

地下水勘查中的地震勘探技术

彭 成 杨 桂 新

(中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所)

杨 澍

(中国地质调查局)

1 地震勘探的基本原理

地震勘探是应用弹性波原理研究地质构造,地层层序和岩性的地球物理方法。地震技术对地表以下有弹性差异的成层性好的地质体可以达到高精度,高分辨力的勘探效果。高精度和高分辨力的获得,是由于在经过地球内部结构的调制作用以后,所有能够观测到的波当中,地震波有着最短的波长。地震波与其它地球物理的可观测量相比较,它经受的波形畸变最少,振幅衰减最小。因此,地震技术独有的特性可以为我们提供地球内部结构当前状态的唯一资料。根据弹性波理论,在人工地震的外力作用下,作为弹性物体的岩石地层发生体积和形状两种形变,并以地震波的形式向外传递。这两种形变的传递反映了纵波和横波两种不同性质的波的传播。纵波传播的是体积形变,横波传播的是形状形变。纵波勘探主要应用在调查地质构造,研究地层层序,划分地层岩性的工作。横波勘探主要应用在工程地质勘查,利用其分辨率高的特点进行第四系松散层分层,研究地层结构变化。

基于地震波的动力学和运动学特点,按照所研究的地质问题和地震波的不同性质,构成了反射波,折射波,透射波的地震勘探方法。地震勘探中纵波反射波法多次覆盖技术是应用最广的勘探方法。这种方法的观测原理根据野外数据采集方式,资料处理和解释方法,分为二维勘探和三维勘探。

二维地震勘探是剖面式勘探。野外数据采集观测时,在探区内设计的测线上,布置能够覆盖整条测线的等间距线性排列的激发点(炮点)。非炸药震源一般不用钻孔。地震每放一炮都要在炮点附近沿测线方向等间距地安插一定数量的地震检波器,检波器的数量由地震仪设置的记录道数确定。浅层地震仪一般是24道,目前世界最先进的地震仪是24位模/数转换,高保真的,高信噪比的,高分辨率的,全信息接收的遥控遥测地震数据采集系统。它可以真实地记录地下地质体的地震波动过程,真实地显示地质体的形态变化。这类仪器可配置数千道

检波器。按检波器点组成地震接收排列。炮点与接收排列组成固定的相对关系构成二维地震观测系统。常规工作按单端放炮，共炮点记录，多次覆盖方式进行。每放一炮，从震源投射到地层分界面上的反射波由检波器接收并转换成电信号，传输到地震仪放大滤波及模/数转换后记录在磁带或磁盘上。同时可显示或打印一张地震记录，以便观察记录质量。每放一炮炮点和接收排列同时沿测线前进方向移动一个炮点距离再放下一炮。按此方式得到一系列单炮资料而完成野外观测任务。

三维地震勘探是高密度的面积勘探，是三维立体成象勘查技术。野外数据采集观测时，在探区内设计选定的面积范围布置互相垂直的炮点排列和检波点接收排列。按观测系统的不同类型布置不同炮点距，不同炮点线距，不同炮数的炮点排列线。接收排列按观测系统的类型采用不同的布线方案。三维观测系统分规则型，不规则型和特殊型。常规工作一般采用规则型。观测时，炮点排列与接收排列组成一个基本观测网。一排炮点线逐炮激发后，炮点排列和接收排列同时沿前进方向移动一个纵向覆盖次数所定的距离。这样就完成一次基本观测网如同二维观测时完成一炮的情况。如此进行一系列炮点线的激发接收工作，直到完成纵测线方向的观测，再向与纵线垂直的横测线方向移动炮点排列和检波点接收排列线到规定的位置，重复纵向观测时激发接收工作。如此这样直到在设计的勘探面积上按规定的观测方案全部观测完为止。获得一系列覆盖探区面积的基本观测网原始资料，完成野外观测任务。

地震勘探分三个阶段，第一阶段是野外数据采集，包括测线（网）的布置，观测系统的设计和测区地形测量。第二阶段是原始数据处理。按照地震波传播的规律及不同地质条件下工作技术方法的特殊性，对原始数据进行一系列加工处理，提取速度，频率等参数，绘制反映地质构造，地层和岩性特征的地震时间剖面。第三阶段是地震时间剖面的地质解释。时间剖面上划分的地震界面及形态变化反映了不同类型的地质现象。应用地质学和地震学的原理，综合地质，钻井和其它物探资料，对时间剖面上的反射波信息分析对比，研究构造类型及发育情况，划分地层，解释层间接触关系，绘制相关的解释图件，作出对地下地质现象特征和地层界面变化真实情况的解释结论。

2. 地震勘探在地下水勘查中的应用

地震技术在解决宏观地层结构方面具有其它物探方法无法比拟的优势。在地下水勘查中，为水文地质提供地质构造，地层划分和岩性对比方面的资料。在地震数据处理中，通过速度反演，以及储层结构的研究，可以预测饱和含水砂岩

地层的孔隙度；分析基岩裂隙的富水性。运用恢复反射波真振幅，压缩振动延续时间，扩展反射波频带宽度以及亮点技术等软件处理程序，为划分地层和含水层，查明其空间形态提供了数据处理的技术支持。

应用纵波反射波方法，以二维或三维的观测技术，从地震波的动力学和运动学方面研究反映地质现象复杂变化和含水地层介质的波场信息，得到地下含水地层和基岩裂隙富水区域对地震波动的响应而形成的特征标志。

2.1. 水平反射及亮点显示

水界面总是水平的。在倾斜地层的地震剖面上，水体界面与其接触的上，下反射层往往形成不整合的水平层出现，称为平点。水的密度是 1g/cm^3 左右，地震波速是 1490m/s 。波速与密度的乘积称为波阻抗。形成地震反射的物理条件是相邻地层介质存在反映弹性差异的波阻抗面。而反射波振幅能量与反射系数大小成正比。一般地层分界面的反射系数比较小，大多在 0.1 以下，在地震剖面上显示较弱的振幅能量。含水地层的顶、底界面与围岩分界面是一个波阻抗面，反射系数比较大，超过一般反射界面的反射系数。因此极易形成反射振幅很强的点，称为亮点。这种亮点一般呈水平的强反射段出现在地震剖面上。在地下水勘查中的平点反射和亮点显示是地震方法解释地层或基岩裂隙含水性的重要预测标志。

2.2. 速度变化

速度在地震勘探中是一个与波的运动学有关的重要参数。不同时代、不同岩性的成层性可以由不同速度层的物理模型来对应。因此，不同岩性的速度是作为重要参数把地质模型和物理模型联系起来。层速度可以用来判断流体成份的变化或沉积岩相变特征。第四系冲洪积扇内的不同速度层往往是划分含水层的主要依据。

孔隙度是影响速度的基本因素。孔隙度与波的传播速度成反比。地震波在含水砂岩体中的传播速度要低于不含水砂岩中的传播速度。如果砂岩的孔隙内由饱和水充填，则含水砂岩体与其上覆下伏围岩之间形成良好的分界面。这个分界面上下岩体既存在密度差异，也存在速度差异。按地震勘探理论来讲，这种良好的分界面一定是具有较大反射系数的波阻抗面，因此必然会形成能量很强的地震反射界面。在基岩裂隙型地下水中也会有类似的显示。由于速度的影响，在含水层上下界面之间还会发生全反射现象。

3. 地下水勘查中地震勘探典型实例

根据地震波动对含水地层以及基岩裂隙中富水区域的扰动而形成的特征标

志，研究地震方法在地下水勘查中的应用效果。以下结合具体实例说明地震技术进入找水领域取得的成果，以及综合物探找水对地下水勘查技术的发展所起的推动作用。

3.1 罗布泊硫酸钾加工供水地震勘探及核磁共振勘测

罗布泊钾盐矿是一个以液体钾矿为主，并伴生有多种矿产的大型 - 超大型液体钾盐矿床。为了开发利用钾盐资源，罗布泊钾盐开发公司在罗布泊北侧组织开展供水水文地质勘察工作，以解决钾盐开发所需的生产，生活用水。地震勘探的任务是在工作区域内布置 A, B, C, D, E, F 六条勘测线，目的是查明对地下水形成及分布具有重要意义的区域断裂的产状，破碎带和断裂影响带的宽度。在地震成果资料地质解释的基础上，预测有富存地下水希望的位置，作为核磁共振系统的勘测点。核磁共振的成果资料最终确定地下水的富存情况，为开采水井的部署提供依据。本区的区域断裂属于岩石圈断裂。沿断裂带有元古带期，加里东期，华力西期的岩浆侵入，是一个火成岩体极为发育的地区。地震勘探采用纵波反射波方法，多次覆盖的叠加技术，对六条测线进行详细勘探。野外采集的原始数据资料经计算机处理后输出的地震时间剖面清晰地显示了区域断裂的位置，破碎带和断裂影响带也反影明显。通过对各条剖面的对比解释，分别在 B 测线的 230 号点，D 测线的 60 号点，E 测线的 110 号点，各布置一个核磁共振勘测点。布核磁共振点的依据是在断裂破碎带和影响带范围内，追踪裂隙中的地下水可能显示地震水平反射的平点标志。经对比分析，认为这三个位置水平反射的平点标志比较明显，有赋存地下水的希望。（见图 1）核磁共振的三个测点均采用边长为 75m 的方形线圈测量，探测体积可近似为以深 100 m，直径 200 m 的圆柱表示。研究三张勘测结果图可以看出三个测点均有地下水显示（见图 2）。其中 B 测线 230 号点的地下 1 - 10 m 和 31.9 - 56.7 m 位置是含水层。D 测线 60 号点的地下 10 - 17m 和 31.9 - 56.7m 位置是含水层。E 测线 110 号点的地下 0 - 6m 和 42.5 - 100 m 位置是含水层。比较三个测点的勘测结果，认为 D 测线的 60 号点位置最具开采价值，钻孔深度以 100 m 为宜。其余两测点仍具有一定的开采价值。经水文地质与地震和核磁共振 成果资料的综合分析研究，选定 D 测线 60 号点布水文钻孔。在孔深 50m 时水量为 $35\text{m}^3/\text{h}$ ，已满足了钾盐开发的需求。这项工作展示了地震用水平 反射的平点标志与核磁共振技术勘查地下水的应用效果。

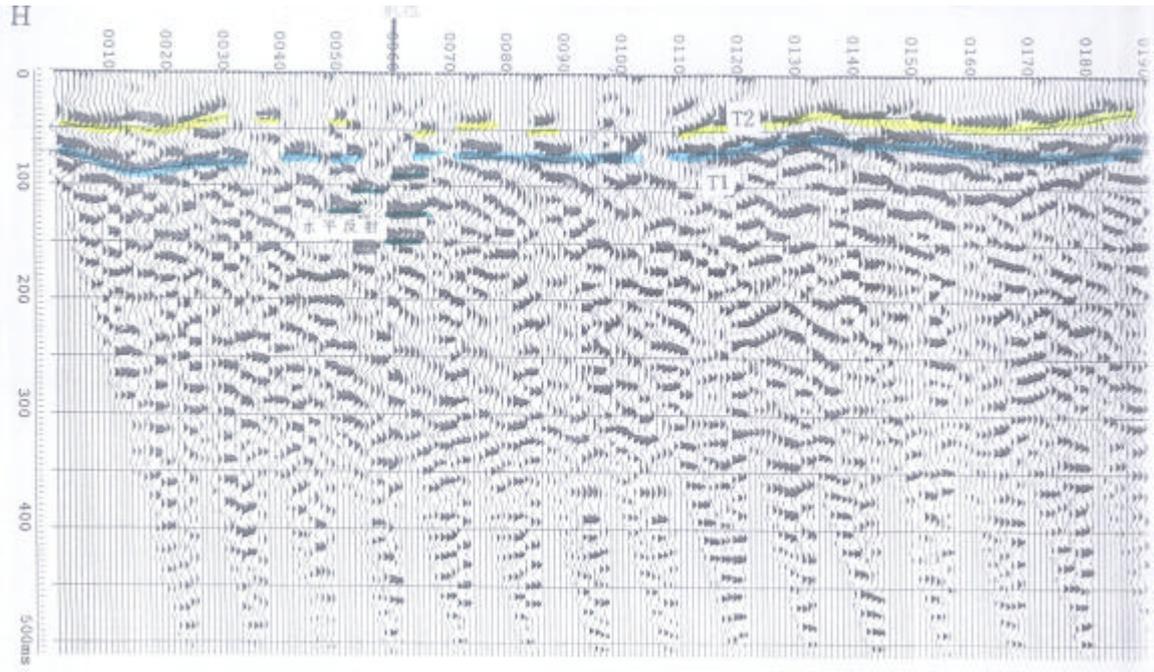
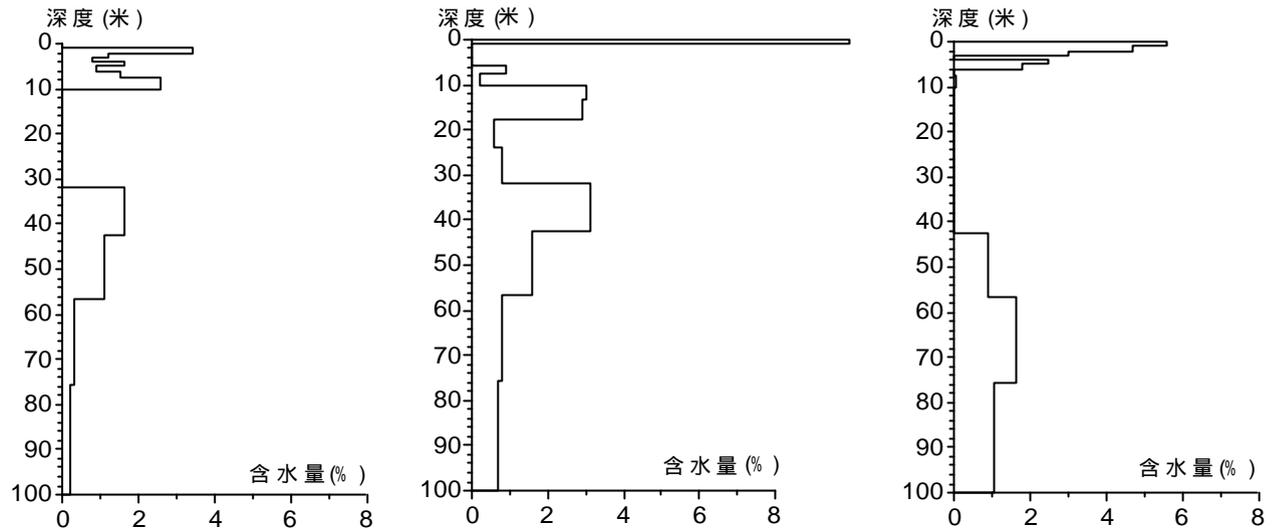


图 1 罗布泊 D 测线地震成果剖面

B 测线 230 号点

D 测线 60 号点

E 测线 110 号点



From (m)	To (m)	Water (%)	Decay time(ms)	From (m)	To (m)	Water (%)	Decay time(ms)	From (m)	To (m)	Water (%)	Decay time(ms)
0	1	0	186	0	1	21.8	30	0	1	5.6	60
1	2	3.4	80	1	2	0	100	1	2	4.7	88
2	3	1.2	173	2	3	0	1000	2	3	3.0	33
3	4	0.8	273	3	4	0	79	3	4	0.0	469
4	5	1.6	171	4	5	0	1000	4	5	2.5	1000
5	6	0.9	142	5	6	0	1000	5	6	1.8	1000
6	7.5	1.5	69	6	7.5	0.9	158	6	7.5	0.0	100
7.5	10	2.6	35	7.5	10	0.2	1000	7.5	10	0.0	30
10	13.4	0	100	10	13.4	3	64	10	13.4	0.0	100
13.4	17.9	0	100	13.4	17.9	2.9	127	13.4	17.9	0.0	100
17.9	23.9	0	100	17.9	23.9	0.6	1000	17.9	23.9	0.0	100
23.9	31.9	0	30	23.9	31.9	0.8	1000	23.9	31.9	0.0	100
31.9	42.5	1.6	30	31.9	42.5	3.1	30	31.9	42.5	0.0	977
42.5	56.7	1.1	30	42.5	56.7	1.6	53	42.5	56.7	0.9	30
56.7	75.7	0.3	60	56.7	75.7	0.8	391	56.7	75.7	1.7	76
75.7	100	0.2	71	75.7	100	0.7	811	75.7	100	1.0	206

图 2 核磁共振勘测成果

3.2 宁南水资源综合开发与合理利用

宁夏南部是西北干旱少雨的缺水地区,开发西部,找水是重中之重的大事。该地区处于黄土高原,山峦起伏,沟壑交错。地震勘探的目的是查明控制本区基岩裂隙地下水分布及赋存条件的区域断裂位置和与之伴生的次级断裂的发育分布情况。地震资料与 EH - 4 电法资料综合解释富水构造,确定水文钻孔井位。在同心县夏马关镇的白家滩剖面,地震采用多次覆盖叠加技术。原始资料经计算机处理后输出的成果剖面上,区域断裂及伴生的次级断层显示清晰。在 89 号和 102 号物理点之间,106 号和 113 号物理点之间,深度在 390 - 410m 的位置有地下含水岩体与上下岩层分界面形成的水平反射的

平点标志。在 102 号和 106 号物理点之间是一个小规模次级断层。这个水平

反射标志与 EH - 4 的成果解释是一致的。经水文地质与地震电法资料的综合分析研究,水文钻孔井位选定在此位置。这口井打到 400 m 以下深度时见到水层,此井出水量大于 3000m³/d。在这项地震与 EH - 4 电法综合物探找水技术与解释方法的研究中,发挥了地震技术的特定优势和地下水在地震波动的扰动下形成水平反射平点标志的应用效果。(见图 3)

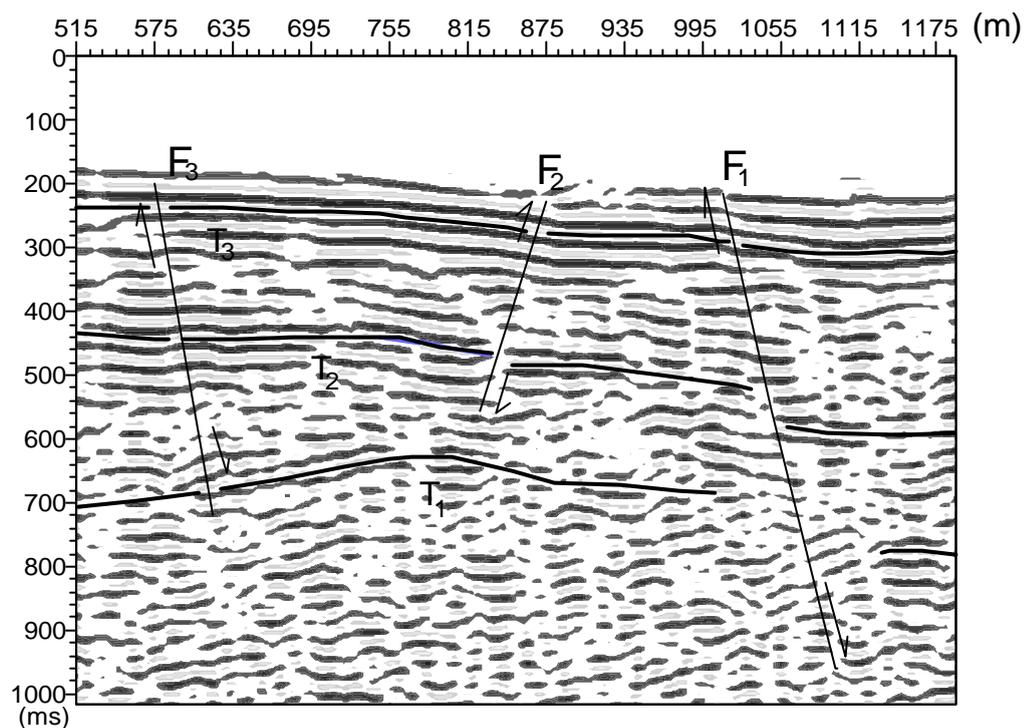


图 3 宁南白家滩地震成果剖面

通过地下水勘查中地震勘探的应用效果可以看出,地震在发挥研究地质构造,划分地层层序等特定优势的同时,利用地下水对地震波动的响应所形成的特征标志与 EH - 4 电法和核磁共振技术组成的综合物探找水方法,开创了地下水勘查的新思路,将使地下水勘查工作进入新技术的发展时期。