熟的。这种现状已不能适应油气勘探形势发展的需要和地震地质综合解释发展的需要。分析其原因主要是由于在生产和科研活动中,存在组织结构和人员知识结构的某种脱节,即大多数解释工作组的组成人员以物探人员为主,较为单一;另一方面解释过程中的思维模式和解释对象单一,如构造和沉积解释往往是单方面进行的。

多年的科研实践使笔者体会到,要实现地震地质综合解释,最好的综合是从事地震解释或勘探的主要研究人员头脑中的综合;也就是说,主要解释人员既要深刻理解地震勘探原理,又要具有扎实的地质基础理论知识,只有如此,才能把综合解释的核心思想自始至终地融会在解释的整体过程中。

多年的教学实践使笔者感到,工作中迫切需要一本地震地质综合解释方面的系统教材。为了能对推动地震地质综合解释的发展起到一定作用,满足教学及科研工作的需要,笔者特编写此教材。其基本出发点是将地震和地质基本原理融于地震解释的完整过程中。因此,教材的编写对以往侧重于物探方法和数学推导,而偏轻解释成因分析的课程体系在结构上做了较大的改变,突出了地震和地质两方面的成因分析。我们希望本教材的出版能够对地震地质解释人员有所启发和帮助,这也算是对推动地震地质综合解释的发展尽微薄之力吧。

由于笔者水平有限,文中难免有不当之处,敬请各位同仁批评指正。

笔 者

2002年1月于武汉

目 录

| | |
|---------------------|------|
| 第一章 地震资料解释基础 | (1) |
| 第一节 地震波的基本特征 | (1) |
| 一、波的类型 | (1) |
| 二、地震波的特征 | (2) |
| 第二节 地震剖面特点与地震资料处理流程 | (3) |
| 一、地震剖面的一般概念 | (3) |
| 二、地震资料处理流程简介 | (5) |
| 第三节 偏移现象和偏移归位 | (8) |
| 一、时间剖面的偏移现象 | (8) |
| 二、偏移叠加原理 | (9) |
| 三、偏移叠加、叠加偏移和叠前偏移 | (12) |
| 四、二维偏移和三维偏移 | (12) |
| 第四节 地震勘探的分辨能力 | (13) |
| 一、子波的概念 | (14) |
| 二、地震子波与分辨能力的关系 | (14) |
| 三、垂直分辨率 | (15) |
| 四、水平分辨率 | (17) |
| 第五节 影响地震波传播的地质因素 | (19) |
| 一、表层地震地质条件 | (19) |
| 二、地下地震地质条件 | (19) |
| 第二章 地震解释的基本方法 | (21) |
| 第一节 地震反射层位的地质解释 | (21) |
| 一、地震剖面与地质剖面的对应关系 | (21) |
| 二、地震反射标准层具备的条件 | (22) |
| 三、确定反射标准层的方法 | (23) |
| 四、确定反射标准层的代号和对比标记 | (25) |
| 第二节 时间剖面的对比 | (26) |
| 一、反射波对比的基本原则 | (26) |
| 二、实际对比方法 | (27) |
| 第三节 与复杂地质现象有关的异常波 | (31) |
| 一、绕射波 | (31) |
| 二、断面波 | (33) |
| 三、多次波 | (34) |
| 四、伴随波 | (36) |
| 第四节 弯曲界面反射波 | (36) |

| | |
|-------------------------|------|
| 一、凸界面反射波的特点 | (36) |
| 二、凹界面反射波的特点 | (37) |
| 第五节 地震解释中可能出现的各种假象 | (39) |
| 一、表层变化引起的假象 | (39) |
| 二、速度变化引起的假象 | (39) |
| 第三章 地震资料的构造解释 | (42) |
| 第一节 地震构造解释概论 | (42) |
| 一、构造解释流程 | (42) |
| 二、资料准备 | (43) |
| 三、构造解释内容简介 | (44) |
| 第二节 断层解释 | (45) |
| 一、断层在地震剖面上的一般标志 | (45) |
| 二、断层模型的剖面特征 | (47) |
| 三、几种典型断层和断裂系的解释 | (51) |
| 第三节 断层基本要素的确定与组合 | (57) |
| 一、断层基本要素的确定 | (57) |
| 二、断层组合的一般规律 | (58) |
| 第四节 典型构造解释 | (60) |
| 一、披覆构造 | (60) |
| 二、挤压褶皱与高陡构造 | (61) |
| 三、底辟构造 | (62) |
| 四、流体底辟构造 | (64) |
| 五、花状构造 | (65) |
| 第五节 不整合面的解释 | (67) |
| 一、不整合的一般概念 | (67) |
| 二、不整合面的反射特征 | (67) |
| 三、几种典型的不整合面剖面特征 | (69) |
| 第六节 深度剖面绘制 | (70) |
| 一、平均速度法 | (70) |
| 二、曲射线法 | (71) |
| 三、 v_0 、 β 值的求法 | (72) |
| 第七节 地震构造图的绘制 | (72) |
| 一、地震构造图的基本概念 | (72) |
| 二、绘制构造图过程与步骤 | (73) |
| 三、等值线图的勾绘 | (75) |
| 四、由等 t_0 图空校绘制构造图 | (78) |
| 五、构造图的解释 | (79) |
| 六、利用构造图绘制地层等厚图 | (80) |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 第四章 三维地震和垂直地震资料的解释 | (82) |
| 第一节 三维地震资料解释 | (82) |
| 一、三维地震数据体的特点 | (82) |
| 二、三维地震资料构造解释 | (83) |
| 三、等时切片的解释 | (84) |
| 第二节 人机联作解释技术 | (87) |
| 一、人机联作解释及其特点 | (87) |
| 二、人机联作解释系统配置 | (88) |
| 三、解释工作流程 | (90) |
| 第三节 垂直地震剖面解释 | (92) |
| 一、垂直地震剖面基本原理与观测方法 | (92) |
| 二、垂直地震剖面特点 | (93) |
| 三、垂直地震剖面的解释和应用 | (94) |
| | |
| 第五章 地震波速度资料解释与应用 | (99) |
| 第一节 影响地震波速度的因素与分布规律 | (99) |
| 一、影响速度的一般因素 | (99) |
| 二、地震波速度与多孔介质流体性质关系 | (101) |
| 三、几种与油气关系密切的岩层速度特征 | (103) |
| 四、速度分布规律 | (104) |
| 第二节 几种速度概念与叠加速度谱的解释 | (104) |
| 一、速度的概念 | (104) |
| 二、叠加速度谱的解释 | (106) |
| 第三节 层速度估算砂泥岩百分比和储层参数 | (106) |
| 一、利用层速度估算砂泥岩百分比 | (106) |
| 二、利用层速度估算储层参数 | (109) |
| 第四节 利用层速度预测地层压力 | (111) |
| 一、概述 | (111) |
| 二、图板法 | (111) |
| 三、经验公式法 | (112) |
| | |
| 第六章 地震资料的沉积解释 | (114) |
| 第一节 地震资料的沉积解释概述 | (114) |
| 一、地震资料地层、岩性解释发展概况 | (114) |
| 二、地震资料的沉积解释内容 | (115) |
| 第二节 地震层序分析 | (115) |
| 一、沉积层序与地层层序 | (115) |
| 二、层序的年代地层学意义 | (116) |
| 三、地震反射的地层学意义 | (118) |
| 四、地震层序的划分 | (119) |

| | | |
|--------|-------------------|-------|
| 第三节 | 地震相分析 | (121) |
| 一、 | 地震相分析的概念 | (121) |
| 二、 | 地震相参数 | (122) |
| 三、 | 地震相图的编制 | (126) |
| 第四节 | 典型的地震相模式 | (127) |
| 一、 | 大陆边缘地震相模式 | (127) |
| 二、 | 断陷湖盆地震相模式 | (132) |
| 第四节 | 层序地层分析方法 | (135) |
| 一、 | 概述 | (135) |
| 二、 | 有关的基本概念 | (135) |
| 三、 | 层序分析一般方法 | (138) |
| | | |
| 第七章 | 地震资料在储层和油气预测中的应用 | (141) |
| 第一节 | 地震储层预测技术 | (141) |
| 一、 | 地震反演技术 | (141) |
| 二、 | 属性分析技术 | (145) |
| 第二节 | 地震属性在储层研究中的应用 | (148) |
| 一、 | 几种地震信息与岩石物性和油气的关系 | (148) |
| 二、 | 地震属性的应用与实例分析 | (151) |
| 第三节 | 地震资料在含油性检测中的应用 | (155) |
| 一、 | 地震剖面上直接检测油气 | (155) |
| 二、 | 应用属性技术检测油气 | (158) |
| 第四节 | AVO 技术分析与应用 | (160) |
| 一、 | AVO 技术分析 | (160) |
| 二、 | 应用 AVO 技术检测含气层 | (165) |
| | | |
| 第八章 | 地震资料在油藏监测中的应用 | (169) |
| 第一节 | 地震监测的岩石物理学基础 | (169) |
| 一、 | 随时间变化的油藏特征 | (169) |
| 二、 | 与地震监测有关的岩石物理特征 | (170) |
| 三、 | 用于油藏监测地震特征 | (172) |
| 第二节 | 地震监测技术 | (173) |
| 一、 | 时移地震 | (173) |
| 二、 | 微地震技术 | (176) |
| 第三节 | 地震监测资料的解释应用 | (178) |
| 一、 | 时移三维地震油藏监测解释应用 | (178) |
| 二、 | 井中地震油藏监测解释应用 | (180) |
| 三、 | 微地震检测的应用 | (183) |
| | | |
| 主要参考文献 | | (185) |

第一章 地震资料解释基础

第一节 地震波的基本特征

一、波的类型

在波的传播过程中,按质点振动的方向来区分,分为纵波和横波。介质中质点的振动方向与波的传播方向平行,称为纵波,又称为压缩波。介质中质点振动的方向与波传播方向垂直,称为横波,又称为切变波或剪切波。在同一种固体介质中,纵波的速度比横波的速度高,横波波速最小为0,最大仅达纵波波速的70%。由于流体(气体和液体)介质,只能传播纵波,不能传播横波,地震勘探中同时利用纵波和横波进行勘探,就有可能取得更多关于介质性质的信息。

根据波所传播的空间范围分为体波和面波。纵波和横波可在介质的整个立体空间中传播,称为体波;只在自由表面或一同弹性介质分界面附近传播的波叫面波,其强度随离开界面的距离增大而迅速衰减,地面上接收不到深部岩层分界面上的面波。影响地震勘探最主要的面波是沿地表传播的面波,在地震勘探中,爆炸不但会在地层中引起体波,而且会在地表引起复杂的面波,通常统称为“地滚波”。这种波近似地按柱面(而不是按球面)在地表向四周扩展,可在相当大的距离内仍保持强的振幅,是地震勘探中最强的干扰波。在大多数情况下由于其频率低于反射波,可用频率滤波法将其削弱。

按照波在传播过程中传播路径的特点,地震波可分为入射波、反射波、直达波、透射波、折射波、滑行波等几种(图1-1)。

一般来说,当地震波入射到反射界面时,既产生反射纵波和反射横波,又产生透射纵波和透射横波。与入射波类型相同的反射波和透射波称为同类波;改变了类型的反射波和透射波称为转换波。入射角不大时,转换波的强度很小。垂直入射时,不产生转换波,且反射波振幅 A_r 与入射波振幅 A_i 和分界面两边介质的波阻抗有如下关系:

$$A_r = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} A_i$$

式中 ρ_1 、 v_1 分别表示反射界面上介质的密度和速度, ρ_2 、 v_2 分别表示反射界面下介质的密度和速度。分界面两边各介质密度和速度乘积 $\rho_1 v_1$ 、 $\rho_2 v_2$ 叫波阻抗。比值 A_r/A_i 叫做波从介质入射到分界面时界面的反射系数,记作 R :

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}$$

上式说明,波阻抗界面才是反射界面,速度界面不一定是反射界面。从上式中还可得出以

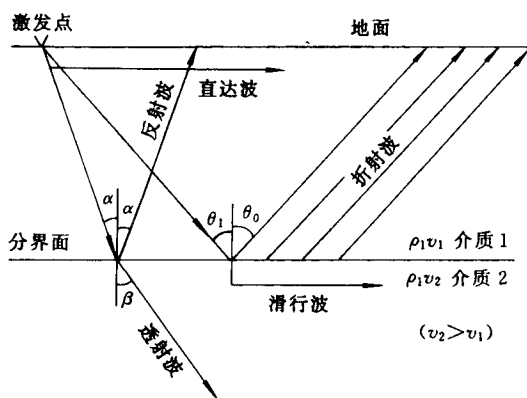


图1-1 与地震勘探有关的几种波

下几点重要的认识:

(1) 反射波形成的条件:当界面波阻抗相等时只有透射而无反射,只有当界面波阻抗不等时才能产生反射波,这是界面形成反射波必要的物理条件。

(2) 反射波强度:波阻抗差越大,反射系数越大,反射波越强;反射波的强度不仅随波阻抗差增大而增强,还随波阻抗之和的增加而减弱。由于一般地层的波阻抗随深度增加而加大,浅层反射界面与深层反射界面具有相同的波阻抗差时,深层反射界面反射系数相对变小,反射波强度减弱。

(3) 反射极性:当反射界面下介质波阻抗(Z_2)大于入射介质波阻抗(Z_1)时, $R>0$,反射波与入射波的相位相同,称为正极性反射;当 $Z_2<Z_1$ 时, $R<0$,反射波与入射波相位相反,相位差 180° ,称为负极性反射。利用反射波极性的变化,可判断地下岩层性质(图 1-2)。

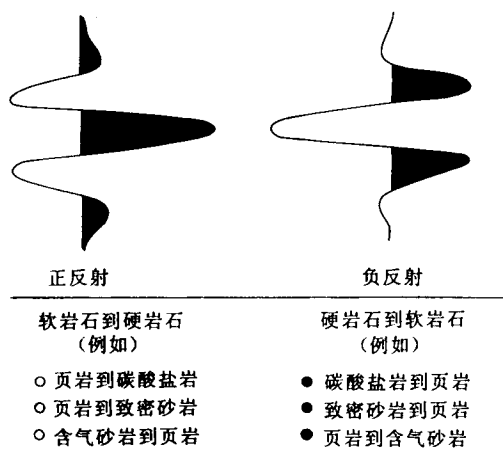


图 1-2 地震波极性显示

二、地震波的特征

1. 地震波的性质

地震勘探时,在地质介质中用爆炸的方法给岩石以巨大的冲击力,在爆炸点附近,岩石因遭受爆炸力的破坏而形成一个破坏区,远离爆炸的范围,岩石因受力较小,可视为弹性介质,产生弹性振动,从而激发地震波。由爆炸所激发的地震波不同于一般的简谐波,是非周期性的,没有固定的频率、稳定的振幅和连续振动。首先,由爆炸产生的振动具非周期性的脉冲性质,即振动只在一短暂时间内延续,地震波震源不足以补偿质点振动因阻尼而耗损的能量,因而岩石中质点振动是不稳定的。其次,实际的地质介质与理想的弹性介质不同,岩石中的质点由于摩擦阻尼的作用不能形成稳定的周期性的振动。地震勘探中遇到的地震波,就是地下岩层中的弹性波,也遵循关于波的一般运动规律。

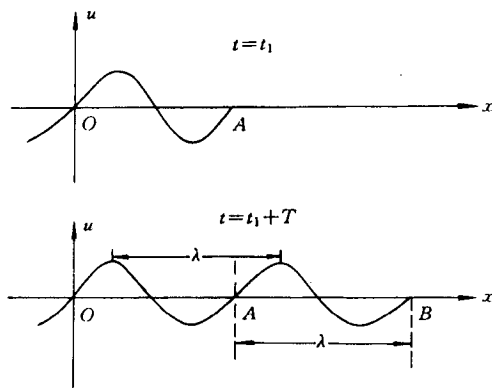


图 1-3 波剖面表示波长的示意图

2. 振动曲线和波剖面

在波动这种复杂的运动过程中,介质中无数个质点都在振动,地震波在传播过程中,介质中各质点之间的振动是有相位差的,某一时刻各质点的位移是不同的,即位移 $u=f(x)$ 。即同一时刻各振动质点位移所构成的图形,称为波剖面或波形图。为了形象地描述脉冲波的具体形态,用横坐标表示质点的平衡位置,纵坐标表示给定时刻振动质点的位移量,则各点位移分布所构成的曲线就是该时刻的波形曲线或波剖面(图 1-3)。

必须指出,这样的波形曲线只反映了波有一

个特定的时刻沿着一个特定方向的形象,不是波在时间和空间中的全面反映。换一时刻,就得到另一波形曲线。在波剖面中,最大正位移叫波峰,最大负位移叫波谷,两个相邻波峰或波谷的距离叫视波长 λ^* 。波长 λ^* 是波在一个周期里传播的距离。波传播的速度是:

$$v = \lambda f = \lambda / T$$

波在传播过程中,质点只是绕着平衡位置振动。对于介质中任一固定点振动的位移 $u = f(t)$,把这种反映一个质点在振动过程中位移随时间变化的情形,叫质点的振动图形(图 1-4)。地震勘探中,地震波从激发到地面接收反射波最长时间约为 5s,这种延续时间短、振幅变化的振动区别于谐振动,称为非周期的脉冲振动。一般用视振幅、视周期和视频率来描述它。

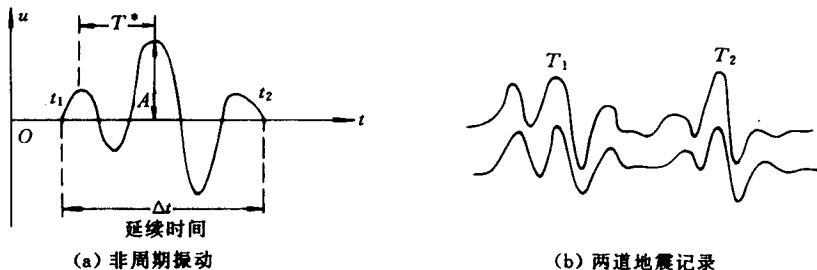


图 1-4 非周期振动与地震记录

视振幅:质点离开平衡位置的最大位移[图 1-4(a)],振幅大小与能量有关,波动理论证明振动能量的大小与振幅平方成正比。

视周期:两个相邻极大点或极小点之间的时间间隔,记为 T^* , T^* 表示质点从极大点经过极小点再回到极大点完成一次振动所需的时间。

视频率:表示质点每秒钟内振动的次数,记为 f^* ,以“Hz”或周/秒为单位。 T^* 与 f^* 互为倒数。视频率越高,波的视波长越短。

对于同一个波来说,彼此相距不远的各个质点的振动形状是相似的,只是到达时刻迟早的差别。但是对于不同的波,其质点的振动形状是彼此不同的。在地震勘探中,利用波的这一特点,在地面记录不同点的振动图形叫波形记录,通常称为地震记录[图 1-4(b)]。

第二节 地震剖面特点与地震资料处理流程

一、地震剖面的一般概念

地震记录的形成是震源激发时产生尖脉冲,在激发点附近的介质中以冲击波的形式传播,当传播到一定距离时,波形逐渐稳定,称该时刻的地震波为地震子波。地震子波在继续传播过程中,其振幅会因各种原因而衰减,但波形的变化是很小的,在一定条件下可以看成不变。地震子波在向下传播过程中,遇到波阻抗面就会发生反射,地震子波从地下各个反射界面反射回来,这些反射回来的地震子波在波形上是有差别的,其振幅有大有小,极性有正有负,到达时间有先有后。来自同一反射点的反射波地震记录上的同相轴是一双曲线,不能直观地反映地下界面形态,通过一系列的校正处理后形成地震记录。

1. 地震剖面的种类

野外地震资料经过数字处理后,可以得到多种地震信息,这些地震信息主要以时间剖面的

形式显示出来。目前使用最广泛的时间剖面有两种,一是水平叠加时间剖面,简称水平剖面;二是叠加偏移时间剖面,简称偏移剖面。这两种剖面是地震地质解释的基础。一般情况下,在进行构造解释时,偏移剖面识别地下构造形态比较直观清晰,但在速度资料较差的地区,水平剖面可能比偏移剖面质量更好一些。在复杂构造地区整个解释工作期间要有效地利用这两种剖面。层序地层和岩性解释中使用较多的是偏移剖面。

此外,随着地震岩性勘探和烃类检测技术的发展,还有多种剖面,如速度剖面(叠加速度剖面、均方根速度剖面、速度剖面等)、三瞬剖面(瞬时振幅、瞬时频率和瞬时相位剖面)、保持相对振幅剖面(亮点剖面)、反射系数剖面、波阻抗剖面 and 合成速度剖面等。这些资料主要用于岩性预测和烃类解释。

2. 时间剖面的显示

目前主要有三种基本显示形式:即波形显示、变面积显示和变密度显示(图 1-5)。

(1) 波形剖面:用振动图形表示地震记录的波形。这种显示形式能比较全面地反映地震波的动力学特征细节(如振幅、频率和波形等),但是反映界面起伏的直观性较差。

(2) 变面积剖面:用梯形面积的大小和边缘的陡缓表示地震波能量的强弱。这种显示能够反映界面的形态,直观性强,外形与地质剖面接近,但是波的动力学特征细节不清。

(3) 变密度剖面:用密度值大小表示地震波能量的强弱。振幅强则光线密度大,色调深;振幅弱则光线密度稀,色调变灰。变密度显示不如变面积显示的剖面反射层次清晰。

(4) 波形加变面积剖面:是一种最常用的剖面显示形式,结合了两者的优点,克服了各自的缺点。变面积剖面将地震波的波峰部分填黑,突出反射层次;在波谷部分留出空白,便于波形分析和对比。

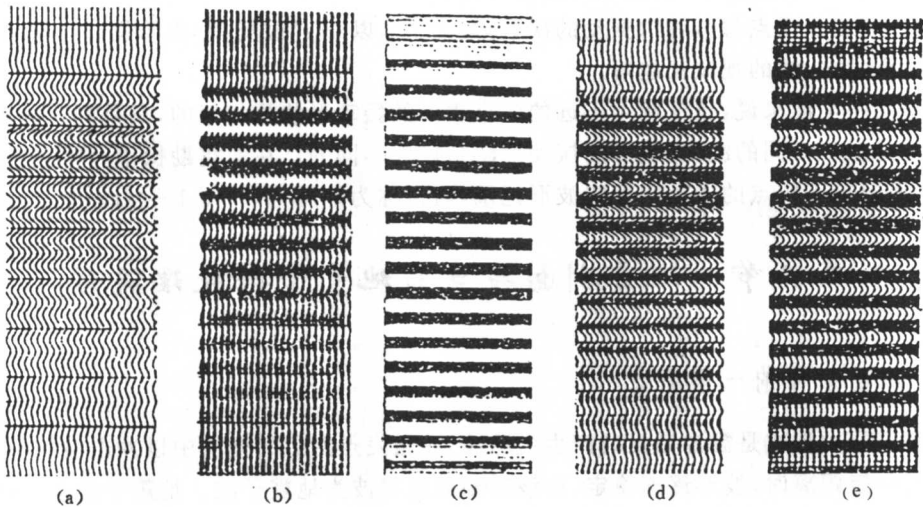


图 1-5 时间剖面显示的四种形式

(a) 波形曲线;(b) 变面积;(c) 变密度;(d) 波形加变面积;(e) 彩色显示剖面

(5) 彩色显示剖面:时间剖面也可以用彩色显示。彩色时间剖面色彩鲜艳,层次分明,特征突出,表示地震信息的动态范围更大,利于对比。现有工作站解释系统多采用彩色显示,或双极性显示,可更利于对比解释。

3. 时间剖面的特点

时间剖面由图头和记录两部分组成。图头部分:位于剖面图的起始部位,用以说明剖面的工区、测线号、起止桩号、剖面性质、野外施工参数和处理方法与流程,其显示内容由处理人员提出。

记录部分:是时间剖面的主要部分。横坐标代表共中心点叠加道的位置,一般用CDP点号和相应的测线桩号表示。纵坐标垂直向下,代表反射时间(s)。记录波形的最大振幅一般控制在10mm。

时间剖面是经过动校正和水平叠加后得到的。由于共中心点的炮检距为零,所以水平时间剖面相当于每点自激自收的反射剖面。由于时间剖面消除了接收距离变化对记录时间的影响,与深度剖面相似。一般在地层倾角小、构造简单的情况下能直观地反映地下界面形态特征,同时也保留了各种地震波的现象和特点。但是,时间剖面不是深度剖面,更不是沿测线铅垂向下的地质剖面。时间剖面与地质剖面有以下三点不同:

- (1) 时间剖面上的反射层与测线上,根据钻井资料得到的地层分层界面常常不能一一对应。
- (2) 在构造复杂或地层倾角较大时,由于偏移,反射点位置与记录点位置相差很远。
- (3) 复杂地区时间剖面具有丰富的异常波等特点。

二、地震资料处理流程简介

地震勘探可分为野外采集、资料处理和资料解释三个阶段。这三个阶段是紧密相关的。只有质量较高的原始资料才能为处理工作提供良好的物质基础。同样,在原始资料相同的条件下,合适而先进的处理技术和方法的应用能获得更真实地反映地下地质状况的地震剖面。近年来用地震资料研究岩性、油气和复杂构造等地震勘探技术的发展,也正是和“波动方程偏移”、“反褶积”、“声阻抗技术”等一系列处理方法逐渐完善密切相关的。因此,进行地震资料解释应对处理流程和方法有所了解,有助于分析和判断地震剖面上的各种异常现象是处理因素选择不当造成,还是地下岩层的真实反映;进而对处理方法或参数提出改进意见。

(一) 地震资料数字处理流程

地震资料数字处理流程可分为三大部分。

- (1) 首先把数字磁带记录上的地震信息输入到计算机;
- (2) 在计算机里对输入的地震信息进行各种整理(如数据重排、动静校正)和各种处理(如各种叠加和滤波处理等)。在这些整理和处理中,有些是必须做的,有些则根据要求和地震资料的具体特点有选择地进行;
- (3) 成果资料的显示,即把处理的成果输出并以各种表格、曲线或剖面图、平面图的形式显示出来供解释用。

进行处理的内容是很多的,采用各种处理方法的主要目的可概括为以下四个方面:

- (1) 提高地震资料的信噪比,压制在野外接收时没有有效压制的干扰波;
- (2) 提高地震记录的分辨能力;
- (3) 消除由于野外工作方法的限制,以及地面与地下地质条件在地震剖面上造成的各种假象;
- (4) 提取各种有助于解释的地震参数。

下面以水平剖面处理流程为例,简要介绍几种常规处理方法的基本目的。

(二) 水平叠加剖面的处理流程

在地震资料的日常处理工作中,根据处理目的和具体要求以及原始资料的特点,选用某些处理方法,组成一个程序系统。例如在常规处理中,水平叠加时间剖面一般按下列流程进行(图1-6)。

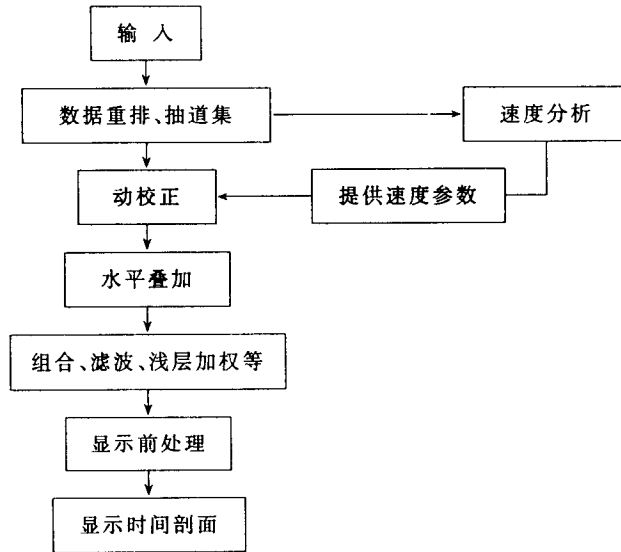


图1-6 水平叠加处理流程图

1. 预处理

地震信息输入主机后要进行初步加工,使其能满足计算机自处理方法的要求,习惯上把这些工作称为预处理。一般包括:剔除不正常的炮和道、数据重排、登录道头、抽道集、增益恢复、切除等内容。

(1) 剔除不正常的道和炮:为了提高数字处理的效果,在预处理时,对于某些不合要求的地震信息(废炮、缺炮和工作不正常道和异常野值)都要剔除不用,剔除的方法是将其数据充零。另外,对于极性接反、道序接错的道都要进行处理,把极性反过来,并调整接错的道序。

(2) 数据解编和重排:由于地震仪器型号和记录方式不同,磁带地震记录的格式也不一样,数据解编和重排就是要从各种各样的记录格式中,把地震采样数据读出来,其一,把按时序分道排列的数据块,转变成按道序分时排列的数据块。其二,改变原来每四个振幅的增益码和尾数放在一起的数据排列方式,使每一个振幅值的增益码和尾数放在一起,成为一个浮点数。模拟磁带信号转换为数字信号时,即已转换为按道序排列的数,不必经过数据重排。

(3) 登录道头:经过解编后的地震记录,是按道序排列的,每一道前只有一个道头,后面是这个道的采样数据。道头用来描述该道的记录特征,如炮号、道号炮检距、最大振幅值、记录延迟时、反射点号等等。

(4) 抽道集:有了道头信息,就可以把野外地震记录道根据需要按一定的规律重新排列,这项工作叫抽道集。道集有四种,即共反射点道集、共炮点道集、共接收点道集和共炮检距道集。通常用得最普遍的是共反射点道集,即把属于同一个共反射点的叠加道集中在一起,按共反射点序号进行重排,就可形成共反射点道集记录。

(5) 振幅控制:由于波前发散吸收衰减等因素,造成地震波浅层反射和深层反射振幅差别

很大。同一道地震记录浅层能量强,深层能量弱;不同道地震记录则是小炮检距振幅大,大炮检距的振幅小。振幅控制就是把这种差别很大的振幅控制在某一范围内,将强振幅减弱,弱振幅相对放大。亮点处理时,为了保持地震波的真振幅与较大的差异性,不进行振幅控制。

(6) 切除:切除分为初至切除和中间切除两部分。初至切除,地震记录上,最先接收到的地震波,小炮检距是直达波,大炮检距则是浅层折射波。由于传播距离短,能量特强,加上与反射波之间的干涉,在记录的头部形成一条破坏带,必须切除,以免影响叠加效果。初至切除从每个道的初至时间开始,切除相当或略大于破坏带的宽度。中间切除,在记录中间某些强烈干扰带,如面波、声波或侧面波等,有时强度比有效波大,这些部分如果参加叠加,反而会造成不良效果。有时宁可减少叠加次数,也应切除。

2. 静校正和动校正

在经过预处理之后,为了获得水平叠加剖面,还需进行静校正和动校正(图1-7)。

(1) 静校正:静校正有两类,即基准面校正和剩余静校正。由于地面高程(如山、谷或其他地形特征),低速带或风化层等厚度变化,低速带的速度变化均会使得平反射面发生畸变,为了消除这些近地表异常的影响,反射时间必须校正到同一基准面上称为基准面静校正。这种校正不随时间而改变,对于每一个激发点或接收点来说只有一个静校正值。实现静校正的方法比较简单,即按静校正量所确定的内存单元数,把记录道的振幅离散值进行整体搬家。静校正量为正时,向少时间方向移动,为负时,则向多时间方向移动,这就实现了静校正。

静校正工作在地表条件复杂的地区,如四川、陕甘等地,是不可缺少的。即使在地面平坦的地区,由于其低速带或风化层等厚度变化,为了进一步提高地震资料的质量,也应做好静校正。

(2) 动校正:由时距曲线分析可知,来自同一界面反射波记录上同相轴的形状是一条双曲线,不能直观地反映地下界面形态,因此要进行校正。这种把双曲线形式的时距曲线或同相轴变成与其中心点回声反射时间一致的直线的方法叫动校正[图1-7(b)、(c)]。

完成动校正后就可以进行水平叠加,即把经过动校正的共深度点道集内各道各个相同时刻的离散振幅值叠加起来,就得到经过共深度点叠加后的一个地震道[图1-7(d)]。

3. 叠加后的加工

加了进一步改善剖面质量,还需作一些加工和修饰。常用的方法有浅层加权、道平衡、相干加强等以及各种滤波技术。

(1) 浅层加权:由于初至切除和动校正畸变带的切除,会造成同一道集内深层次之间叠加次数的不同。例如浅层有的时间段是一次叠加,有的是二次、三次,这样叠加后会产生能量不均衡,为了使浅层能量均衡,叠加时需要进行浅层加权叠加,从而改善因切除造成反射能量不均匀现象。

(2) 相干加强:相干加强是改善地震记录同相性、削弱随机干扰的一种方法。其基本思想是根据剖面上每个记录道与相邻记录道的相干性(也可叫相似性)进行加权,相干性越好加权重值越大,这样就使同一条同相轴内的各道波形改造得更相似并且加强,把随机干扰进一步削弱。但有时容易造成假同相轴。

(3) 道内平衡(动平衡):一个地震道内的各个波组的能量是不均匀的,有的强,有的弱。经过叠加后,在叠加道上不同波组能量上的差别会更加明显。不同波组之间的这种能量上的差别是一种有用的波组特征,如果相差太悬殊就无法显示。所谓道内平衡就是叠加后的一种振幅控制手段,目的是使同一道浅中深各层在能量上比较均匀些,相差不会太悬殊,便于显示。

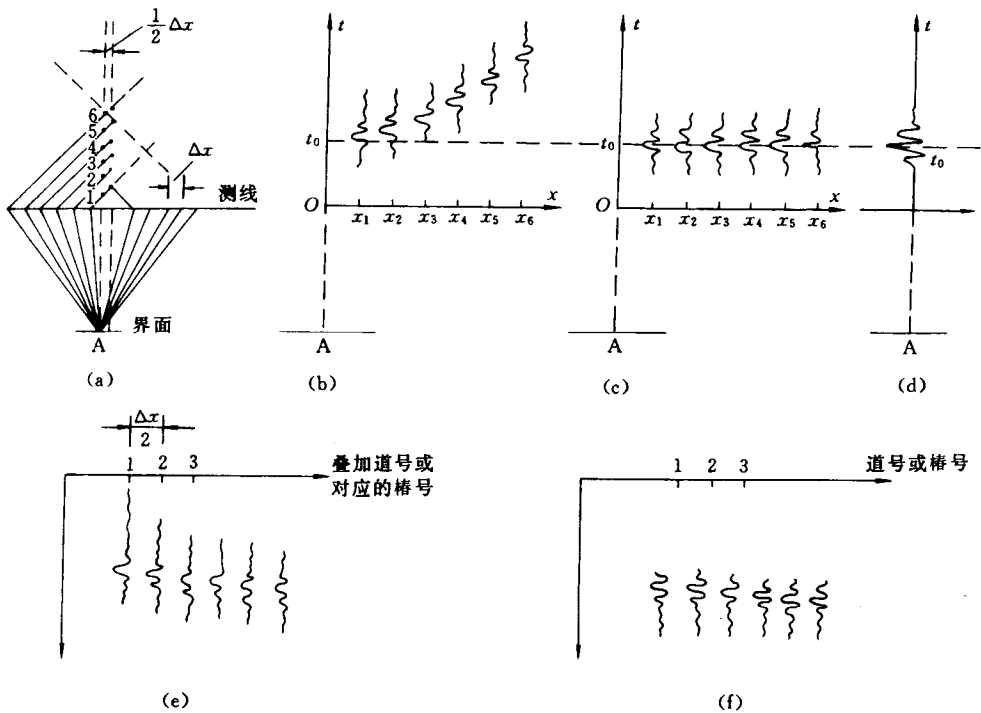


图 1-7 时间剖面的形成

(a) 6次覆盖观测;(b) 共反射点时距曲线;(c) 动校正;(d) 水平叠加形成叠加道;
(e) 由叠加道组成时间剖面;(f) 偏移归位剖面

4. 显示

完成叠加后的加工,就可以显示水平叠加剖面。显示设备是一些通用的绘图装置或地震专用的时间剖面显示仪。显示过程实质上是一个数/模转换过程。即把叠加后的数字化地震信息(每道地震波形的离散采样值)转换成连续波形,并按一定的方式显示出来。

第三节 偏移现象和偏移归位

实践证明对于解释工作者,正确理解时间剖面的偏移现象和有关的偏移归位的一些原理、概念等问题对地震资料的解释是十分重要的。下面简要介绍有关时间剖面的偏移现象、偏移叠加原理、偏移叠加、叠加偏移、叠前偏移、二维偏移和三维偏移等基本概念。

一、时间剖面的偏移现象

经过动校正的时间剖面虽然能直观地反映地下界面,但不能完全真实地反映地下的构造形态。

当界面水平时,对水平界面的原始记录经过动校正后,把波形画在爆炸点与接受点之间的一半位置,即共中心点位置的正下方,反射同相轴所反映的界面段位置与真实界面的空间位置是基本相符的。

当界面倾斜时,实际上反射点并不在接收点的正下方。如图 1-8 所示,仍然按水平界面时