

利用地震资料分析第四系含(隔)水层及其赋存状态

王红娟 (山东煤田地质局物探测量队 泰安 271000)

摘要 应用地震岩性勘探技术研究水文地质问题,是地震勘探成功应用的一个新的领域。本文应用地震岩性勘探技术,结合钻探、测井资料,从理论分析、研究方法到实际资料解释等方面对第四系厚度结构和含(隔)水层段进行了较为详尽的描述。

关键词 地震勘探 第四系 岩性勘探 含(隔)水层

中国图书资料分类法分类号 P631.44

作者简介 王红娟 女 38岁 工程师 地球物理勘探

1 引言

第四系为散体结构的多孔介质含水体,是重要的水源,但也存在建井采矿需要解决的水文地质问题。尤其是第四系直接覆盖在煤系之上,查清第四系内部含、隔水层的赋存状态,可对煤矿煤层开采上限的确定提供可靠的参考资料。

2 第四系地震反射波形成的物理基础

2.1 地震反射波形成的物理机制

反射波法地震勘探,在野外采集过程中,观测系统中的最大炮检距一般小于或等于目的层的埋深。因此入射纵波的能量主要集中在透射纵波 P_{12} 和反射纵波 P_{11} 上。反射系数由上、下两介质的波阻抗(密度 ρ 和速度 v 的乘积)差决定,即:

$$R = \frac{v_2 \rho_2 - v_1 \rho_1}{v_2 \rho_2 + v_1 \rho_1} \quad (1)$$

如(1)式所示, $v_1 \rho_1, v_2 \rho_2$ 为岩层的波阻抗。反射系数是由上、下两岩层的波阻抗差所决定,只要 $v_2 \rho_2 \neq v_1 \rho_1$, 则 $R \neq 0$, 总能形成反射波,这是反射波的基础条件。

2.2 薄层反射波特征

厚度 $h \ll \lambda/2$ (λ 为地震波主波长) 的地层称为薄层。由于地震波遇到界面后产生的反射波有一定的延续时间,因此薄层反射波的波动从强度变化到波形特征等方面都具有不同的特点,它是由薄层顶、底界面的反射波经多次叠加而形成的。如图1所示。

薄层的反射主要依赖于上、下围岩及本身的波阻抗,与入射波的频率有关,并具有滤波作用。同一

薄层厚度在横向上发生变化时,其相应反射波在横向上也发生变化。

第四系多为砂泥相间的地层结构。由于砂层与泥层的密度和速度有差异,则两者的波阻抗不同 ($v_2 \rho_2 \neq v_1 \rho_1$)。砂、泥层分界面的反射系数 $R \neq 0$, 其分界面上能形成反射波,这也是利用反射地震技术解释第四系内部砂、泥层赋存状况的物理基础。

3 研究方法

利用地震资料划分(解释)第四系内部含、隔水层,实质上是通过已知钻孔资料建立地质模型,制作人工合成地震记录,正演其地震响应,建立地震资料与实际地质资料的对应关系,并在此基础上反演全部地震资料,分析研究第四系内部砂、泥层段的赋存分布状况。

3.1 合成记录

反射地震记录 $X(t)$ 可以看作是地震子波 $B(t)$ 与反射函数 $R(t)$ 的褶积,即:

$$X(t) = B(t) * R(t) = \int_0^t B(t - \tau) R(\tau) d\tau \quad (2)$$

若已知 $B(t)$ 和 $R(t)$, 按上式可计算出理论地震记录,称之为合成地震记录。

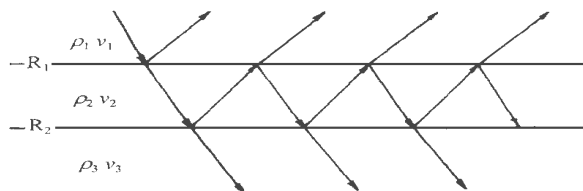


图1 薄层反射地质模型

为在计算机上实现,其离散表达式为:

$$X_n = \Delta \sum_{m=0}^n B_m R_{n-m} = B_m * R_n, \quad (3)$$

式中 X_n —— $X(t)$ 在 $t=n \cdot \Delta t$ 时刻的样值;

n —— 子波的全部样点个数;

R_n —— 反射系数序列。

在实际制作过程中,地层激发、接收条件、仪器等因素的改变,地震子波 $B(t)$ 很难得到,并有时、空变化的性质。因此常选用理论雷克子波来制作合成地震记录。

3.2 第四系反射正演模型

第四系主要为厚层粘土夹薄层砂,砂、粘土薄互层等沉积模式。按这些模式,用有限元素法地震模拟软件制作正演模型,目的在于对地下沉积模式的地震反射波特征有感性认识,帮助对比解释。

模型 1:层状均匀介质模型(图 2)。地震波在砂层顶、底界面形成极性相反的两个反射波:顶界面反射波相位为正;底界面反射波相位为负。

模型 2:砂、粘土薄互层模型(图 3)。薄层的反射波是由其顶底界面的反射波经多次反射叠加形成的,波形为复合波形。

3.3 约束反演

第四系中由于砂、泥层的波阻抗差异相对不大,因此需用特殊的处理方法来提高分辨率,提高砂、泥层分界面的反射波能量,改善反射波的连续性,突出地震信息中与岩性有关的信息。

测井信息中岩性分辨率较高,但只能反映出井周围一定范围内的信息。地震信息在横向上连续性

较好,但在纵向上分辨率偏低,较难分辨薄岩层,因此测井与地震相结合就可达到描述岩性(层)的目的。

宽带约束反演是从确定一个初始波阻抗模型开始;模型被参数化为反射系数和延迟时间,进而形成地震道估计,并与实际地震道比较产生剩余误差道;利用误差道来修正模型参数,直至得到最终的优化波阻抗模型。此模型的纵向分辨率高于地震资料提供的分辨率,可直接求取岩性等参数,从而确定第四系内部的砂、泥层分层及赋存状态。

4 实际资料解释

根据上述理论模型结论,对大屯徐庄煤矿第四系内部地层的厚度、结构以及含(隔) 水层进行了对比分析。

由钻孔资料综合分析可知,第四系下部 50 m 范围内由下至上可分为 6 个层段(图 4),地层韵律明显,有利于地震解释。在此基础上通过井旁地震时间剖面 and 波阻抗(VLOG)剖面的综合反演、对比,并对波组、波形特征、相对层速度进行分析可知:时间剖面上由下至上对比追踪了 3 组有效波,分别为 T_0 波、 T_{N1} 波、 T_{N2} 波,在波阻抗剖面上根据相对层速度的强弱不同对比追踪了 3 个层段(图 5、图 6)。

T_0 波为第四系底界面的反射波。由于第四系不整合于基岩之上,并与基岩在分界面上的波阻抗差异明显,则 T_0 波波形特征明显,易于对比解释,是解释第四系厚度的依据。对应 VLOG 剖面是相对层速度强弱分界面。

T_{N1} 波对应 III 泥层段与 IV 砂层段分界面的反射波。该波频率较高能量较强,之下的整个复合负相位对应 IV 砂层段。从整个测区的地震剖面上显示,该复合负相位,波形特征明显,较为稳定,对应 VLOG 剖面上是一层速度相应较弱的层段,其连续性较好,较为稳定,反映了该砂层段在整个测区内的岩性变化不大,层段内基本没有沉积相变的现象。

T_{N2} 波对应 II 泥层段与 III 砂层段分界面的反射波。该波之下的整个复合负相位对应整个 III 砂层段。但其波组特征与 T_{N1} 波不同,波形特征不稳定,在其整个复合负相位中时有一至二组能量较弱,连续性差的正相位显示。对应 VLOG 剖面,是一速度相对较弱的层段,其内部时有一层薄的相对高速层,反映

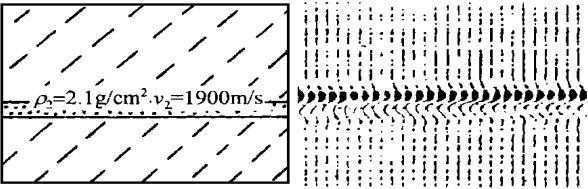


图 2 层状均匀介质模型

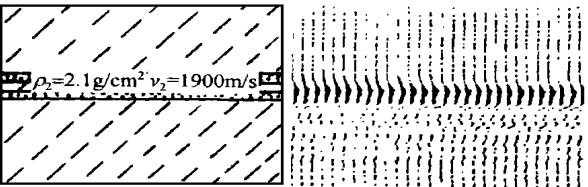


图 3 砂、粘土薄互层模型

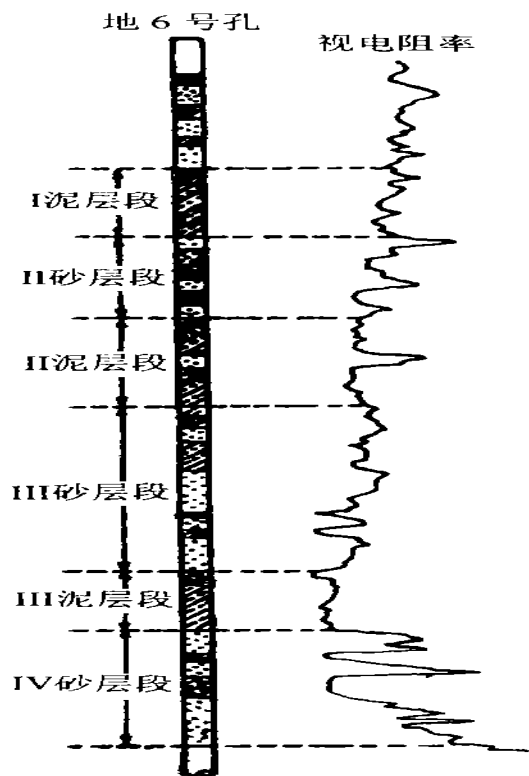
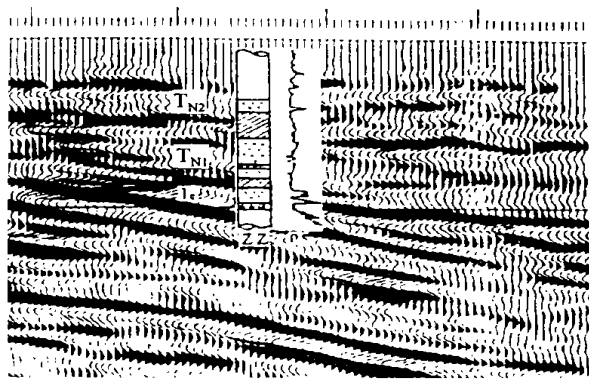
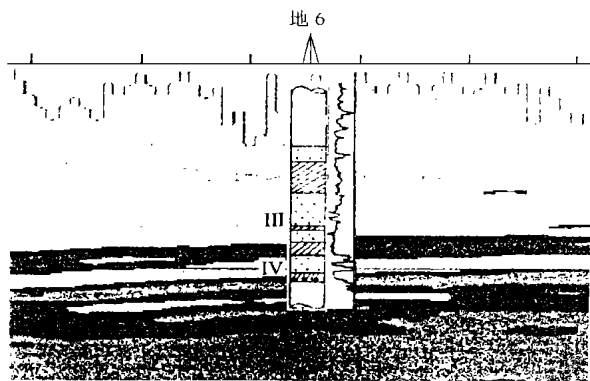


图 4 地 6 号孔柱状及砂泥分段示意图

图 5 地震资料与钻探资料的对比
出了该层段为砂泥互层段。

第四系按粒度可分为两类：一是砂层类，其碎屑颗粒大，反映沉积时水动力条件强，沉积速度快，含水量大，有一定的渗透性，属含水层；二是粘土类，形成于水动力条件弱，沉积比较缓慢的地质环境中，含水量小，渗透性较弱，属隔水层。

以此为依据利用地震资料的实际反映，以及利用约束反演方法得到的波阻抗剖面，对整个测区进行分析闭合，控制整个测区的砂层、泥层的赋存形态，从而实现了利用地震资料直接解释砂层(含水

图 6 VLOG 与钻孔资料吻合程度
层)和粘土层(隔水层)的规模及空间位置。

a. **IV 砂层段**：全区发育较稳定，东南部地段直接与基岩相接，西北部与其下的含砾粘土相接，距第四系底在 L³ 线附近地段约为 24 m。

该砂层段，在地 6、地 22 号孔到地 10、地 9 号孔地段以北开始有泥层赋存，其厚度 0~11 m。该层段主要由粗砂、细砂、泥质砂层及少量泥层组成，砂层比较松散，透水性好，为第一层含水层。

b. **III 砂层段**：全区发育较稳定，厚度 13~29 m，地 12 号孔及地 9、10 号孔附近赋存较厚，约 26~29 m。

该砂层段较 IV 砂层段的结构复杂，有两泥层赋存，上泥层全区发育，厚度较稳定，约 2~9 m；下泥层在 Z² 线以西有所赋存，比上泥层相对赋存厚度较薄，一般为 2~3 m。该层段主要由中砂、细砂、泥质砂及少量泥层组成，结构较复杂，为第二层含水层。

c. **III 砂层段之下与 IV 砂层段的隔层为 III 泥层**。该泥层全区发育，一般厚度 3~5 m，在地 12 号孔至地 6 号孔附近的赋存厚度较大，约 8 m，由泥及砂质泥组成，为一良好的隔水层(第一隔水层)。

d. **III 砂层段之上为 II 泥层**，全区发育，厚度在 6~18 m 之间，为第二隔水层段。由钻孔柱状、测井资料和时间剖面的波形特征及波阻抗剖面显示，其内部时有较薄层砂及砂质泥层发育，并且该泥层含砂量较 III 泥层有所增多，较 III 泥层厚。

本区第四系内部的 III 泥层全区分布，厚度稳定，隔水性能良好，II 泥层全区分布，从而使得各砂层的水力联系不密切，使得各含水层处于相对封闭状态。

小口径数字超声成像测井系统

刘振祥 (山东煤田地质局数字测井站 泰安 271000)

摘要 介绍了小口径数字超声成像测井系统的组成、工作原理、井下电路、系统软件以及所提供的图像资料。

关键词 小口径 超声成像 数据通信 图像处理

中国图书资料分类法分类号 P631.814

作者简介 刘振祥 男 37 岁 高级工程师 地球物理测井

1 引言

山东煤田地质局数字测井站与镇江煤矿专用设备厂合作研制的新一代小口径数字超声成像测井系统,在煤田地质、水文地质、工程地质等领域的应用中取得了良好的地质效果,该系统在裸眼井中可用来识别岩层裂缝、裂缝特性、孔洞、层理等,测量井眼的几何尺寸,确定地层产状,确定煤层厚度,划分煤层结构;在套管井中,可用来测量套管内径、变形、腐蚀、破裂、断裂、射孔等。

2 系统硬件结构与工作原理

2.1 井下仪器

井下仪器由超声探头、磁北检测装置、传动机

构、压力补偿器、扶正器及井下电路组成。

该系统采用超声探头外部旋转扫描方式,超声换能器直接与泥浆接触,探头与转动探管输出轴相联接,并在其带动下旋转,同时作为超声波的发射器和回波的接收器。

磁北检测装置采用高导磁率的玻-膜合金作磁敏元件。将其装入传感线圈中组成地磁方位探测器,并安装成与超声探头同轴作同步旋转。在天然磁场中旋转时,切割磁力线所产生的信号经井下磁北电路处理,在超声探头指向北极的时刻,产生一个磁北脉冲做为井下数字电路的帧(行)同步控制信号。在地磁方位探测器的上方固定安置了一个磁激励线圈。在测量套管井中无地磁信号时,给激励线圈施加一个电压,使之产生一个固定的人工磁场。磁方位

5 结论

利用地震技术解决岩性问题,特别是在煤田勘探中,利用地震技术研究第四系含、隔水层的划分,是一门迅速发展的新技术,具有明显的社会效益和经济效益。

随着地震勘探技术的不断发展,以及地震勘探

分辨率的提高,研究解释第四系内部结构问题将得到更好的解决,是值得探索和研究的。

参考文献

- 1 庞渭舟,刘维周. 煤矿水文地质学. 北京:煤炭工业出版社,1982
- 2 格劳尔 M. 地震岩性学. 北京:石油工业出版社,1987
- 3 张宏彬,何樵登. 宽带约束反演. 石油物探,1995;34(1)

THE OCCURRENCE OF QUATERNARY AQUIFER AND AQUIFUGE DIVIDED BY SEISMIC DATA

Wang Hongjuan (The Geophysical Survey Crew of Shandong Bureau of Coal Geology)

Abstract Applying the seismic lithological exploration technique to research the hydrogeological problems is a new field, in which the seismic exploration is applied successfully. Using the seismic lithological exploration technique and combining with the drilling and logging data, this paper discusses the Quaternary thickness texture and the aquifer (aquifuge) interval from the theoretical basis, research method to the interpretation of practical data.

Keywords seismic exploration; Quaternary; lithological exploration; aquifer; aquifuge