

高等学校教材試用本

地震勘探

北京地质学院編

只限学校内部使用



中国工业出版社

目 录

前言	
緒論	5
第一部份 地震勘探的物理基础和地质基础	
第一章 弹性体和弹性波的基本概念	12
§ 1.1 完全弹性体的概念	12
§ 1.2 应变(形变)与应力	12
§ 1.3 弹性波的基本类型	17
§ 1.4 弹性波传播的几何定律	20
§ 1.5 折射波的形成和传播特点	21
第二章 弹性波运动学	23
§ 2.1 弹性波运动学的基本概念	23
§ 2.2 反射波的运动地震学	23
§ 2.3 折射波运动地震学	38
§ 2.4 透过波运动地震学	45
§ 2.5 垂直断层的运动学特征	49
第三章 弹性波动力学	50
§ 3.1 波动方程式	51
§ 3.2 无限完全弹性介质中点震源所产生的波	53
§ 3.3 无限完全弹性介质中任意震源所产生的波	56
§ 3.4 频谱分解	56
§ 3.5 在具有一个分界面的介质中弹性波的传播	61
§ 3.6 在层状介质中弹性波的传播特点	75
第四章 地震勘探地质基础	87
§ 4.1 地震波在岩石中的传播速度	87
§ 4.2 岩层中弹性波的吸收与散射	92
§ 4.3 有效波与干扰	95
§ 4.4 地震地质条件	95
第二部份 地震勘探仪器	
第五章 地震仪器的基本概念和原理	98
§ 5.1 地震仪器的一般概念和要求	98
§ 5.2 地震仪器的稳定状态	100
§ 5.3 地震仪器的过渡状态	102
第六章 地震检波器	103
§ 6.1 地震检波器的运动微分方程	103
§ 6.2 地震检波器的特性	105
§ 6.3 地震检波器的参数选择	108
§ 6.4 地震检波器的结构和特性研究	109
第七章 地震放大器和检流计	113
§ 7.1 放大器的微分方程式	113
§ 7.2 滤波器的微分方程	116
§ 7.3 自动振幅控制器	120
§ 7.4 放大器的结构和特性研究	121
§ 7.5 检流计的特性和检查	126
第八章 标准地震站	129
§ 8.1 标准地震站的专门装置和辅助装置	129
§ 8.2 标准地震站的调节	133
第九章 专门地震站	134
§ 9.1 高频地震站	134
§ 9.2 低频地震站	137
§ 9.3 复制地震站	141
§ 9.4 频谱分析站	144
第三部份 资料整理解释	
第十章 资料的一般整理解释方法	147
§ 10.1 地震记录的初步整理	147
§ 10.2 波的对比原理	151
§ 10.3 校正	153
§ 10.4 时距图和振幅图的绘制	158
§ 10.5 地震波在复盖层中速度的测定	160
§ 10.6 地震界面的制作	176
§ 10.7 界面制作的误差讨论	183
§ 10.8 地震剖面中地质层位的确定	185
§ 10.9 构造简图与构造图的制作	187
§ 10.10 辅助图形的制作	190
第十一章 连续介质中制作地震界面的方法以及决定界面空间位置的方法	191
§ 11.1 复盖层是连续介质时的解释方法	191
§ 11.2 界面下部地层为连续介质的解释方法	199
§ 11.3 决定界面空间位置的方法	201
第十二章 地震波动力学特点的应用	210
§ 12.1 动力学特点的定性应用	211
§ 12.2 折射波动力学特点的定量解释	214
§ 12.3 反射波动力学特点的定量解释	226
第十三章 多次波的研究	230
§ 13.1 多次反射波的分辨	230
§ 13.2 反射折射波与折射反射波	238
第四部份 野外工作方法和技術	
第十四章 地震勘探基本工作方法的特点	240
§ 14.1 反射波法的特点	240
§ 14.2 折射波法的特点	242
第十五章 观测系统	243

§ 15.1	观测系統的一般問題	243	§ 17.2	綫路普查	287
§ 15.2	检波器距离 Δx 和爆炸点間距 L的选择	244	§ 17.3	面积普查	289
§ 15.3	反射波法的观测系統	247	§ 17.4	面积詳查	292
§ 15.4	折射波法的观测系統	251	§ 17.5	試驗工作	295
第十六章	振动的激发条件和 接收条件	256	第十八章	野外工作技術	296
§ 16.1	振动激发条件的基本要求	256	§ 18.1	測量工作	296
§ 16.2	各种激发条件的比較	257	§ 18.2	地震(中心)站工作	297
§ 16.3	頻率特性的利用	260	§ 18.3	钻井工作	301
§ 16.4	方向特性的利用	261	§ 18.4	爆炸工作	302
§ 16.5	調节方向接收	277	§ 18.5	低速帶研究与地震測井工作	305
§ 16.6	地震道的放大控制	283	結語		311
§ 16.7	地震检波器的安置条件	285	附录一、有关的彈性力学基本知識		311
第十七章	地震勘探的工作方法	286	附录二、爆炸业务基础		321
§ 17.1	地震勘探的基本程序	286	参考文献		336

在本书中系統地闡述了地震勘探方法的基本理論、仪器、工作方法和技術。它是为了帮助大学中地球物理勘探的构造和金属专业学生学习而編写的。由于目前两个专业对本方法的要求不同，因此书中章节編排尽量适合于它們共同的需要，而把当前地震勘探生产中最基本的知識組成独立章节，使学生在學習这些基本章节后对地震勘探法就能有全面的了解。

全书共分四大部份，內分十八章。第一部份为物理地质基础，有四章。第一章是叙述弹性波的一些基本概念；第二章是較詳細地叙述研究弹性波的运动学基础；它也是目前地震勘探原理中正演問題的主要內容；第三章專門討論了研究弹性波动力学的基本方法，并略述了一些对实践有意义的結論；第四章主要是叙述弹性波在实际介质中传播的特点，并联系地质条件闡明方法的地质基础。可以认为如果学生学习了第一、二、四章后，就能对地震勘探建立了一般方法所要求的理論基础。而学习这些章节时只要求学生具备一般的物理知識和数学知識就能进行。对第三章的学习一般要在学生获得弹性理論基础和数学方程的基本知識后才能进行。书中第二部份为仪器理論，分五章。前四章闡述仪器的一般概念、要求和研究方法，后一章为專門介紹近代新型地震儀的特点和改装标准仪器的方法。要很好学习这部份，要求学生对象振动現象、动力学知識、綫性微分方程理論、富氏积分的概念和电工、电子、无綫电学都有相当的了解，才有可能很好理解、掌握这些內容。在非构造专业学习这部份时只要閱讀有关仪器一般概念、要求和結構特性的章节就够了。第三部份是解释方法理論，分四章。第十章叙述了目前生产中的基本整理解释方法，其它三章所叙述的都是一些較專門的解释問題。要学好这一部份，就要求学生把前面的基本理論掌握好，并結合实际資料进行具体解释。在非构造专业学习这部份时，主要是学习一般性的解释方法（第十章）。最后一部份是野外工作方法与技術，共分五章。学习这一部份时相当多的內容很有必要結合生产实习进行，然后在了解掌握一般方法技术后，再掌握其余部份。对于非构造专业学习时可只閱讀个别小节，以了解一般工作情况。

可以认为本书的編写是自1953年开始，由傅承义教授首先編写了第一部份地震勘探教材后，在它的基础上我們逐年結合教学需要和方法本身的发展，不断地补充修改而成的。在多年的編写过程中，由于苏联专家И.И. 顾尔維奇来我国讲学和1958年大跃进以后物探事业迅速发展，使教材在內容和結構上经历了两次較大的修改，奠定了这次編写的基础。因此这教材实际是我們集体教学实践中的結晶。

本书在編写时尽量地兼顾到符合科学系統而又能适于配合課程进度安排这两个方面。并且考虑到地震勘探某些新方法新技术在近几年內的生产应用已漸漸成熟，这就迫切地要求把这些內容整理成較系統的章节。

这次編写是在全組同志协助下主要由顾庆賢、苏子栋、张学华等同志負責进行。并得到刘光鼎、孔非吾同志細致的全面审查，程祖依同志、赵瑛琪同志部份审閱，和北京石油学院物探教研室提供了宝贵的記錄图片資料，使本书的质量能有所提高。

由于我們水平所限，時間緊迫，更加上在我国仍未有為大學用的公開的地震勘探教材能作為借鑒，而地震勘探本身的发展又是如此迅速。因此对书中的編排取舍，必然存在許多值得商榷和不妥善之处。我們懇切地希望讀者能对本书的缺点，毫无保留地提出意見，以供再版时进一步修改。

來信請寄北京地质学院构造物探教研室地震組。

1961.6.

目 录

前言			
緒論	.....	5	
第一部份 地震勘探的物理基础和地质基础			
第一章 弹性体和弹性波的基本概念	.....	12	
§ 1.1 完全弹性体的概念	.....	12	
§ 1.2 应变(形变)与应力	.....	12	
§ 1.3 弹性波的基本类型	.....	17	
§ 1.4 弹性波传播的几何定律	.....	20	
§ 1.5 折射波的形成和传播特点	.....	21	
第二章 弹性波运动学	.....	23	
§ 2.1 弹性波运动学的基本概念	.....	23	
§ 2.2 反射波的运动地震学	.....	23	
§ 2.3 折射波运动地震学	.....	38	
§ 2.4 透过波运动地震学	.....	45	
§ 2.5 垂直断层的运动学特征	.....	49	
第三章 弹性波动力学	.....	50	
§ 3.1 波动方程式	.....	51	
§ 3.2 无限完全弹性介质中点震源所产生的波	.....	53	
§ 3.3 无限完全弹性介质中任意震源所产生的波	.....	56	
§ 3.4 频谱分解	.....	56	
§ 3.5 在具有一个分界面的介质中弹性波的传播	.....	61	
§ 3.6 在层状介质中弹性波的传播特点	.....	75	
第四章 地震勘探地质基础	.....	87	
§ 4.1 地震波在岩石中的传播速度	.....	87	
§ 4.2 岩层中弹性波的吸收与散射	.....	92	
§ 4.3 有效波与干扰	.....	95	
§ 4.4 地震地质条件	.....	95	
第二部份 地震勘探仪器			
第五章 地震仪器的基本概念和原理	.....	98	
§ 5.1 地震仪器的一般概念和要求	.....	98	
§ 5.2 地震仪器的稳定状态	.....	100	
§ 5.3 地震仪器的过渡状态	.....	102	
第六章 地震检波器	.....	103	
§ 6.1 地震检波器的运动微分方程	.....	103	
§ 6.2 地震检波器的特性	.....	105	
§ 6.3 地震检波器的参数选择	.....	108	
§ 6.4 地震检波器的结构和特性研究	.....	109	
第七章 地震放大器和检流计	.....	113	
§ 7.1 放大器的微分方程式	.....	113	
§ 7.2 滤波器的微分方程	.....	116	
§ 7.3 自动振幅控制器	.....	120	
§ 7.4 放大器的结构和特性研究	.....	121	
§ 7.5 检流计的特性和检查	.....	126	
第八章 标准地震站	.....	129	
§ 8.1 标准地震站的专门装置和辅助装置	.....	129	
§ 8.2 标准地震站的调节	.....	133	
第九章 专门地震站	.....	134	
§ 9.1 高频地震站	.....	134	
§ 9.2 低频地震站	.....	137	
§ 9.3 复制地震站	.....	141	
§ 9.4 频谱分析站	.....	144	
第三部份 资料整理解释			
第十章 资料的一般整理解释方法	.....	147	
§ 10.1 地震记录的初步整理	.....	147	
§ 10.2 波的对比原理	.....	151	
§ 10.3 校正	.....	153	
§ 10.4 时距图和振幅图的绘制	.....	158	
§ 10.5 地震波在复盖层中速度的测定	.....	160	
§ 10.6 地震界面的制作	.....	176	
§ 10.7 界面制作的误差讨论	.....	183	
§ 10.8 地震剖面中地质层位的确定	.....	185	
§ 10.9 构造简图与构造图的制作	.....	187	
§ 10.10 辅助图形的制作	.....	190	
第十一章 连续介质中制作地震界面的方法以及决定界面空间位置的方法	.....	191	
§ 11.1 复盖层是连续介质时的解释方法	.....	191	
§ 11.2 界面下部地层为连续介质的解释方法	.....	199	
§ 11.3 决定界面空间位置的方法	.....	201	
第十二章 地震波动力学特点的应用	.....	210	
§ 12.1 动力学特点的定性应用	.....	211	
§ 12.2 折射波动力学特点的定量解释	.....	214	
§ 12.3 反射波动力学特点的定量解释	.....	226	
第十三章 多次波的研究	.....	230	
§ 13.1 多次反射波的分辨	.....	230	
§ 13.2 反射折射波与折射反射波	.....	238	
第四部份 野外工作方法和技術			
第十四章 地震勘探基本工作方法的特点	.....	240	
§ 14.1 反射波法的特点	.....	240	
§ 14.2 折射波法的特点	.....	242	
第十五章 观测系统	.....	243	

§ 15.1	观测系統的一般問題.....	243	§ 17.2	綫路普查.....	287
§ 15.2	检波器距离 Δx 和爆炸点間距 L的选择.....	244	§ 17.3	面积普查.....	289
§ 15.3	反射波法的观测系統.....	247	§ 17.4	面积詳查.....	292
§ 15.4	折射波法的观测系統.....	251	§ 17.5	試驗工作.....	295
第十六章	振动的激发条件和 接收条件.....	256	第十八章	野外工作技術.....	296
§ 16.1	振动激发条件的基本要求.....	256	§ 18.1	測量工作.....	296
§ 16.2	各种激发条件的比較.....	257	§ 18.2	地震(中心)站工作.....	297
§ 16.3	頻率特性的利用.....	260	§ 18.3	钻井工作.....	301
§ 16.4	方向特性的利用.....	261	§ 18.4	爆炸工作.....	302
§ 16.5	調节方向接收.....	277	§ 18.5	低速帶研究与地震測井工作...	305
§ 16.6	地震道的放大控制.....	283	結語		311
§ 16.7	地震检波器的安置条件.....	285	附录一、有关的彈性力学基本知識...		311
第十七章	地震勘探的工作方法	286	附录二、爆炸业务基础		321
§ 17.1	地震勘探的基本程序.....	286	参考文献		336

緒 論

1. 地震勘探的內容

近代，在瑰丽多彩的世界科学宝库里，已经形成一门横跨物理学和地质学的边缘科学——地球物理学，这门科学是运用物理学的原理和方法来研究地球的科学。地球物理学所研究的对象极为广泛。如上达数百公里高空的游离层；下至地壳深处的地震现象；诸如地磁、天电和重力等等，也都属于它的领域。

近几十年来，我们已经将研究地球的各种物理方法用来寻找地下埋藏的有用矿物，或者用来探查岩石在地下的情况，以满足工业建设的需求。于是，就产生了应用地球物理学或地球物理勘探方法。地震勘探是地球物理勘探方法中的一种，它来源于研究地球上地震现象的科学——地震学。

地震勘探的内容为：用人工方法激发地震波（地壳的弹性振动），并且研究它们在地壳内传播的情况，以探查地壳的地质结构。地震波由震源发出后，向各方传播，在岩性不同的分界面上可能发生反射和折射，然后返回地面，引起地面的振动。我们将专门的仪器（地震检波器、地震站等）放置在地面上，记录地震的振动（图1）就可以得出图2所示的地震记录。分析地震记录的特点（传播时间，记录振动的相位、形状和振幅等），就能测定地层的深度和倾角，甚至于还能够测定岩石的成分等。

目前，在地质勘探中，特别是在解决与构造地质有关的问题，如勘探石油天然气构造，煤田及盐岩矿床时，都广泛地采用地震方法。而在地震勘探的实践中，则将反射波法（MOB）和折射波法（MIIB）作为基本方法。有时也使用透过波法，但它只起辅助的作用。

反射波法主要在地面的几个不同点上测定地震波由不同地层分界面上的反射（这种现象所遵循的规律，和几何光学中光反射的规律非常相似）而返回地面的旅行时，根据旅行时与地面各接收点间的位置关系（时距曲线），就可以确定波在介质中的传播速度，以及发生反射的界面形状（图3）。

折射波法的根据是地震波在地层分界面（波在这个界面下面地层中的传播速度 V_2 ，大于波在其上面地层中的传播速度 V_1 ）上发生的折射现象。然而，这里所发生的情况和几何光学中所谓的折射现象不同。不是在分界面上改变了波的投射方向，随后继续穿透到下边地层里去，而是形成内部全反射现象，即地震的射线在界面上与法线成临界角（ $i = \sin^{-1} \frac{V_1}{V_2}$ ）时，射线在下边地层里就以 V_2 速度沿界面滑行。滑行波使界面附近的介质中的质点发生振动，而上下介质是弹性地联系着的，于是，也就使 V_1 介质中的质点发生振动，因而，就有一种波返回地面（图4）。这种波称为首波，或敏普波，或者就称为折射波〔当炮弹或飞机以超音速飞行时，在空气中所引起的弹道声波（图5）就是这种首波〕。如果在首波回到地面时，用仪器记录下它的传播时间，以及它使地面振动的形状，就可以求得形成首波的地层界面深度和形状，以及波沿下面地层表面的传播的速度 V_2 。在许多情况下，根据这个速度 V_2 ，可以确定地层的岩石成分。

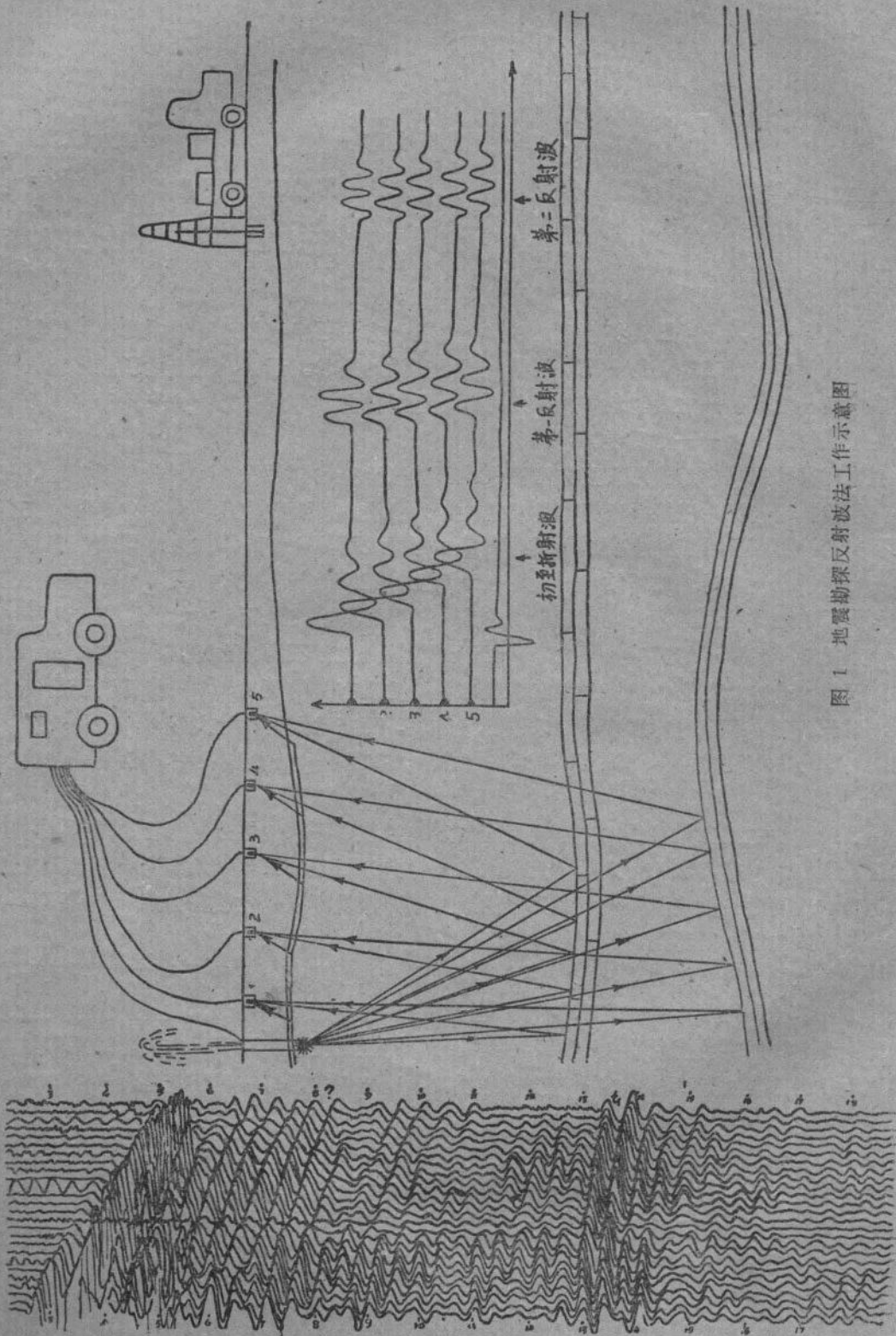


图 1 地震勘探反射波法工作示意图

图 2 地震记录

透过波法是地震勘探中的辅助方法，通常这种方法的振动激发点和接收点与反射波法或折射波法不同，不是在勘探对象的同一边，而是处在地层界面或地质体的两侧(图6)。因此，大多在有钻井时应用。这样所求得波的传播时间，可以测定钻井附近地质体的表面形状，或波在岩石中的传播速度。

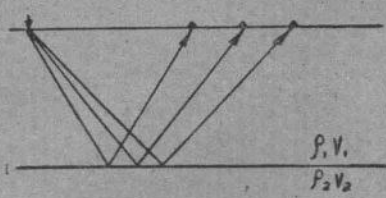


图 3 反射简图

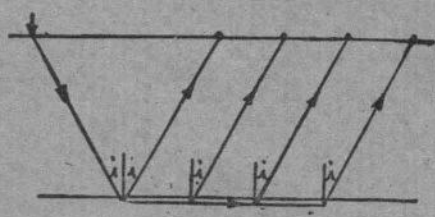


图 4 折射简图 (条件为 $V_2 > V_1$)

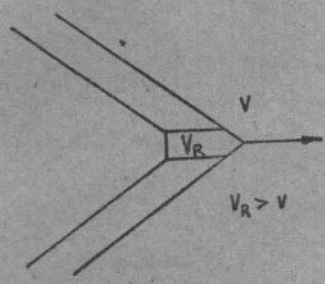


图 5 弹道波

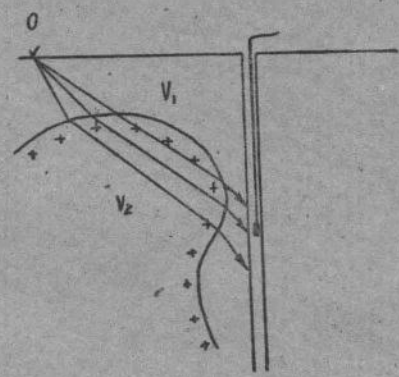


图 6 透过波法简图

根据上述，几种地震勘探方法的效能都不相同，在某些方面，这一种方法无能为力，而另一种方法却可以得到明显的效果。因此在解决地质问题时，就应该使它们互相配合，取长补短以获得最大的效果。

其实，取长补短、互相配合的这种综合应用观点，不仅应该贯穿于各种地震方法之间，还应该在各种地球物理方法中间推广，以求得最确切的地质结论。一般地说，地震勘探方法是地球物理勘探方法中投资最昂贵、工序最繁重的，如果不加选择地滥用，势必会造成巨额资金和大量时间的浪费。同时，过去的经验也已经证明，如果使地震勘探工作与其他地球物理勘探工作，特别是重力、磁力勘探和电法勘探正确地配合起来，会迅速而经济地获得地质成果，解决地质问题。在我国大规模社会主义建设的今天，进行地震勘探工作时，必须考虑到正确地使用各种地球物理勘探方法，并且使它们合理地配合，以在最短的时间内，用最少的资金获得最多而精确程度又最高（结论确切）的地质资料。

2. 地震勘探的发展史

“科学的发生和发展，从开始起，便是生产所决定的”（恩格斯：自然辩证法）。

地震勘探也称为应用地震学，因为它的发生和发展都受到地震学的巨大影响。地震勘探和地震学的基础都是弹性理论，而在地震勘探所使用的仪器和解释方法中，到现在

仍旧保持着地震学所用的仪器和方法的痕迹。

地震是世界上最大、破坏性最大的自然现象之一。过去有许多中外学者记载了许多关于它的描述和传说，其中关于震灾的描写都是极其悲惨的。例如1905年日本东京地震时，发生大火，一昼夜间死于震灾者达五万人；1920年，我国甘肃地震据载死伤达20万人。然而，人们并没有被地震吓倒，相反，多少年来，多少学者都在研究地震现象，并且寻找和地震斗争的方法。我们翻开历史来看，世界上最早的关于地震的记载，约为我国周文王时，而最初的地震研究，则应属我国东汉时的天才学者张衡。



图 7, a 候风地动仪 (王天木拟制)

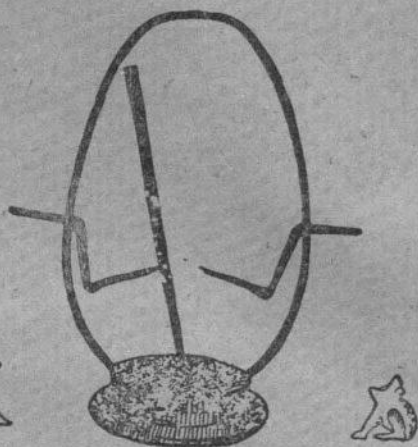


图 7, b 地动仪内部机构纵切面图



图 7, c 张衡像

张衡（公元78—139年）早在一千八百年以前就设计出世界上第一架观测地震的仪器——候风地动仪（图7）。关于这个创造，后汉书张衡传中有这样的描写：

“阳嘉元年（公元132年）复造候风地动仪，以精铜铸成。圆径八尺，合盖隆起，形似酒罍，饰以篆文山龟鸟兽之形。中有都柱，旁形八道，施关发机。外有八龙，首衔铜丸，下有蟾蜍，张口承之。其牙机巧制，皆隐罍中，复盖周密无际。如有地动，罍则振龙，机发吐丸，而蟾蜍衔之，振声激扬，伺者因此查之。虽一龙发机，而七首不动，寻其方向乃知震之所在。验之以事，合契如神，自书典所记，未之有也”。

又說：“尝一龙发机，而地不觉动，京师学者咸怪其无征，后数日驛至，果地震隴西（永和三年，即公元138年），于是皆服其妙”。

从这里可以想像出，候风地动仪不仅是一架可以准确地测定地震方向的科学仪器，而且还是一件精巧美丽的古代艺术结晶。其中所谓的“都柱”，就是现代地震仪中用来

起慣性作用的倒立摆。

但是,用近代科学来研究地震的却是从十八世紀中叶开始。1757年,俄国学者M·B·罗蒙諾索夫发表論文:“論金属生成与地震的关系”中曾經分析过地震发生的現象,并提出地震与造山运动有关的見解。1761年英国学者米查尔发表“論地震的成因及其观测”也是較早期的著名文献。然而,将地震学建立在坚固的科学基础上,却是在廿世紀初叶。那时,资本主义正在大力发展工业生产,世界上出現了一批卓越的地震学家,如俄国B·B·加里清(1862—1916),德国E·魏歌特(1861—1928),日本大森房吉(1868—1923),法国蒙太許德巴洛(1851—1923),意大利墨加里(1850—1914),英国密尔那(1850—1913)等。此时,地震学的发展,無論是理論方面,还是仪器的制造和观测方面,都一时蔚为大观。

許多有远見科学家,都对于通过地震来研究地球内部的情况,抱着莫大的希望,其中如B·B·加里清就曾經非常形象地預言道:

“……可以将地震认为是在一个短暫時間內燃着的灯,它給我們照亮了地球的内部,因而可以看到那里发生了甚么。这盞灯的光綫还很暗淡,但是,无疑地,它将愈来愈明亮,以供我們分析自然界的复杂現象。……”

果然,地震学迅速地发展起来,形成一門强有力的研究地球内部结构的科学。

由于工业发展的需要,在地质学的发展中,逐渐地形成以研究有用矿物矿床和地质构造为目的的地震勘探。

1919年德国学者L·敏儲普开始应用折射波初至法。这种方法是利用第一个返回地面的人工振动的時間来推算勘探对象的位置。在当时的技术条件下,接收地震波的仪器就是天然地震学中所用的W·什維依达尔垂直机械地震仪,数量只有一个,即在地面上一点进行记录。至于折射波的理論研究,特别是折射波的性质及其传播路程的問題,曾經有过很长时间的爭論。直到1938年德国施密特用实验証实折射波的路程确如图4所示,爭論才結束。尽管如此,这种方法却在石油勘探方面获得了很大的成功。特别是在盐丘地区,如苏联的南恩巴、美国的海湾等地,都找到了丰富的油田。

折射波初至法虽然获得了成功,同时也暴露了許多弱点,以致造成地质解释中的錯誤。于是1914年德国学者R·A·費森登开始提出反射波法。应该指出,一直在方法提出后十年內,由于克服了一系列的困难,反射波法方在工业上获得应用。这些困难首先是:反射波不能像折射波那样第一个到达地面上的地震仪。所以,不能像初至法那样只在一点进行记录,而是要在地面相邻的几个点上记录,然后比較记录的某些特点,以識別反射波(相位对比法)。因此,就要求有許多套地震记录仪器同时应用,否則即无法比較记录的特点。此外,由于反射波到达地面时,还有許多其他波也一起到达,我們希望获得的记录却只是反射波,而不是其他种波。所以,在地震仪器中还增添了加强反射波、压制其他波(干扰)的滤波器(根据頻率来进行选择)。

反射波法較折射波初至法有显著的优点。它的发展使仪器、野地工作方法和解释工作都有长足的跃进。近二十年来,絕大多数的地震队都用反射波法工作。目前,大家公认它是詳細勘探石油构造的地球物理方法。

1939年苏联学者Г·A·甘布尔采夫将反射波法的技术应用于折射波法,他和他的学生及同事Ю·B·黎兹尼琴柯、И·C·貝尔宗、H·M·爱比娜其耶娃等发展了初至

法，創造出折射波对比法（KMПB），这种方法仍旧记录折射波，但是在识别波时，不仅利用波的初至，还采用相位对比法，利用波的相位。因此，折射波对比法不仅能记录初至区内的波，而且还能在續至区内（在其他干扰的背景上）追踪波。这样就更加扩大了地震勘探的应用范围。

1946年，苏联女地震勘探家 A·M·爱比娜其耶娃在研究折射波对比法的同时，还曾經討論过反射波法和折射波对比法的联合应用問題。显然，发挥这两种方法的优点，而互相弥补缺点，会使地震勘探的应用获得更大的成果。

近年来，为了顺利地克服野外工作中所遇到的各种困难，地震勘探的野外工作方法得到了长足的发展，其中如地震检波器的组合法、混波器、方位装置、速度滤波器、调节方向接收、磁带记录等都已大量的应用，而地震勘探中所需要的辅助装置，如钻机设备，爆炸通讯装置等也有不断的改善。因此，地震勘探的应用范围也扩展到了各种特殊地区，如两极地地带、海洋、沙漠和冻土地带。

同时，为了提高勘探的精确度，扩大勘探能力，在资料解释工作和各种波型的综合利用方面都作了巨大的研究，在今天地震勘探工作中的自动化已提到研究日程上了。完全可以预料随着生产的发展和科学技术的进步，地震勘探工作将会开辟出新的途径。

苏联为了胜利地建设共产主义社会，在对油气田的勘探中，广泛地采用了地震勘探方法。在此过程中，在地震勘探方面，由院士 Г·А·甘布尔采夫领导，培养了大批地震勘探专家，制造出地震勘探仪器，并且积累了丰富的野外工作经验，因而保证了苏联地震队的不断增长。1958年 A·B·卡文指出：

苏联地震队的增长情况

队 数 \ 时 期	1940年	1950年	1954年	1955年	1956年	1957年
勘探队数	77	286	436	429	576	644
地震队数	23	118	237	247	321	330

在整个地球物理勘探队中，地震队占54%强。地震勘探的地质效果极高，许多地区（如南恩巴）钻井的主要依据就是地震勘探资料。

应该指出，社会主义苏联利用自己获得的科学技术成就，无私地援助了各个兄弟国家，为各国培养了自己的技术干部，并协助解决仪器制造问题，使各国有条件独立地发展科学技术。目前，我国、匈牙利、保加利亚和罗马尼亚都已经建立起自己的地震队，进行了本国的仪器制造工作，并且出产地震勘探仪器。

在资本主义世界中，情况恰恰相反，根据美国地球物理杂志，1956年所发表的统计图（图8）。

如果我们把美帝国主义发动侵略朝鲜的时间和被迫进行停战谈判的时间注到这张统计表上，则可以很明显地看出来：美国地震勘探工作的发展是与战争密切相关的。另外，美国地震队的数量相当庞大，而分布地区也极为广泛，如南美、欧洲、中东和非洲，但是，这更表现出美国石油公司是通过对地震勘探的垄断以控制石油资源的开发，并向中东、欧、美各国掠夺石油。

地震勘探在我国的发展是在解放以后，1951年中国第一个地震队诞生，这个地震队

最初在江苏江阴附近，后来在陕北延长工作。这几年来，地震勘探已经发展成为一个蔚然可观的队伍，地震队的足迹已经分布于全国。应用地震勘探所要解决的问题范围，除石油矿床外，还应用于煤田、金属矿床和工程地质。我国地震勘探工作已经为生产工作解决了许多重大地质问题，总结创造了适合国情的工作方法和经验，并且更针对我国自然地理条件的复杂性进行新型仪器的设计和试制，都已取得成效。

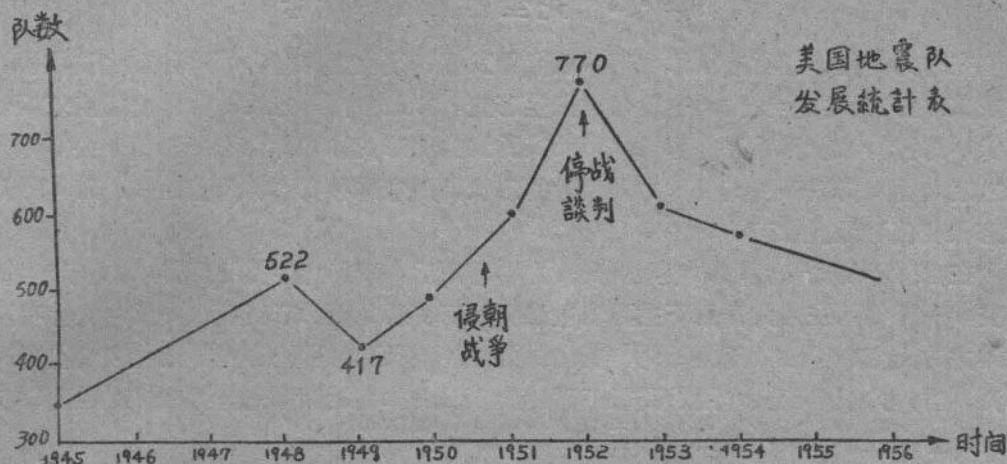


图 8

总之，地震勘探的发展和其它科学一样取决于生产需要、科学水平和社会制度。目前，在我国社会主义制度下，随着对勘探开采工业矿产的迫切需要，对地震勘探提出了繁重的任务。另一方面又随着各方面技术水平和理论水平的提高，使地震勘探的发展极为显著，扩大了它的应用范围和解决问题的能力，使它为社会主义建设事业起更大的作用。

第一部份 地震勘探的物理基础和地质基础

第一章 弹性体和弹性波的基本概念

§ 1.1 完全弹性体的概念

在外力作用下，所有物体内部的质点都发生相互位置的变化，这种变化使物体的形状或其部份形状发生变化，也就是说发生形变。如果去掉外力后，物体立即恢复原来的形状，这种物体就称为完全弹性体，而其所发生的形变称为弹性形变。如果去掉外力作用之后，物体仍旧保持其受外力作用时的形状，那末这种物体称为塑性体，而其所发生的形状变化称为塑性形变。

在自然界的大多数物体中，受到外力的作用后，既能产生弹性形变，也能产生塑性形变。一个物体在外力作用下主要表现出弹性形变还是塑性形变，取决于它的物理性质与外力的大小和特性（延长时间、变化快慢等），以及它所处的外界条件（温度、压力等）。当外力很小而且作用时间很短时，大部份物体都近似于完全弹性体的性质。反之在作用力大且作用时间很长时，所有物体都表现出塑性体的性质。

上述情况完全适合于岩石。因此在一定条件下就能把岩石当成完全弹性体来研究。在远离震源（爆炸、敲击）的介质范围内，瞬时作用力将变得很小，此时就可以将地质介质作为完全弹性介质来研究。因此，研究波在地质介质中的传播过程时，详细了解弹性理论中所讨论的完全弹性体的性质是极为必要的，同时，这样也简化了对介质中波动现象的讨论。但是，必须记住，在震源附近的真实介质与完全弹性体不同，所以在弹性理论中导出的结论就不能应用于震源附近。而且，还应当考虑到某些岩石（干砂、砂土等）在性质上实际与完全弹性体不同，这又限制了弹性理论的应用。

在研究弹性理论时，将物体的性质分为各向同性和各向异性两种。弹性性质与空间方向有一定关系的介质称为各向异性介质。矿物的晶体构造表现出明显的各向异性。但由于组成岩石的矿物晶体往往是杂乱无章的排列，所以，总的来看，岩石就不显出各向异性的性质。有时，在沉积岩中很小厚度的地层规则地更替，结果也会使地层反映出各向异性的性质。但是对于这个问题的专门研究表示出：虽然有这种各向异性性质存在，但是只要它不是显著地表现出来，则可以将岩石作为各向同性的弹性体来研究。

§ 1.2 应变（形变）与应力

1) 应变：研究弹性体的形变时，通常都是从均匀的弹性体中取出一个很小的平行六面体来进行分析。这样，就可以把形变分为两种基本形式。第一种情况是因作用力的影响而改变了六面体的体积，但它的形状（各边夹角）却保持不变，这种形变称为体积形变或体变（图1.1, a）。另一种情况正好相反，受外力作用时，六面体的体积不变，而它的形状（各边夹角）却发生变化（图1.1, b），这种形变称为形状形变或切变。

在弹性理论中证明，弹性介质中任何形变都永远可以看成同时发生两种形变（体变、切变）复合的结果。于是对各种复杂形变的研究都可归结为两种最基本的形变来研究。

我們进一步討論每一种形变的具体形式：

A) 假定只有体变的情况。

如图1·2所示，先研究形变体某一边的伸长或縮短的关系。

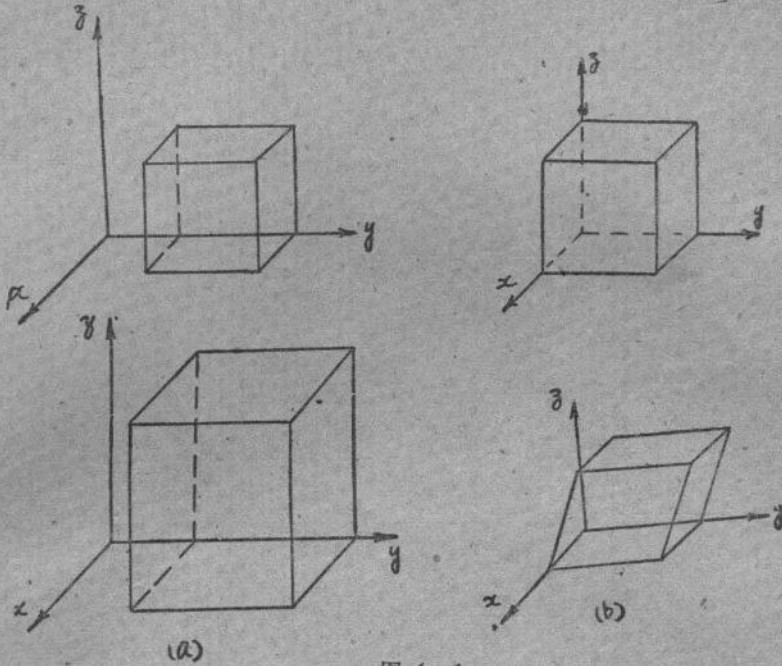


图 1·1

a—体变；b—切变

設边长两 endpoints (A、D) 原坐标为 $(x, x+\Delta x)$ ，当形变后两 endpoints 发生位移为 $(u, u+\Delta u)$ ，则两点間形变后的相对距离将变为 $(\Delta x+\Delta u)$ 。如果认为各点位移对端点 A 的位移变化率为綫性的，则另一端点的位移增量可写成：

$$\Delta u = \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x$$

同样可以决定其它各边的位移增量为：

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y, \quad \Delta w = \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z$$

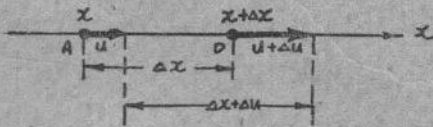


图 1·2

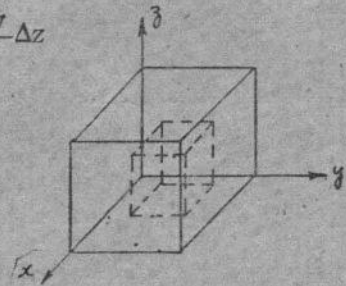


图 1·3

由此可见，在发生体变时决定其质点間相对变化的因素为：

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1.1)$$

它們能分別表示每邊的綫应变情况。从綫应变出发进一步研究体变的結果，可以决定形变后的体积为：

$$\begin{aligned} v' &= (\Delta x + \Delta u)(\Delta y + \Delta v)(\Delta z + \Delta w) \\ &= \Delta x \Delta y \Delta z \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \left(1 + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

展开上式，并略去高次項得：

$$v' = \Delta x \Delta y \Delta z \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

这样和原体积 $v = \Delta x \Delta y \Delta z$ 相比；其相对变化为：

$$\theta = \frac{v' - v}{v} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1.2)$$

θ 值称为体变系数。

B) 假如只有切变的情况

和上面一样，我們可以研究某一截面中的形变状态，如图 1.4 所示，以 u, v, w 表示质点的位移分量，則两边端点 (B、D) 在切变后所发生的位移分别为 $\frac{\partial u}{\partial x} \Delta x$ 和 $\frac{\partial w}{\partial x} \Delta x$ 。这样从几何上就可以决定两边夹角的变化大小，它近似等于：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{\partial w}{\partial x} \Delta x}{\Delta x} = \frac{\partial w}{\partial x} \doteq \alpha。$$

同样

$$\beta \doteq \frac{\partial u}{\partial z}。$$

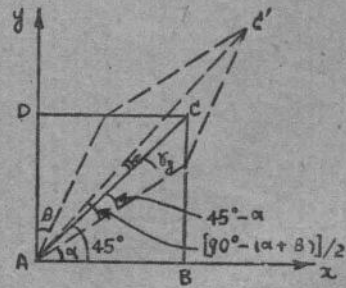
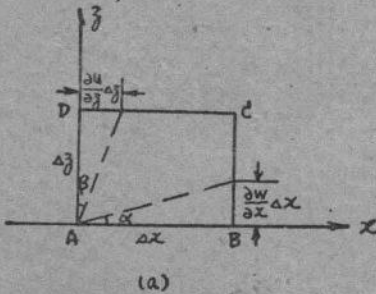


图 1.4

所以，整个夹角的变化，可以写成：

$$\tau_{xz} = \alpha + \beta = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_{zx}$$

同理对于其它截面所得出的夹角变化分别为：

$$\left. \begin{aligned} \tau_{yx} = \tau_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \tau_{zy} = \tau_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \tau_{xz} = \tau_{zx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1.3a)$$