

doi: 10.11720/wtyht.2016.1.39

魏文希,师素珍,孙超,等.拟声波反演技术在识别煤层顶底板砂泥岩中的应用[J].物探与化探,2016,40(1):220-224.http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.1.39

Wei W X, Shi S Z, Sun C, et al. Application of pseudo-acoustic inversion technique in identifying sandstone and mudstone of coal seam roof and floor[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(1): 220-224. http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.1.39

拟声波反演技术在识别煤层顶底板砂泥岩中的应用

魏文希,师素珍,孙超,李世杰

(中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083)

摘要:当煤层顶底板为泥岩时,其煤层气含量一般较高。为预测煤层气富集区,通过地震资料和测井数据分析,基于纵波阻抗反演和拟声波阻抗反演技术的方法获得煤层顶底板位置和砂泥岩的分布规律,为煤层气勘探开发提供依据。首先由于煤层纵波阻抗值很低,可在纵波阻抗反演剖面中准确获得煤层顶底板位置;其次利用自然伽马曲线构建拟声波曲线,在横向连续性强的拟声波阻抗反演剖面中,由于泥岩表现为拟声波阻抗高值,砂岩表现为低值,可通过数据分析得到砂泥岩值域范围;最后可以此为依据进行精细划分。实际应用表明,这种方法比传统纵波阻抗反演方法效果更好,分辨率更高。

关键词:煤层顶底板;砂泥岩;拟声波曲线;测井约束反演

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2016)01-0220-05

煤层气作为一种新型洁净能源,越来越受到人们的重视,其勘探开发对于我国国民经济可持续发展、改善我国能源结构有着重大的意义。现阶段多种地球物理方法技术正被应用于煤层气的预测研究中。地震勘探作为一种面积勘探,可以提供煤层的岩性信息,且密度高、成本低,在煤层气勘探中已经广泛应用。在研究控制煤层气富集的地震地质参数中,煤层顶底板岩性是煤层气富集高产的主控因素之一。由于泥岩的分布影响煤层围岩隔气性和透气性,当顶底板为泥岩时,由于其封闭性较好,煤层含气量一般较高。而与此相比,顶底板为砂岩时含气性则相对较差。因此,预测煤层顶底板岩性对煤层气勘探很有必要。

在煤层顶底板的岩性预测方面,高敏等^[1]利用测井资料,以实际煤样及分析化验煤芯含气量为依据,采用岩性比封盖性检测方法确定煤层顶底板岩性。刘之的等^[2]利用测井资料计算泥质体积分数来解释顶底板岩性。这些方法以测井资料为依据,得到的解释成果只反映井点处的岩性变化,横向连续性较差,对全区岩性预测存在误差。彭苏萍等^[3]采用测井约束波阻抗反演探测顶底板岩性。这种方

法是利用实际地震资料,以地质钻井和测井信息为约束条件,对地质构造和储层物性进行求解的过程^[4]。然而,由于井筒污染、岩石胶结程度、孔隙度或其他非地层岩性因素的影响,声波测井曲线有时很难反映地层岩性变化的真实信息,使得纵波阻抗反演的结果不能准确预测砂泥岩岩性变化。

针对声波曲线的不足,王玉学等^[5]使用自然电位曲线(SP)构建拟声波曲线进行储层预测。刘百红等^[6]以拟声波宽带约束反演波阻抗剖面为核心,采用信息融合技术,总结出一套储层预测的技术方法。郑四连等^[7]构建伽马拟声波曲线反演波阻抗,进行砂体描述和储层预测。刘淑华等^[8]对优选的测井曲线进行数理统计拟合,得到反映砂岩储层特征的伪声波曲线,预测了南堡地区东一段砂体展布规律。崔健等^[9]给出了计算重构声波曲线的数学模型,利用重构的声波曲线进行储层横向预测。查华胜等^[10]在考虑到岩石孔隙和孔隙中流体的情况下,采用拟声波曲线构建技术。杨振峰等^[11]采用多属性线性回归和概率神经网络重构拟电阻率曲线来识别油层。

综上所述,对于拟声波阻抗反演应用,主要是基

收稿日期: 2015-11-07

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ030126);国家自然科学基金煤炭联合项目(U1261203);中国地质调查局项目

(12120115102101)

于 Gardner 和 Faust 公式估算和统计的方法来拟合声波曲线,并对储层进行预测。文中将能够反映储层物性变化的自然伽马曲线与声波曲线的时深关系进行拟合,重构出新曲线进行反演。由于自然伽马曲线对地层岩性变化敏感,重构的曲线比公式估算和统计拟合方法更能反映地层岩性细节,且准确性更高。结合地质和钻探信息,利用重构的拟声波曲线进行精细反演,从而实现煤田顶底板岩性识别。

1 拟声波曲线反演实现方法

1.1 拟声波曲线反演技术思路

根据自然伽马测井原理可知,自然伽马曲线测量的是放射性物质的多少。当地层只含有砂泥岩时,放射性主要取决于泥质含量,并随着岩石中的泥质含量增加放射性增强。而且自然伽马曲线的读数与岩石孔隙度、空隙中流体的性质、地层水和泥浆矿化度等非地层岩性因素关系很小。因此,自然伽马曲线比声波曲线更能区分岩性的变化、分辨率更高且更具有稳定性。所以选定该曲线进行重构。

拟声波曲线反演的技术思路是:首先,对不同井之间的测井曲线进行预处理,消除由于野外环境和不同采集参数对测井结果的影响;再通过特定方法重构具有时深关系的自然伽马曲线,即拟声波曲线;接下来在层位标定得到的时深关系约束下进行子波提取和模型构建;最后,在此基础上进行测井约束反演。

1.2 拟声波曲线反演实现方法

基于拟声波曲线反演的技术思路,实现反演的具体方法包括:测井曲线预处理、拟声波和密度曲线的构建、初始模型建立和测井约束反演分析等。

1.2.1 测井曲线预处理

在实际工作中,由于不同井测井曲线的测量时间跨度大、所选仪器性能与型号不同以及井壁不规则等因素的影响,导致不同井的同类测井曲线之间存在一定的差异,在横向对比过程中存在不匹配的情况,或测井曲线岩性特征与地质剖面岩性不一致,严重影响了地层测井解释以及地震储层反演结果。除此之外,由于选取自然伽马曲线值域范围相对声波曲线较低,因此在曲线构建之前,将自然伽马曲线的范围调整到与声波曲线一致,以便进行反演分析。所以需要 对 钻 孔 的 测 井 曲 线 进 行 标 准 化 处 理,以 消 除 不 同 采 集 参 数 对 测 井 结 果 的 影 响。使 得 反 演 工 区 内 的 所 有 井 的 同 类 曲 线 处 于 相 同 的 量 纲 之 上。本 次 采 用 频 率 直 方 图 交 会 分 析 的 方 法 进 行 标 准 化 处 理。

一般认为,不同井点同一标准层应具有相似的

或呈规律性变化的测井响应,根据频率直方图确定的极值就可以定性分析与定量校正。如果标准井 A 的测井曲线直方图分布范围是 $A_1—A$, B 井的分布范围是 $B_1—B$,我们要将它们调到同一个范围

$$Acb' = (Acb - B)/(B_1 - B) \times (A_1 - A) + A \quad (1)$$

1.2.2 拟声波和密度曲线的构建

拟声波曲线构建以测井、地震、地质综合研究为基础,针对具体地质问题和反演目标,从多种测井曲线优选出能反映地质特征的曲线。本次选取自然伽马曲线区分砂泥岩。

1) 提取时深关系。提取地震子波,对原始声波曲线进行井震标定,通过声波曲线、密度曲线、地震子波等褶积形成合成地震道。通过与井旁真实地震道对比,将地层岩性界面与地震道进行标定匹配。精细标定对比后,得到合理的时深关系,并将其提取。

2) 重构拟声波曲线。将提取的时深关系与选取的自然伽马曲线进行重构,形成具有时深关系的拟声波曲线。

3) 构建密度曲线。在自然伽马曲线中,泥质含量高的地方表现为高值,砂岩则表现为低值。而在密度曲线中,泥岩的密度相对小于砂岩的密度,所以在拟声波曲线和密度曲线形成波阻抗的过程中,直接采用密度曲线会降低砂泥岩分辨率。因此将密度曲线人为定义为常值,使得计算产生的波阻抗值能直接反映自然伽马曲线中砂泥岩的变化。

1.2.3 初始模型建立

建立初始模型是测井约束反演必不可少的环节之一,合理的初始波阻抗模型直接影响着反演的结果。初始模型的建立主要依靠连续变化的地震界面信息和垂直的测井数据。地震数据连续记录了界面的横向变化,但纵向分辨率低,测井资料在纵向上更能揭示岩性变化的细节,将两者融合到一起,是得到与实际地质条件接近的初始模型的必要条件。初始模型实际上是在地质概念的约束下,采取一定的差值方式,对测井数据进行内插和外推,形成一个平滑闭合的实体模型的过程。

1.2.4 测井约束反演分析

测井约束反演是一种基于模型的参数反演技术,选定时窗范围,调整合适参数,对初始地质模型进行反复的迭代修正,最终得到高分辨率的波阻抗数据体^[12]。处理出的反演剖面达到预期效果,才能够开展岩性预测。

1) 划分煤层顶底板位置。对原始声波和密度曲线进行波阻抗反演,得到波阻抗数据体。由于煤

层的波阻抗值相对于砂泥岩和灰岩较低,在纵波阻抗反演剖面中可以通过波阻抗值划分出煤层的位置,对煤层上下的层段则认为是煤层顶底板的位置。

2) 确定砂泥岩分布。对拟声波曲线进行波阻抗反演。由于密度曲线人为定义为常值,因此得到的波阻抗数据体只反映自然伽马曲线数值变化。通过对拟声波曲线反演波阻抗数据体和测井资料分析泥岩和砂岩的波阻抗值,确定砂泥岩的值域范围,再在拟声波阻抗体的煤层顶底板中划分砂泥岩。

2 应用实例

2.1 研究区概况

研究区位于山西省吕梁市北部临汾区块西北角,西部紧邻黄河,与陕西省佳县隔河相望。构造区划属鄂尔多斯盆地晋西挠褶带一级构造单元中北部。该区为一东高西低的西倾单斜构造,地层倾角小,断层不发育。煤层集中发育在太原组和山西组。太原组煤层属于海陆交互相沉积环境,为潮坪及三角洲沉积体系;山西组煤层以陆相、海陆过渡相沉积为主,主要是浅水三角洲、泻湖—海湾沉积体系。4煤发育在山西组,8煤发育在太原组。这两套煤层为该区主采煤层。

4煤较薄,横向变化大,全区均有分布,局部有缺失。4煤层直接顶板以泥岩和砂岩为主,厚度3~21m。其中泥岩居多。色均、质纯、性硬、吸水可塑差。砂岩成份以石英为主,次为岩屑及其它矿物,颗粒呈次半棱角状—次圆状,分选中等,泥质胶结。4煤层底板泥岩为主,少量存在砂岩和灰岩,厚3~16m。8煤分布较稳定,局部分开,厚度较大。8煤层顶底都为泥岩、砂岩和灰岩,顶板厚2~15m,底板厚2~12m。两煤层间距30~90m。

2.2 煤层顶底板砂泥岩分布特征

通过测井约束波阻抗反演的方法进行了精细反演,得到研究区段的纵波阻抗反演剖面(图1)。图中的颜色代表波阻抗值。由于煤层纵波阻抗值偏

低,因此在纵阻抗反演剖面中可以看出煤层与其围岩波阻抗值明显不同,即图1中绿色部分。煤层上下层段即为顶底板的位置(图2)。在拟声波波阻抗反演剖面中,可以在此层段划分砂泥岩。

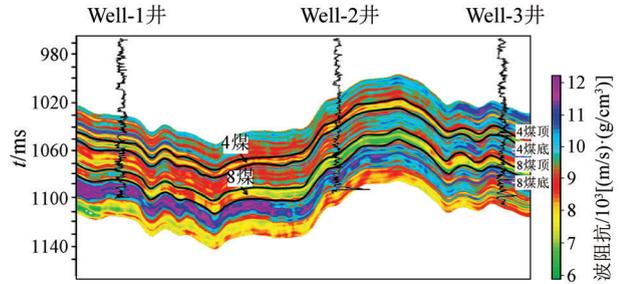


图2 拟声波波阻抗反演剖面

图3为工区内Well-1井4煤层顶板(厚约3~5m)到8煤层底板(厚约6~11m)之间纵波阻抗与拟声波阻抗的交会图分析,横轴表示纵波阻抗,纵轴表示拟声波阻抗,以泥质含量为颜色显示。图中的黑色区域即拟声波阻抗 $< 8500 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ 且纵波阻抗 $< 5300 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ (泥质含量 $< 17%$)的煤层;红色区域即拟声波阻抗 $< 7900 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ 且 $7800 (m/s) \cdot (g/cm^3) < 纵波阻抗 < 13800 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ (泥质含量 $< 25%$)的砂岩;蓝色区域即拟声波阻抗 $< 7700 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ 且纵波阻抗 $> 13800 (m/s) \cdot (g/cm^3)$ (泥质含量 $< 25%$)的灰岩,未圈定范围岩体主要为泥岩和介于泥岩和砂岩之间的其他岩性。

在图4中,交会图所对应的岩性显示与岩性柱状图在相同的深度中具有相同的岩性,结果显示相匹配,证明在交会图中所圈定的范围的正确性。将所确定的值域范围应用到拟声波反演剖面中砂泥岩

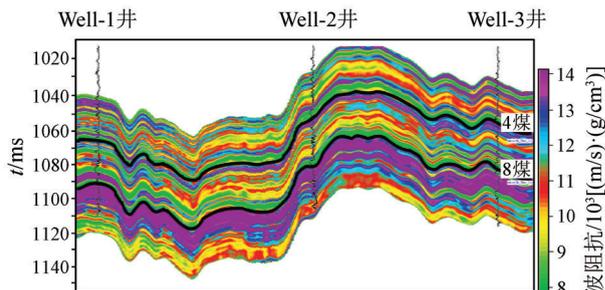


图1 纵波阻抗反演剖面

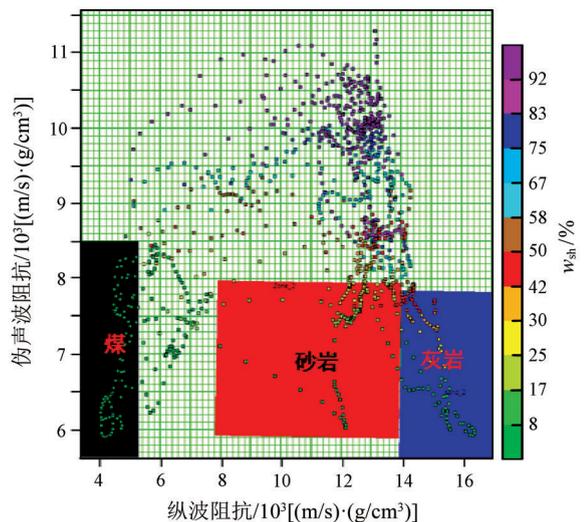


图3 Well-1井拟声波阻抗与纵波阻抗交会

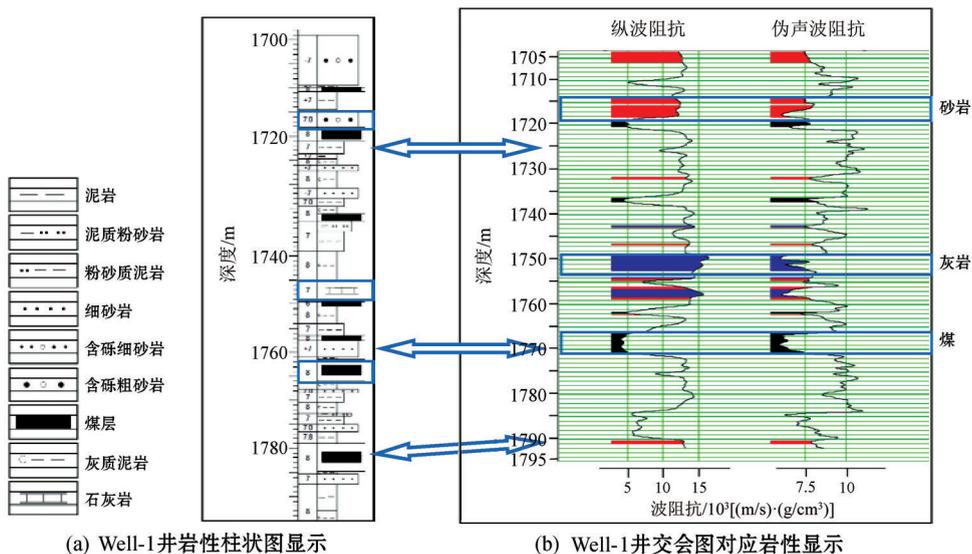


图4 Well-1井交会图对应岩性与岩性柱状图对比

划分中。

图5为4煤层顶板纵波阻抗反演图,颜色代表纵波阻抗值,可以看出尽管可以区分部分泥岩,但砂岩辨识度较差且精确度并不高,因此采用声波进行波阻抗反演无法精细划分砂泥岩的范围。图6为4煤层顶板拟声波阻抗反演图,颜色代表拟声波阻抗值,其上显示了顶板煤层岩性的变化情况,黑色线所勾勒的黄绿色区域为砂岩区域,紫色区域为泥岩区域,蓝色和红色区域为介于泥岩和砂岩的砂泥岩、粉砂岩等岩性。该层不存在灰岩。分析可以发现,4煤层顶板砂泥岩成条带状分布,岩性区域划分明显,泥岩主要分布于煤层顶板的东北部,向西南部逐渐过渡为砂岩。与图5相比,岩性划分域精度要高的多。可以为煤层气预测提供依据,但由于各种因素对煤层气富集均有影响,单一地震地质因素预测煤层气富集区具有一定的局限性,实际应用中要多方面考虑。

通过对比井的岩性测井解释图,可以证实反演结果的可靠性。说明结合地质和钻探等信息,利用重构的拟声波曲线精细反演,识别煤田顶底板岩性具有可

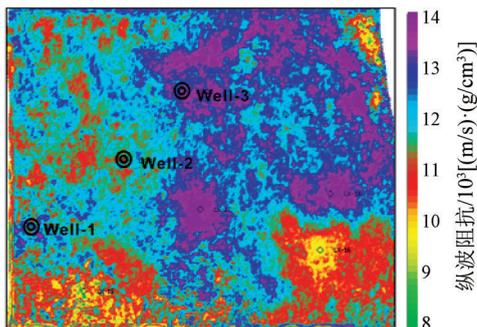


图5 4煤层顶板纵波阻抗反演图

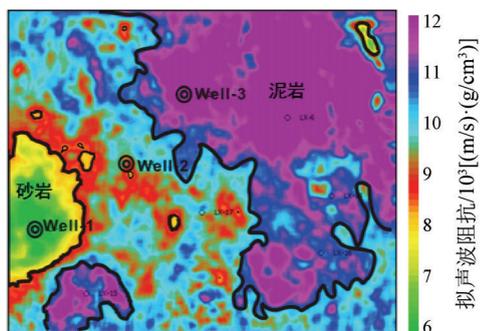


图6 4煤层顶板拟声波阻抗反演图

行性。这种方法为煤层气开发选择井位、布设井网提供一定的地质依据。

3 结论

1) 当声波曲线不能更好地反映地层的岩性、物性等信息时,采用拟声波曲线进行反演更容易获得地层信息。通过校正测井曲线、提取已作过井震标定的声波曲线的时深关系、将其与自然伽马曲线进行重构、建立初始模型、可以实现拟声波阻抗反演。

2) 在横向连续性强的反演剖面上,煤层的纵波阻抗值低,因此纵波阻抗反演可以在确定煤层位置的基础上确定顶底板位置;泥岩的自然伽马值高,砂岩自然伽马值低,拟声波反演技术可以在确定其值域范围后区分顶底板岩性。

3) 通过实际应用,证实拟声波反演技术比传统纵波阻抗反演方法分辨率更高,可推广使用。这种方法为煤层气富集区预测提供一定的参考依据。但由于地震资料存在多解性,在实际应用中要加以分析。

参考文献:

- [1] 高敏, 蔡文渊, 罗安银, 等. 用测井资料评价煤储层顶底板封盖性的方法[J]. 中国煤层气, 2012, 9(5):29-33.
- [2] 刘之的, 杨秀春, 张继坤, 等. 利用测井资料定量评价煤层顶底板的封闭性[J]. 中南大学学报, 2015, 46(3):1100-1109.
- [3] 彭苏萍, 杜文凤, 殷裁云, 等. 高丰度煤层气富集区地球物理识别[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8):1398-1403.
- [4] 石磊, 王昌景. 利用拟声波曲线进行高分辨率地震反演[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(5):18-20.
- [5] 王玉学, 汤达祯, 龚建华, 等. 拟声波反演技术在储层预测中的应用——以吐哈盆地台北凹陷胜北地区白垩系为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3):303-307.
- [6] 刘百红, 郑四连, 关达. 拟声波宽带约束波阻抗反演在储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(6):416-421.
- [7] 郑四连, 刘百红, 张秀容, 等. 伽马拟声波曲线构建技术在储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(4):256-261.
- [8] 刘淑华, 张宗和, 刘建武, 等. 声波曲线重构反演技术在储层预测中的应用[J]. 天然气工业, 2007, 27(s1):394-396.
- [9] 崔健, 张星. 曲线重构反演在储层预测研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(3):133-135.
- [10] 查华胜, 甘志超, 刘卫佳, 等. 自然伽马拟声波曲线构建技术探讨[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(5):58-62.
- [11] 杨振峰, 田仁飞, 如肖学, 等. 拟电阻率重构在岩性油藏油层识别中的应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(7):117-120.
- [12] 韦红, 朱仕军, 朱宗训. 拟声波曲线重构在储层预测中的应用[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版, 2009, 11(6):20-23.

Application of pseudo-acoustic inversion technique in identifying sandstone and mudstone of coal seam roof and floor

WEI Wen-Xi, SHI Su-Zhen, SUN Chao, LI Shi-Jie

(State Key Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The coalbed methane content is often relatively high where the immediate roof and floor of the coal seam are mudstone. In order to predict the coalbed methane rich region, position of coal seam roof and floor and distribution of sandstone and mudstone are based on acoustic wave impedance inversion and pseudo-acoustic inversion technique through seismic data and well logging data analysis. This method provides a basis for the exploration and development of coalbed methane. First of all, the position of coal seam roof and floor can be acquired accurately in the acoustic wave impedance inversion profile due to low acoustic impedance values of coal. Pseudo-acoustic curve is constructed by natural gamma curve. In the pseudo-acoustic inversion profile which has high lateral continuity, the mudstone shows high values, the sandstone shows low values, so it is possible to characterize the sandstone and the mudstone when the range is acquired though data analysis. The application in practice shows that, the inversion method is better than conventional one in resolution and achieved good results in practice.

Key words: coal seam roof and floor; sandstone and mudstone; pseudo-acoustic curve; logging constrained inversion

作者简介: 魏文希(1992-),女,在读硕士研究生,地球探测与信息技术专业,中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室。E-mail:1534177078@qq.com。