

江苏省煤田地质物测队
湖南省煤田地质物测队

合 编

煤田地震勘探

煤炭工业出版社

煤 田 地 震 勘 探

江苏省煤田地质物测队
湖南省煤田地质物测队 合编

煤炭工业出版社

煤田地震勘探

江苏省煤田地质物测队合编
湖南省煤田地质物测队

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $6^{15/16}$

字数148千字 印数1—7,700

1977年5月第1版 1977年5月第1次印刷

书号 15035·2093 定价0.56元

前 言

煤是工业的粮食。在国民经济建设中有着极为重要的作用。

我国地大物博，煤炭资源极为丰富。解放后在党中央和毛主席的英明领导下，煤田地质勘探事业蓬勃发展，地球物理勘探方法得到了广泛应用。地震勘探法就是其中的一种。

煤田地震勘探是利用人工激发的地震波在地层中的传播规律来研究地下的地质构造，达到找煤和勘探煤田的目的。这种方法成本低，效率高，效果好，近年来发展十分迅速。尤其在隐伏煤田的普查勘探中，地震法更是一种不可缺少的方法。

经过无产阶级文化大革命的战斗洗礼，煤田地震勘探战线上的广大职工，在毛主席革命路线的指引下，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，以大庆为榜样，发扬了独立自主，自力更生的革命精神，设计和制造了适合我国煤田地质勘探特点的磁带地震仪和基地回放仪。现在正在研制数字磁带地震仪和应用数字电子计算机等。

为了适应煤田地震勘探技术的发展，满足广大职工学习技术业务知识的需要，遵照毛主席关于“要认真总结经验”的教导，我们编写了《煤田地震勘探》这本书。书中主要介绍了地震勘探的基本原理，野外工作方法，资料处理及解释方法，地震勘探的应用效果和仪器等。它是具有初中文化程度的工人、勘探队、物测队的领导干部和初搞煤田地震勘探

工作人员的入门读物，也可供地质人员参考。

为了便于学习，书中尽量避免数学推导，力求定性地说明物理概念。某些数学内容一般只写出简单过程和结论公式。

由于我们政治思想和业务水平不高，对日益发展的煤田地震勘探技术掌握和了解不够，书中难免出现缺点和错误，恳请读者批评指正。

编者1975.10

目 录

概 述	1
第一章 地震波的形成与传播	4
第一节 地震波的形成	4
第二节 地震波的描述	6
第三节 地震波的传播	9
第四节 地震波的反射、透射和折射	11
第二章 时距曲线及地震勘探方法的应用特点	15
第一节 时距曲线和视速度	15
第二节 反射波的时距曲线	17
第三节 折射波的时距曲线	20
第四节 地震勘探的地质前提和应用特点	25
第三章 野外磁带地震仪	28
第一节 仪器的组成	29
第二节 爆炸机、检波器和记录系统	32
第三节 回放系统	38
第四节 模拟磁带地震仪的特点	40
第五节 正常性检查和道一致性	41
第四章 激发、接收条件和观测系统的选择	43
第一节 生产前的试验工作	43
第二节 有效波与干扰波	45
第三节 激发条件的选择	51
第四节 接收条件的选择	55
第五节 观测系统的选择	61
第五章 地震勘探的野外生产工作	68

I

第一节	踏勘工作与测线的布置	68
第二节	测量工作	71
第三节	钻井工作	72
第四节	爆炸工作	74
第五节	放线及检波器的埋置工作	75
第六节	仪器站的工作	78
第六章	回放仪与地震资料的处理	85
第一节	回放仪的作用和组成	85
第二节	一般回放	89
第三节	静态和动态校正	90
第四节	时间剖面与反序回放	99
第五节	组合	103
第六节	多次迭加	105
第七节	延迟滤波	107
第七章	反射波法资料解释	111
第一节	反射地震记录	111
第二节	反射波的对比	112
第三节	在地震记录上怎样识别断层、 不整合等地质现象	118
第四节	平均速度的测定和有效速度的计算	125
第五节	地震剖面图的绘制及地质解释	133
第六节	构造图的绘制与解释	139
第八章	折射波法资料解释	143
第一节	折射地震记录与折射波的对比	143
第二节	几种地质现象在记录上的反映	146
第三节	时距曲线的绘制	150
第四节	折射剖面的绘制与解释	152
第五节	折射成果平面图	158
第九章	煤田地震勘探的应用实例	161

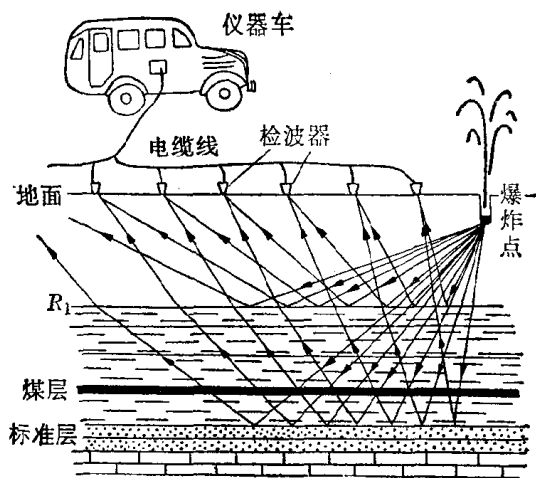
第一节	用折射波法寻找隐蔽煤田的实例	161
第二节	反射波法在煤田勘探阶段中的应用	165
第三节	综合勘探是实现多快好省地 勘探煤田的有效方法	168
第十章	共反射点多次迭加法	173
第一节	基本原理	173
第二节	观测系统	177
第三节	回放处理	181
第四节	共反射点多次迭加法的应用实例	183
第十一章	煤田地震勘探的发展方向	189
第一节	地震仪器数字化	189
第二节	地震资料的数字处理	197
第三节	矿井地震勘探	204
第四节	发展中的煤田地震勘探	209

概 述

地震是一种严重的自然灾害。它是由地壳内部的振动传到地表而形成的。振动在地下的传播过程叫地震波。人们在长期与地震灾害的斗争中，逐步摸索到了地震波的传播规律，并能比较准确地确定震源的位置，地震的级别和进行地震预报等工作。在研究自然地震的过程中，人们还发现，根据地震波的传播规律，也可以在地面上用人工方法产生振动，记录和研究地震波在地下的传播特点，借以了解地下各种介质的性质和存在位置，达到寻找矿藏资源之目的，这就是地震勘探。说到这里人们自然会问，究竟怎样用地震法进行煤田勘探呢？

为了回答这个问题，首先看一个常见的自然现象。当一个人在山谷中呼喊时，过一会儿就会听到回声，这是声波碰到山壁而发生的反射现象。如果我们能够测得从呼喊到听到回声的时间 t ，并知道声波在空气中的传播速度(V)为340米/秒，那末根据距离 $S = \frac{1}{2}Vt$ 之公式，就能够计算出这个人到山壁之间的距离(S)。

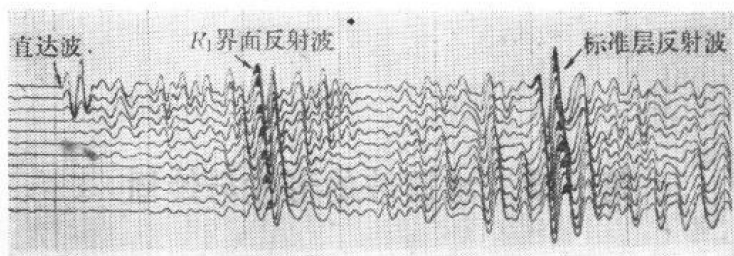
如果在地面上我们用炸药爆炸引起振动（相当于人的呼喊），这种振动在向地下深处传播时形成地震波（相当于声波）。在地震波的传播过程中，当遇到不同的地层分界面时（相当于声波碰到山壁），就会发生反射而返回到地面（相当于人听到回声）。若用图一所示的办法，沿测线埋置若干



图一 反射波法地震勘探示意图

检波器(一种振动接收器), 并用电缆线把检波器和地震仪器连接起来, 就能把地震波的波形特点和返回地面的时间记录下来, 得到图二所示的地震记录。当知道地震波在岩石中的传播速度 V 时, 根据 $h = \frac{1}{2}Vt$ 计算反射界面的埋藏深度, 从而推断地下的地质情况。但是, 由于煤层的相对厚度很小(与整个地层相比), 尚不能产生明显的反射波, 于是还不能用这个方法直接找到煤层的位置。然而, 在长期的生产实践中, 人们认识到煤总是贮藏在一定的地层内, 并把这个含煤的地层称为煤系地层。根据我国各个时代煤层的形成规律, 煤层与附近一些岩石分界面的距离是相对稳定的, 这样就可以根据地震法探明的反射界面的构造情况, 利用钻探资料中煤层与地震反射界面之间的距离关系, 推算出煤层埋藏在地下的实际位置。

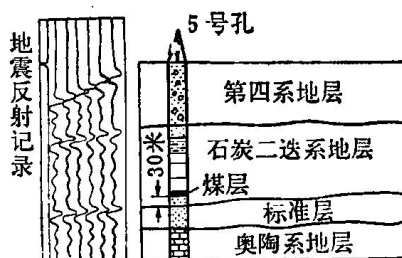
图三是一张示意图。从图中可以看出, 钻探资料所揭示的主要煤层深度与地震法所探测的标准层的顶面深度相距



图二 反射波地震记录

30米，因此只要我们探明了施工区内各处标准层顶面的深度，就可以推算出煤层在地下的位置、埋藏深度和构造形态。

从上面的介绍可以看出，地震勘探是一种间接找煤的方法，好象医生诊断病情一样，首先用听诊



图三 地震资料与钻探资料对比示意图

器给病人检查，然后根据检查了解到的情况，通过分析，确定病情，对症下药。在有利的条件下，利用地震法来研究地质情况还是比较准确的，尤其当地震法与钻探相配合时，地震资料能够把钻孔与钻孔之间，勘探线与勘探线之间的地质构造关系联系起来，详细地圈定煤田分布范围，为煤矿建设提供地质资料。

上面简单地介绍了地震勘探是怎么回事。要具体应用地震勘探来研究地质情况，寻找煤炭资源，尚有很多问题需要解决，譬如：地震波究竟是怎样产生的？用什么方法把地震波记录下来？为什么根据地震记录就能够知道地下的地质情况？等等。下面我们就来研究这些问题。

第一章 地震波的形成与传播

地震法是地球物理勘探方法中的一种。要弄清楚怎样去进行地震勘探，必须首先了解地震波的形成，地震波在地下的传播规律，反射波和折射波与地层界面的关系等。只要掌握了这些基本知识，才能更深地理解地震勘探是怎么回事，为进一步研究和应用地震勘探打下基础。

第一节 地震波的形成

波是一种常见的现象，如投一石子于平静的水中，立即可以看到水波。但波究竟是一种什么东西呢？让我们来分析一下水波和声波的形成过程。当石子落水时，水的质点由于石子的撞击产生振动，这种振动借助于水中质点间的弹性联系沿着水表面由近及远地向外传播出去，形成了一浪接一浪的水波。又如敲锣时，因锣面的振动带动它周围空气的振动，这种振动通过空气向外传播出去而形成了声波。因此，弹性波就是振动在介质中的传播过程。

从上面的分析可以看出，弹性波的形成需要两个条件：1)有震源；2)有传播振动的弹性介质。没有震源就谈不上振动的传播，没有传播振动的弹性介质就形成不了波。

在地震勘探中，炸药爆炸的一瞬间有一股力作用于周围的岩石。这个力是随时间而变化的，称它为脉冲力。它从震源向外传递时随距离而衰减。岩石在这时间很短的脉冲力的

作用下，引起弹性形变，产生振动，并延续一个短暂时间才停止下来。由于岩石各部分之间存在弹性联系，所以岩石这一部分的振动引起了它周围各部分岩石质点的振动，这样由近及远地扩展出去而形成了地震波。地震波是爆炸产生的振动在岩石中的传播过程，它是一种弹性波。这种弹性波在传播的过程中，仅仅是把“振动”这种运动形式向外传播，而岩石质点本身并不往外运动。

根据岩石质点的振动方向与振动的传播方向的不同关系，地震波分成纵波和横波。若质点的振动方向与振动的传播方向一致，便称为纵波（见图 1-a），用符号 P 表示；若质点的振动方向与振动的传播方向垂直，就称为横波（见图 1-1b），用符号 S 表示。此外，在地表附近还可以形成面波。

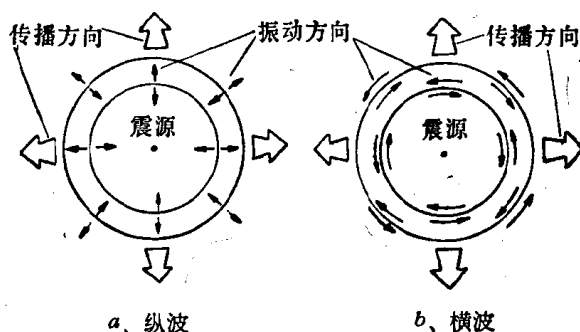


图 1-1 纵波和横波

由炸药爆炸所产生的地震波中，纵波的强度要比横波、面波的强度大得多，而且传播速度快（近似为横波的1.73倍），因此目前地震勘探主要利用纵波而很少利用横波。但在矿井地震勘探中，近年来已开始研究利用横波来解决矿井地质构造问题。

第二节 地震波的描述

一、波形图

上面说了质点的振动，那末它的振动图形又是怎样呢？图 1-2 中的横坐标为时间 t ，纵坐标为质点的位移 U ，曲线表示岩石中的某一质点在爆炸以后，从 t_0 时刻开始离开平衡位置上下振动，经过 Δt 时间以后，波传播过去，质点才静止了下来。 Δt 称为振动的延续时间。

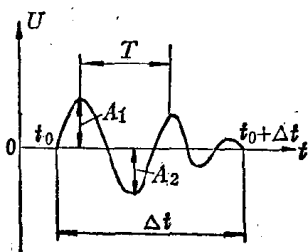


图 1-2 振动波形图

在波形图上，质点开始振动的时间 t_0 称为波的初至。相邻极大点（或极小点）之间的时间间隔称为视周期，用 T 表示，单位为秒。视周期的倒数 $\frac{1}{T}$ ，称为视频率，用 f 表示，

单位为赫兹。离开平衡位置的极值称为视振幅，用 A 表示，单位为毫米。视振幅越大，表示振动的能量越强。

在地震勘探时，我们在地面上按一定间距埋置若干检波器，并用电缆线将它们连接到地震仪上，就可以记录到各道检波器所接收到的地震波。各道地震波形图的总和便构成了如图 2 所示的地震记录。

在地震记录上，振动波形图所表现出来的视振幅，视周期，振动延续时间等都由地震波的特点所确定。对于同一地震界面返回来的地震波，在彼此相距很近的地段上，其振动图形是基本相似的，只是由于所走路程长短的不同，到达时间有先有后，而且还因为波动范围的不断扩大，波的能量不

断扩散，以及介质对能量的吸收损失，所以振幅将有规律地衰减。对于不同地震界面的地震波由于岩性的差异，反映在记录上的波形特点有所不同。在实际工作中，我们比较相邻检波点所记录到的地震波的形状，分析视振幅，视周期，延续时间等特点，就可以区分由不同地震分界面返回地面的地震波。

二、波剖面

波形图反映了地震波在传播过程中某一质点随时间的振动情况。下面再来看一下地震波在传播过程中，某一时刻质点振动随距离变化的情况。

假设地下为均匀介质，在 o 点爆炸后，地震波从爆炸时刻开始自震源 o 向各个方向传播（见图 1-3）。在传播过程中，岩石介质尚

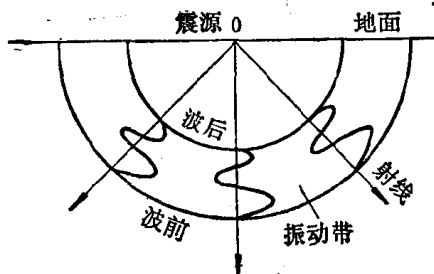


图 1-3

未开始振动的质点与正在振动的质点间的界线，称为波前，它表示某一时刻地震波传播的最前位置。正在振动中的质点与振动后已经静止下来的质点间的界限称为波后（也叫波尾）。在波前以外的质点振动尚未开始，而在波后以外的质点振动已经停止，只有波前和波后所包围的区域内，岩石质点才处于振动状态，称为振动带。

和波形图一样，波剖面也用曲线来表示。图 1-4 中，横座标为质点与震源的距离 x ，纵座标为质点的位移 U ；曲线表示某一时刻 t 在测线上的各个质点因振动离开平衡位置的距离。在 a 、 b 、 c 、 d 、 e 各点位移为零，其它点的位移大小

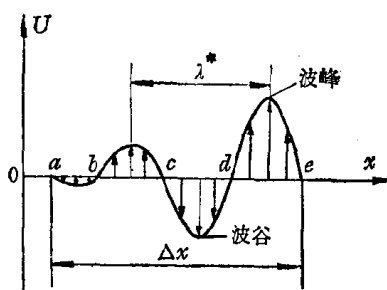


图 1-4 波剖面

由箭头所示。这就是波剖面。

在波剖面中，离开平衡位置向上的最大距离叫波峰；向下的最大距离叫波谷。两个相邻波峰（或波谷）之间的距离叫视波长，用 λ^* 表示。它表示波在一个视周期里沿测线方向所传播的距离，其关系为 $\lambda^* = V^*T$ （ V^* 为视速度， V^* 的意义请参见第二章第一节， T 为视周期）。

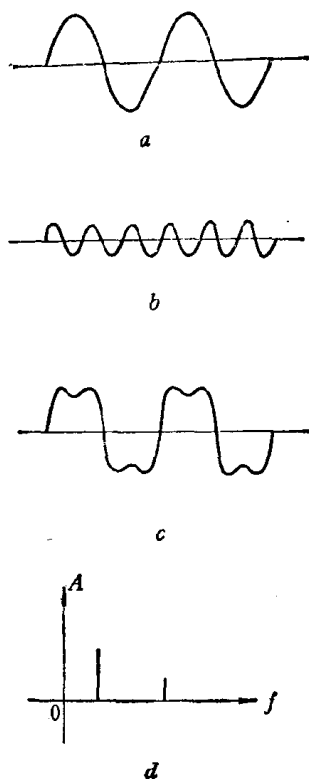


图 1-5 波的合成

三、地震波的频谱

如图 1-5 所示， a 和 b 为两个不同频率、不同相位、不同振幅的正弦振动。如果把这两个振动相加就可以得到图 c 所示的复杂振动。换句话说，一个复杂的振动是由两个以上的不同频率的分振动所合成，这些分振动之间有不同的相位和不同的振幅。若把各个分振动的频率与振幅的关系用图 d 的形式表示出来，就是振幅谱，往往也称它为频谱。

同样，地震波的波形也可看作是许许多多正弦振动的合

成。如果把这些不同频率所对应的不同振幅用包线 P 连接起来（见图1-6），就组成了地震波的频谱。

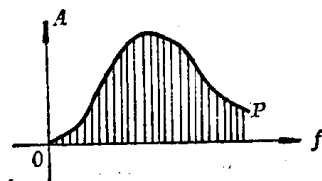


图 1-6 频谱

研究地震波频谱的变化情况，可以指导正确地选择施工

方法，提高记录质量。同 1-7 是野外获得的试验资料，反、折射波的能量主要分布在频率为40~80赫兹的范围内；面波的能量分布在频率为10~30赫兹的范围内；交流电干扰的能量分布在频率为50赫兹附近；微震干扰能量分布的频率范围较宽；声波的能量分布在频率为100赫兹以上的较高部分。这样，我们可以在仪器里设置一个滤波器，只接收频率在40~80赫兹范围内的反、折射波，而把其它频率的波滤掉，其结果必然是在记录上突出了反、折射波，压制了其它类型的干扰波。

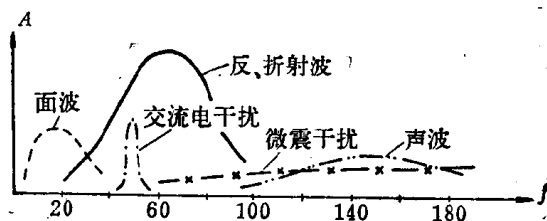


图 1-7 几种波的频谱

第三节 地震波的传播

假设地下岩层是均匀的，当炸药爆炸以后，岩石质点受力而发生振动，并向四面八方传播出去。为了进一步说明这种传播过程，先来观察一个常见的现象。如图 1-8 所示，有