



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107817520 A  
(43)申请公布日 2018.03.20

(21)申请号 201710860322.7

(22)申请日 2017.09.20

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司勘探分  
公司

(72)发明人 郭旭升 陈超 王明飞 魏志红  
刘晓晶 石文斌 肖伟 石美璟  
孙均

(74)专利代理机构 北京思创大成知识产权代理  
有限公司 11614

代理人 高爽

(51)Int.Cl.

G01V 1/30(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图4页

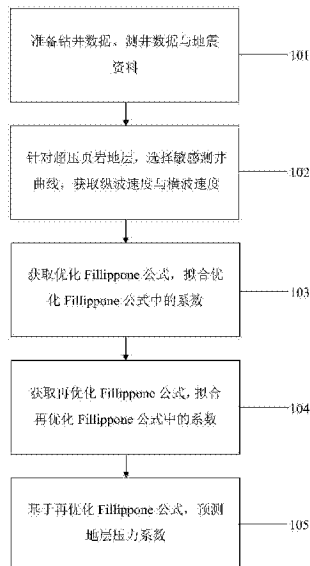
(54)发明名称

海相泥页岩地层的压力系数预测方法及系  
统

(57)摘要

公开了一种海相泥页岩地层的压力系数预  
测方法及系统。该方法包括：准备钻井数据、测井  
数据与地震资料；针对超压页岩地层，选择敏感  
测井曲线，获取纵波速度与横波速度；基于钻井  
数据，分析钻井密度与纵波速度的关系，获得  
Gardner公式，对Fillippone公式进行优化，获取  
优化Fillippone公式，拟合优化Fillippone公式  
中的系数；基于横波速度对优化Fillippone公式  
进行再次优化，获取再优化Fillippone公式，拟  
合再优化Fillippone公式中的系数；基于再优化  
Fillippone公式，预测地层压力系数。本发明通  
过对页岩气保存条件进行定量评价研究，完善和  
深化页岩气甜点预测技术序列，优选页岩气高产  
富集区。

CN 107817520 A



1. 一种海相泥页岩地层的压力系数预测方法,包括:

准备钻井数据、测井数据与地震资料;

针对超压页岩地层,选择敏感测井曲线,获取纵波速度与横波速度;

基于所述钻井数据,分析钻井密度与所述纵波速度的关系,获得Gardner公式,基于所述关系和所述纵波速度对Fillippone公式进行优化,获取优化Fillippone公式,根据地层压力系数、所述纵波速度,拟合优化Fillippone公式中的系数;

基于所述横波速度对所述优化Fillippone公式进行再次优化,获取再优化Fillippone公式,根据所述Gardner公式、所述钻井数据、所述纵波速度与所述横波速度,拟合再优化Fillippone公式中的系数;

基于所述再优化Fillippone公式,预测地层压力系数。

2. 根据权利要求1所述的海相泥页岩地层的压力系数预测方法,其中,针对所述超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井,分析对所述超压页岩地层敏感的测井参数,选择敏感测井曲线,获取所述纵波速度与所述横波速度。

3. 根据权利要求1所述的海相泥页岩地层的压力系数预测方法,其中,所述Fillippone公式为:

$$P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{max} - V_p}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

其中, $P_c$ 为地层压力系数, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_p$ 为纵波速度, $V_{max}$ 为孔隙为零时的地层速度, $V_{min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

4. 根据权利要求3所述的海相泥页岩地层的压力系数预测方法,其中,所述优化Fillippone公式为:

$$P_c^1 = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

其中, $P_c^1$ 为优化地层压力系数, $V_p$ 为纵波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数,其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为 $V_{max}$ 及 $V_{min}$ 简化后的经验系数, $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

5. 根据权利要求1所述的海相泥页岩地层的压力系数预测方法,其中,所述Gardner公式为:

$$\overline{\rho_{ov}} = \gamma * V_{ave}^{c_1} \quad (3)$$

其中, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $\gamma$ 为经验系数, $c_1$ 为地层平均速度的指数。

6. 根据权利要求5所述的海相泥页岩地层的压力系数预测方法,其中,所述再优化Fillippone公式为:

$$P_c^2 = (a_2 + b_2 V_p + d V_s) * V_{ave}^{c_2} + e \quad (4)$$

其中, $P_c^2$ 为再优化地层压力系数, $V_p$ 为目的层纵波速度, $V_s$ 为横波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d$ 、 $e$ 为再优化系数,其中 $a_2$ 、 $b_2$ 及 $d$ 为纵波速度及横波速度的拟合经验系

数,  $c_2$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数,  $e$ 为多元统计及回归计算中的经验常数。

7. 一种海相泥页岩地层的压力系数预测系统, 其特征在于, 该系统包括:

存储器, 存储有计算机可执行指令;

处理器, 所述处理器运行所述存储器中的计算机可执行指令, 执行以下步骤:

准备钻井数据、测井数据与地震资料;

针对超压页岩地层, 选择敏感测井曲线, 获取纵波速度与横波速度;

基于所述钻井数据, 分析钻井密度与所述纵波速度的关系, 获得Gardner公式, 基于所述关系和所述纵波速度对Fillippone公式进行优化, 获取优化Fillippone公式, 根据地层压力系数、所述纵波速度, 拟合优化Fillippone公式中的系数;

基于所述横波速度对所述优化Fillippone公式进行再次优化, 获取再优化Fillippone公式, 根据所述Gardner公式、所述钻井数据、所述纵波速度与所述横波速度, 拟合再优化Fillippone公式中的系数;

基于所述再优化Fillippone公式, 预测地层压力系数。

8. 根据权利要求7所述的海相泥页岩地层的压力系数预测系统, 其中, 针对所述超压页岩地层, 以偶极子声波测井或全波列声波测井, 分析对所述超压页岩地层敏感的测井参数, 选择敏感测井曲线, 获取所述纵波速度与所述横波速度。

9. 根据权利要求7所述的海相泥页岩地层的压力系数预测系统, 其中, 所述Fillippone公式为:

$$P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{max} - V_p}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

其中,  $P_c$ 为地层压力系数,  $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度,  $V_p$ 为纵波速度,  $V_{max}$ 为孔隙为零时的地层速度,  $V_{min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

10. 根据权利要求9所述的海相泥页岩地层的压力系数预测系统, 其中, 所述优化Fillippone公式为:

$$P_c^I = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

其中,  $P_c^I$ 为优化地层压力系数,  $V_p$ 为纵波速度,  $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度,  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数, 其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为 $V_{max}$ 及 $V_{min}$ 简化后的经验系数,  $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

## 海相泥页岩地层的压力系数预测方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及页岩气勘探领域,更具体地,涉及一种海相泥页岩地层的压力系数预测方法及系统。

### 背景技术

[0002] 近年来页岩气勘探开发的实践表明良好的保存条件是页岩气高产富集的关键,而压力系数是保存条件的综合判别指标,页岩气产量与压力系数呈正相关关系,因而压力系数的预测及研究对页岩气勘探获得成功至关重要。目前利用地震信息进行压力预测主要有两种方法,大致可分为图解法和公式计算法,图解法包括等效深度图解法、比值法或差值法和量板法;公式计算法包括等效深度公式计算法、Eaton法、Fillippone法、刘震云法、Stone法、Martinez法及有效应力法等。有效应力法、Eaton法及Fillippone法是目前应用最广且技术相对成熟的方法,勘探实践表明利用上述方法的海相泥页岩地层压力系数的预测精度均较低,尤其是复杂构造区,认为主要存在如下几个问题:

[0003] (1) 川东南地区志留系海相地层以泥岩沉积为主,速度自上而下降低,不符合正常压实理论,是在实际应用中经常难以准确地建立正常压实趋势线,因而等效深度法及Eaton法的预测精度均较低;

[0004] (2) 有效应力法原理是通过弹性参数反推地层的有效应力,需要已知应变 $\Delta H/H$ 的大小,但应变的大小无法准确获得,受地层埋藏深度控制,尤其是构造起伏较大的构造复杂区,压力系数预测精度较低。

[0005] (3) Fillippone法及其改进方法基于的原理是不均衡压实及有机质生烃产生高孔隙压力,形成欠压实,地震波波速比正常压实的波速要小,实现相对简单,陈超及屈大鹏分别在文章《川东南焦石坝地区海相泥页岩含气量预测方法探讨》及《川东南地区基于海相泥页岩地层的压力系数预测\_以丁山区块为例》提到了一种基于改进Fillippone法的海相页岩地层压力系数预测方法,但是仅仅单一考虑了纵波速度,构造稳定区取得了一定效果,但推广应用到构造复杂区,压力系数预测精度较低,该预测方法普适性较差。因此,有必要开发一种海相泥页岩地层的压力系数预测方法及系统。

[0006] 公开于本发明背景技术部分的信息仅仅旨在加深对本发明的一般背景技术的理解,而不应当被视为承认或以任何形式暗示该信息构成已为本领域技术人员所公知的现有技术。

### 发明内容

[0007] 本发明提出了一种海相泥页岩地层的压力系数预测方法及系统,其能够通过通过对页岩气保存条件进行定量评价研究,完善和深化页岩气甜点预测技术序列,优选页岩气高产富集区。

[0008] 根据本发明的一方面,提出了一种海相泥页岩地层的压力系数预测方法。所述方法可以包括:准备钻井数据、测井数据与地震资料;针对超压页岩地层,选择敏感测井曲线,

获取纵波速度与横波速度;基于所述钻井数据,分析钻井密度与所述纵波速度的关系,获得Gardner公式,基于所述关系和所述纵波速度对Fillippone公式进行优化,获取优化Fillippone公式,根据地层压力系数、所述纵波速度,拟合优化Fillippone公式中的系数;基于所述横波速度对所述优化Fillippone公式进行再次优化,获取再优化Fillippone公式,根据所述Gardner公式、所述钻井数据、所述纵波速度与所述横波速度,拟合再优化Fillippone公式中的系数;基于所述再优化Fillippone公式,预测地层压力系数。

[0009] 优选地,针对所述超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井,分析对所述超压页岩地层敏感的测井参数,选择敏感测井曲线为所述纵波速度与所述横波速度。

[0010] 优选地,所述Fillippone公式为:

$$[0011] \quad P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{max} - V_p}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

[0012] 其中, $P_c$ 为地层压力系数, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_p$ 为纵波速度, $V_{max}$ 为孔隙为零时的地层速度, $V_{min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

[0013] 优选地,所述优化Fillippone公式为:

$$[0014] \quad P_c^1 = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

[0015] 其中, $P_c^1$ 为优化地层压力系数, $V_p$ 为纵波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数,其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为 $V_{max}$ 及 $V_{min}$ 简化后的经验系数, $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

[0016] 优选地,所述Gardner公式为:

$$[0017] \quad \overline{\rho_{ov}} = \gamma * V_{ave}^{c_1} \quad (3)$$

[0018] 其中, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $\gamma$ 为经验系数, $c_1$ 为地层平均速度的指数。

[0019] 优选地,所述再优化Fillippone公式为:

$$[0020] \quad P_c^2 = (a_2 + b_2 V_p + d V_s) * V_{ave}^{c_2} + e \quad (4)$$

[0021] 其中, $P_c^2$ 为再优化地层压力系数, $V_p$ 为目的层纵波速度, $V_s$ 为横波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d$ 、 $e$ 为再优化系数,其中 $a_2$ 、 $b_2$ 及 $d$ 为纵波速度及横波速度的拟合经验系数, $c_2$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数, $e$ 为多元统计及回归计算中的经验常数。

[0022] 根据本发明的另一方面,提出了一种海相泥页岩地层的压力系数预测系统,可以包括:存储器,存储有计算机可执行指令;处理器,所述处理器运行所述存储器中的计算机可执行指令,执行以下步骤:准备钻井数据、测井数据与地震资料;针对超压页岩地层,选择敏感测井曲线,获取纵波速度与横波速度;基于所述钻井数据,分析钻井密度与所述纵波速度的关系,获得Gardner公式,基于所述关系和所述纵波速度对Fillippone公式进行优化,获取优化Fillippone公式,根据地层压力系数、所述纵波速度,拟合优化Fillippone公式中的系数;基于所述横波速度对所述优化Fillippone公式进行再次优化,获取再优化

Fillippone公式,根据所述Gardner公式、所述钻井数据、所述纵波速度与所述横波速度,拟合再优化Fillippone公式中的系数;基于所述再优化Fillippone公式,预测地层压力系数。

[0023] 优选地,针对所述超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井,分析对所述超压页岩地层敏感的测井参数,选择敏感测井曲线为所述纵波速度与所述横波速度。

[0024] 优选地,所述Fillippone公式为:

$$[0025] \quad P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{max} - V_p}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

[0026] 其中, $P_c$ 为地层压力系数, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_p$ 为纵波速度, $V_{max}$ 为孔隙为零时的地层速度, $V_{min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

[0027] 优选地,所述优化Fillippone公式为:

$$[0028] \quad P_c^1 = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

[0029] 其中, $P_c^1$ 为优化地层压力系数, $V_p$ 为纵波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数,其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为 $V_{max}$ 及 $V_{min}$ 简化后的经验系数, $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

[0030] 本发明的有益效果在于:通过对页岩气保存条件进行定量评价研究,完善和深化页岩气甜点预测技术序列,优选页岩气高产富集区,对于提高页岩气勘探成功率,推动南海相页岩气勘探开发进程具有重要的战略意义。

[0031] 本发明的方法和装置具有其它的特性和优点,这些特性和优点从并入本文中的附图和随后的具体实施方式中将是显而易见的,或者将在并入本文中的附图和随后的具体实施方式中进行详细陈述,这些附图和具体实施方式共同用于解释本发明的特定原理。

## 附图说明

[0032] 通过结合附图对本发明示例性实施例进行更详细的描述,本发明的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本发明示例性实施例中,相同的参考标号通常代表相同部件。

[0033] 图1示出了根据本发明的海相泥页岩地层的压力系数预测方法的步骤的流程图。

[0034] 图2a和图2b分别示出了根据本发明的一个实施例的纵波速度与横波速度的测井响应特征的示意图。

[0035] 图3示出了根据本发明的一个实施例的优化Fillippone公式、再优化Fillippone公式预测结果与实测结果的对比示意图。

[0036] 图4示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区过丁页1井-丁页3井-丁页2井五峰组-龙马溪组一段地层纵波速度反演剖面的示意图。

[0037] 图5示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区过丁页1井-丁页3井-丁页2井五峰组-龙马溪组一段地层横波速度反演剖面的示意图。

[0038] 图6示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区五峰组-龙马溪组一段页岩地层压力系数预测的示意图。

### 具体实施方式

[0039] 下面将参照附图更详细地描述本发明。虽然附图中显示了本发明的优选实施例，然而应该理解，可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了使本发明更加透彻和完整，并且能够将本发明的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0040] 图1示出了根据本发明的海相泥页岩地层的压力系数预测方法的步骤的流程图。

[0041] 在该实施例中，根据本发明的海相泥页岩地层的压力系数预测方法可以包括：

[0042] 步骤101，准备钻井数据、测井数据与地震资料。

[0043] 步骤102，针对超压页岩地层，选择敏感测井曲线，获取纵波速度与横波速度；在一个示例中，针对超压页岩地层，以偶极子声波测井或全波列声波测井，分析对超压页岩地层敏感的测井参数，选择敏感测井曲线，获取纵波速度与横波速度。

[0044] 步骤103，基于钻井数据，分析钻井密度与纵波速度的关系，获得Gardner公式，基于关系和纵波速度对Fillippone公式进行优化，获取优化Fillippone公式，根据地层压力系数、纵波速度，拟合优化Fillippone公式中的系数。

[0045] 在一个示例中，Fillippone公式为：

$$[0046] \quad P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{max} - V_p}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

[0047] 其中， $P_c$ 为地层压力系数， $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度， $V_p$ 为纵波速度， $V_{max}$ 为孔隙为零时的地层速度， $V_{min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

[0048] 在一个示例中，优化Fillippone公式为：

$$[0049] \quad P_c^1 = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

[0050] 其中， $P_c^1$ 为优化地层压力系数， $V_p$ 为纵波速度， $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度， $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数，其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为Fillippone公式中 $V_{max}$ 及 $V_{min}$ 简化后的经验系数， $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

[0051] 在一个示例中，Gardner公式为：

$$[0052] \quad \overline{\rho_{ov}} = \gamma * V_{ave}^{c_1} \quad (3)$$

[0053] 其中， $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度， $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度， $\gamma$ 为经验系数，包含纵波速度， $c_1$ 为地层平均速度的指数，实际数据拟合得到 $\gamma = 1.8$ ， $c_1 = 0.045$ 。

[0054] 步骤104，基于横波速度对优化Fillippone公式进行再次优化，获取再优化Fillippone公式，根据Gardner公式、所述钻井数据、纵波速度与横波速度，拟合再优化Fillippone公式中的系数，其中，所述钻井数据为实测地层压力系数。

[0055] 在一个示例中，再优化Fillippone公式为：

$$[0056] \quad P_c^2 = (a_2 + b_2 V_p + d V_s) * V_{ave}^{c_2} + e \quad (4)$$

[0057] 其中， $P_c^2$ 为再优化地层压力系数， $V_p$ 为目的层纵波速度， $V_s$ 为横波速度， $V_{ave}$ 为上覆

地层平均速度,  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d$ 、 $e$ 为再优化系数,其中 $a_2$ 、 $b_2$ 及 $d$ 为纵波速度及横波速度的拟合经验系数, $c_2$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数, $e$ 为多元统计及回归计算中的经验常数。

[0058] 步骤105,基于再优化Fillippone公式,预测地层压力系数。

[0059] 具体地,Fillippone法是由美国加利福尼亚联合石油公司的W.R.Fillippone提出的,他于1978年和1982年通过对墨西哥湾等地区的钻井、测井、地震等多方面资料的综合分析研究得出的不依赖于正常压实趋势线的计算公式,并在实际应用中取得了较好的效果,计算公式为公式(5):

$$[0060] \quad \begin{cases} P_p = P_{ov} \times \frac{V_{\max} - V_i}{V_{\max} - V_{\min}} \\ P_{ov} = \overline{\rho_{ov}} gh \end{cases} \quad (5)$$

[0061] 其中, $P_p$ 为地层压力, $P_{ov}$ 为上覆地层压力, $h$ 为深度, $g$ 为重力加速度。将公式(5)以及静水柱压力计算公式( $P_w = \rho_w gh$ , $\rho_w$ 为地层水的相对密度)代入压力系数 $P_c$ 的定义公式( $P_c = P_p/P_w$ ),得到Fillippone公式为公式(1)。

[0062] 准备钻井数据、测井数据与地震资料,钻井数据主要为页岩气探井压力系数实测结果,测井数据包括偶极子声波测井或全波列声波测井资料,至少包括纵波时差、横波时差、密度测井曲线等,地震资料包括常规叠后或叠前偏移处理的成果数据、速度谱数据、构造解释层位及断层数据。

[0063] 根据页岩地层超压机理研究表明,超压富有机质泥页岩地层具有较高的孔隙度,表现为“欠压实”特征。针对超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井资料,分析对页岩超压页岩储层敏感的测井参数,优选出敏感测井曲线,即为纵波速度曲线与横波速度曲线,进而获得纵波速度与横波速度。纵波速度与横波速度是通过叠前同时反演技术获取,利用优化后的高质量CRP叠前道集,选择Aki-Richards近似方程为反演方程,通过叠前同时反演技术获得目的层纵波速度及横波速度反演结果。

[0064] 在测井响应特征分析的基础上,为便于地震预测实现,将公式(1)进行优化,基于海相页岩地层岩性岩相相对一致的特征,首先将目的地层最大、最小速度优化为单一系数 $a_1$ 、 $b_1$ ,同时基于Gardner公式,即公式(3),由于Fillippone公式中 $V_{\max}$ 及 $V_{\min}$ 难以准确获取,且针对海相泥页岩地层岩相及岩性稳定的地质特征,对 $V_{\max}$ 及 $V_{\min}$ 参数优化为统一的经验系数 $a_1$ 及 $b_1$ ,将上覆地层的平均密度优化为平均速度的指数式,系数为 $c_1$ ,从而简化后针对海相泥页岩地层的优化Fillippone公式为公式(2),根据地层实测压力系数、纵波速度通过多元统计回归算法,拟合优化Fillippone公式中的系数。其中,平均速度是通过模型层析速度建模方法获取的,首先通过CVI约束层速度反演,解决DIX反演速度横向不连续及纵向不稳定问题,能获得较为平滑的速度体,以此为初始模型,再结合构造解释模型及测井速度,采用反射波层析成像算法修改射线节点,反复迭代,最终得到稳定可靠的地层平均速度体 $V_{ave}$ 。

[0065] 结合实测地层压力系数结果,利用公式(2)进行海相页岩地层压力系数计算的精度偏低,鉴于目的层纵波速度影响因素的复杂多样性,包括受地层埋深起伏的影响,进一步改进公式(2),引入横波速度,增加参与压力系数计算的敏感信息,提高计算精度,获得再优



化Fillippone公式为公式(4)。

[0066] 图2a和图2b分别示出了根据本发明的一个实施例的纵波速度与横波速度的测井响应特征的示意图。

[0067] 根据焦石坝区块及丁山区块10口重点探井测井曲线的统计分析,针对超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井资料,分析对页岩超压页岩储层敏感的测井参数,优选出敏感测井曲线,即为纵波速度曲线与横波速度曲线,进而获得纵波速度与横波速度的测井响应特征,如图2a与图2b所示,图中地层压力系数随着目的层纵波速度及横波速度增大,压力系数降低,压力系数大于1.2的超压地层为明显的低纵波速度及低横波速度信息。同时,从压力系数与纵波速度的交会分析发现,单纯的依据纵波速度的无法实现压力系数准确预测,尤其是丁页1、丁页3及焦页5,预测误差均大于0.3,因而优化Fillippone公式无法在构造复杂区(丁山地区及焦石坝焦页5井区)推广应用,因此,结合实测地层压力系数结果,利用公式(2)进行海相页岩地层压力系数计算的精度偏低。鉴于目的层纵波速度影响因素的复杂多样性,包括受地层埋深起伏的影响,进一步改进公式(2),引入横波速度,增加参与压力系数计算的敏感信息,提高计算精度,获得再优化Fillippone公式为公式(4)。根据公式(3),拟合公式(4)的系数 $c_1$ ,然后依据重点探井压力测试结果及纵横波速度信息,通过多元统计及回归的方法,拟合公式(4)中的系数 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $d$ 及 $e$ 。基于公式(4),预测地层压力系数。

[0068] 本方法通过对页岩气保存条件进行定量评价研究,完善和深化页岩气甜点预测技术序列,优选页岩气高产富集区,对于提高页岩气勘探成功率,推动南方海相页岩气勘探开发进程具有重要的战略意义。

#### [0069] 应用示例

[0070] 为便于理解本发明实施例的方案及其效果,以下给出一个具体应用示例。本领域技术人员应理解,该示例仅为了便于理解本发明,其任何具体细节并非意在以任何方式限制本发明。

[0071] 准备钻井数据、测井数据与地震资料,钻井数据主要为焦石坝区块及丁山区块10口重点探井(焦页1、焦页2、焦页3、焦页4、焦页5、焦页6、焦页7、丁页1、丁页2及丁页3井),五峰组-龙马溪组地层压力系数实测结果;测井数据主要为纵波速度及横波速度;地震资料包括焦石坝区块及丁山区块常规叠后或叠前偏移处理的成果数据、速度谱数据、构造解释层位及断层数据。

[0072] 在测井响应特征分析的基础上,为便于地震预测实现,将公式(1)进行优化,基于海相页岩地层岩性岩相相对一致的特征,首先将目的地层最大、最小速度优化为单一系数 $a_1$ 、 $b_1$ ,同时基于Gardner公式,即公式(3),将上覆地层的平均密度优化为平均速度的指数式,系数为 $c_1$ ,从而简化后针对海相泥页岩地层的优化Fillippone公式为公式(2),根据地层压力系数、纵波速度,拟合优化Fillippone公式中的系数为 $a_1=1.91583$ 、 $b_1=0.00023$ 、 $c_1=0.045$ 。其中,平均速度是通过模型层析速度建模方法获取的,首先通过CVI约束层速度反演,解决DIX反演速度横向不连续及纵向不稳定问题,能获得较为平滑的速度体,以此为初始模型,再结合构造解释模型及测井速度,采用反射波层析成像算法修改射线节点,反复迭代,最终得到稳定可靠的地层平均速度体 $V_{ave}$ 。

[0073] 结合实测地层压力系数结果,利用公式(2)进行海相页岩地层压力系数计算的精

度偏低,鉴于目的层纵波速度影响因素的复杂多样性,包括受地层埋深起伏的影响,进一步改进公式(2),引入横波速度,增加参与压力系数计算的敏感信息,提高计算精度,获得再优化Fillippone公式为公式(4)。根据公式(3),拟合公式(4)的系数 $c_2=0.045$ ,然后依据重点探井压力测试结果及纵横波速度信息,通过多元统计及回归的方法,拟合公式(4)中的系数为 $a_2=95.425$ 、 $b_2=0.000222$ 、 $d=-0.001677$ 、 $e=-133.9418$ 。基于公式(4),预测地层压力系数。

[0074] 图3示出了根据本发明的一个实施例的优化Fillippone公式、再优化Fillippone公式预测结果与实测结果的对比示意图,其中,灰线表示优化Fillippone公式预测结果,黑线表示再优化Fillippone公式预测结果,虚线表示实测结果,图中可明显看出再优化Fillippone公式预测精度更高,尤其是提高了复杂构造区钻井(丁页1、丁页3及焦页5)压力系数预测精度。

[0075] 图4示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区过丁页1井-丁页3井-丁页2井五峰组-龙马溪组一段地层纵波速度反演剖面的示意图。

[0076] 图5示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区过丁页1井-丁页3井-丁页2井五峰组-龙马溪组一段地层横波速度反演剖面的示意图。根据图4与图5,丁页1井到丁页2井地层的纵波速度与横波速度不断减小。

[0077] 图6示出了根据本发明的一个实施例的丁山地区五峰组-龙马溪组一段页岩地层压力系数预测的示意图。由图可知,预测结果与实测吻合较好。由丁山地区东南部到盆内的西北部压力系数不断增大,其中丁页2井区压力系数最大,属于异常高压带,丁页2井压力系数预测1.52,实测1.49;丁山地区东南部大尺度高角度裂缝的发育破坏了页岩气保存条件,地层压力系数显著降低,丁页1及丁页3压力系数预测结果分别为0.9及1.1,实测分别为0.98及1.08。

[0078] 综上所述,本发明通过对页岩气保存条件进行定量评价研究,完善和深化页岩气甜点预测技术序列,优选页岩气高产富集区,对于提高页岩气勘探成功率,推动南方海相页岩气勘探开发进程具有重要的战略意义。

[0079] 本领域技术人员应理解,上面对本发明的实施例的描述的目的仅为了示例性地说明本发明的实施例的有益效果,并不意在将本发明的实施例限制于所给出的任何示例。

[0080] 根据本发明的实施例,提供了一种海相泥页岩地层的压力系数预测系统,可以包括:存储器,存储有计算机可执行指令;处理器,处理器运行存储器中的计算机可执行指令,执行以下步骤:准备钻井数据、测井数据与地震资料;针对超压页岩地层,选择敏感测井曲线,获取纵波速度与横波速度;基于钻井数据,分析钻井密度与纵波速度的关系,获得Gardner公式,基于关系和纵波速度对Fillippone公式进行优化,获取优化Fillippone公式,根据地层压力系数、纵波速度,拟合优化Fillippone公式中的系数;基于横波速度对优化Fillippone公式进行再次优化,获取再优化Fillippone公式,根据Gardner公式、所述钻井数据、纵波速度与横波速度,拟合再优化Fillippone公式中的系数;基于再优化Fillippone公式,预测地层压力系数。

[0081] 在一个示例中,针对所述超压页岩地层,以偶极子声波测井或全波列声波测井,分析对所述超压页岩地层敏感的测井参数,选择敏感测井曲线为所述纵波速度与所述横波速度。

[0082] 在一个示例中,Fillippone公式为:

$$[0083] \quad P_c = \overline{\rho_{ov}} * \frac{V_{\max} - V_p}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (1)$$

[0084] 其中, $P_c$ 为地层压力系数, $\overline{\rho_{ov}}$ 为上覆地层的平均密度, $V_p$ 为纵波速度, $V_{\max}$ 为孔隙为零时的地层速度, $V_{\min}$ 为刚性为零时的岩石速度。

[0085] 在一个示例中,优化Fillippone公式为:

$$[0086] \quad P_c^1 = (a_1 + b_1 V_p) * V_{ave}^{c_1} \quad (2)$$

[0087] 其中, $P_c^1$ 为优化地层压力系数, $V_p$ 为纵波速度, $V_{ave}$ 为上覆地层平均速度, $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ 为优化系数,其中 $a_1$ 及 $b_1$ 为 $V_{\max}$ 及 $V_{\min}$ 简化后的经验系数, $c_1$ 为Gardner公式中的地层平均速度的指数。

[0088] 本发明通过对页岩气保存条件进行定量评价研究,完善和深化页岩气甜点预测技术序列,优选页岩气高产富集区,对于提高页岩气勘探成功率,推动南方海相页岩气勘探开发进程具有重要的战略意义。

[0089] 本领域技术人员应理解,上面对本发明的实施例的描述的目的仅为了示例性地说明本发明的实施例的有益效果,并不意在将本发明的实施例限制于所给出的任何示例。

[0090] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。

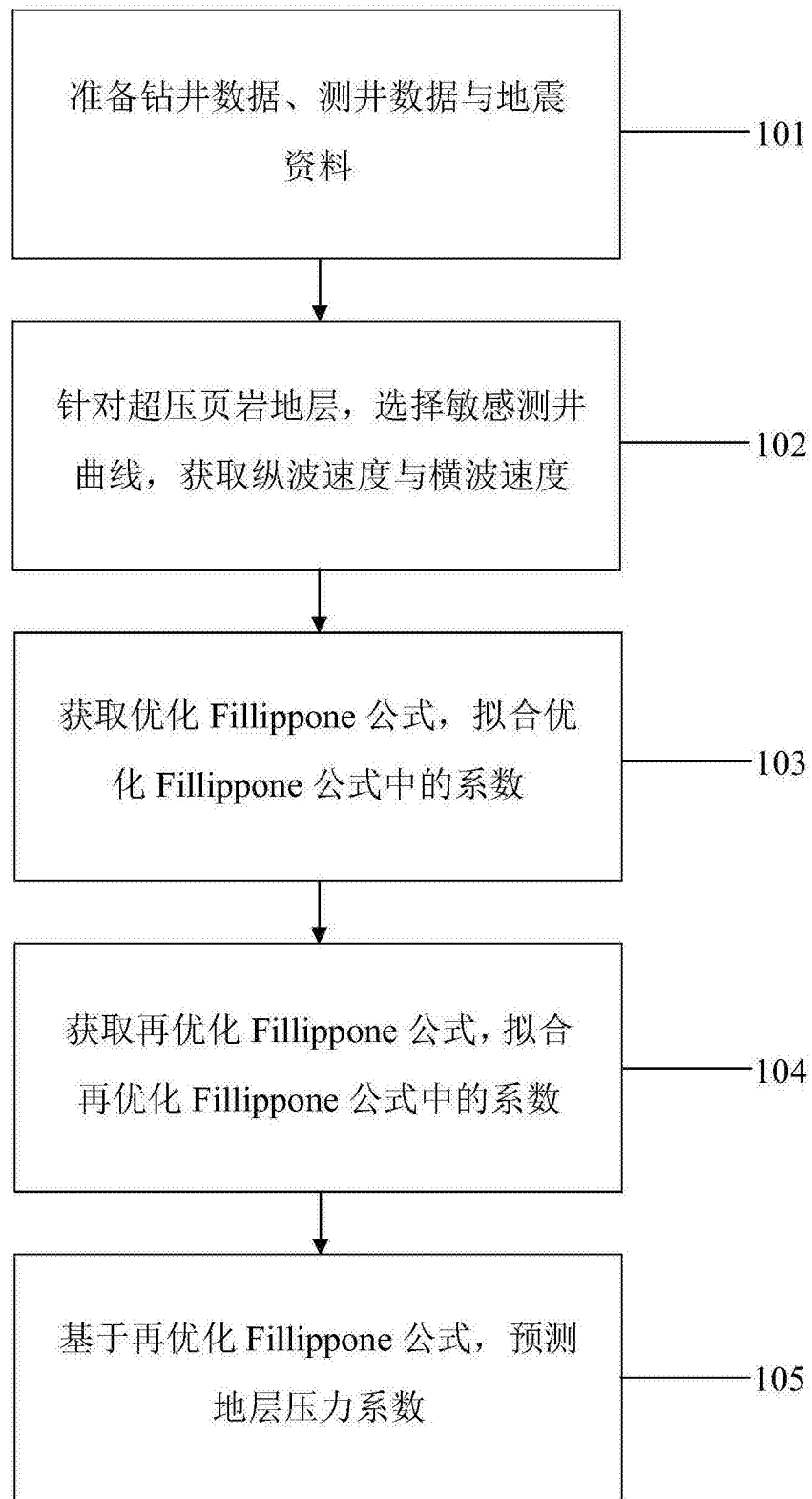


图1

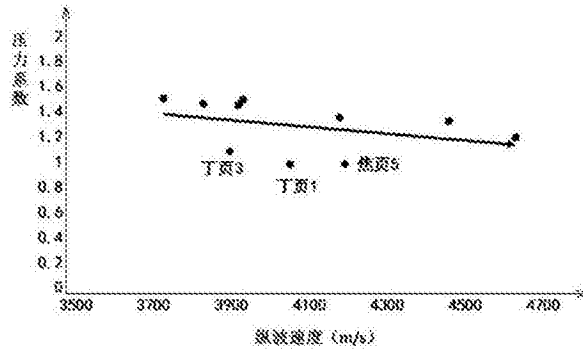


图2a

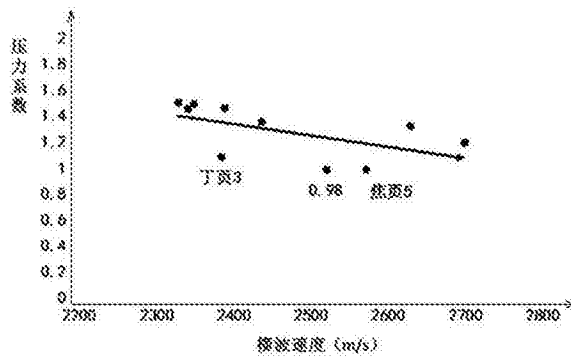


图2b

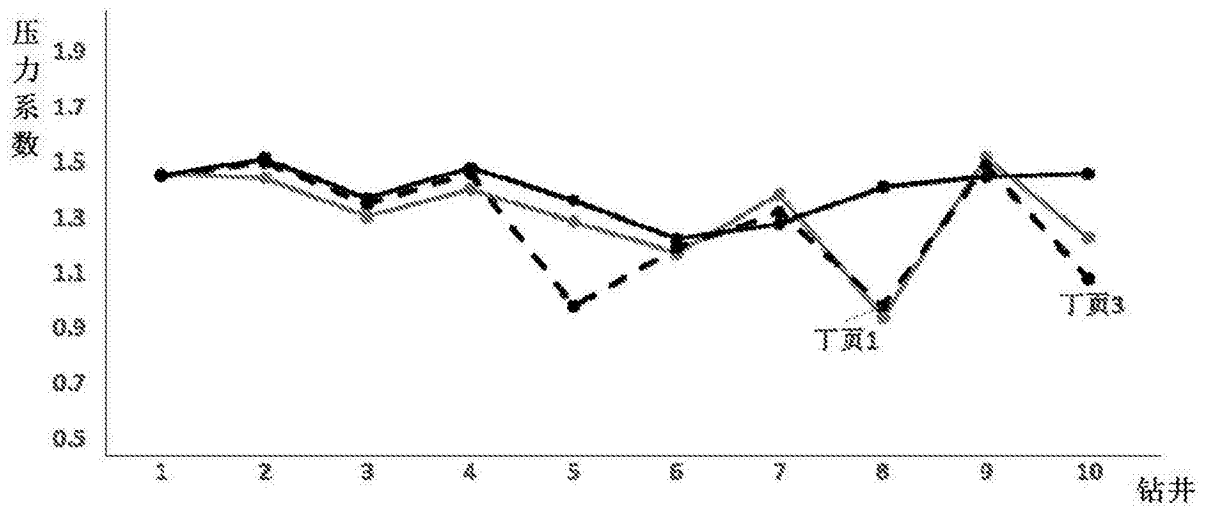


图3

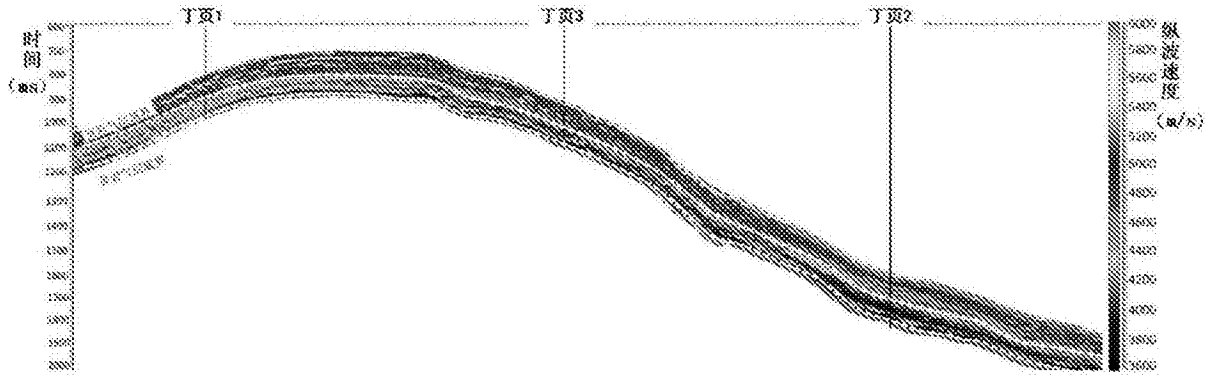


图4

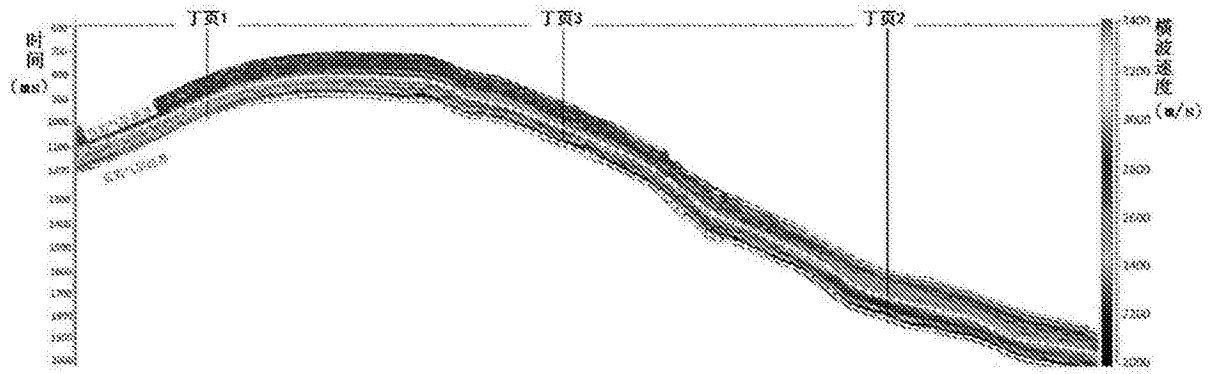


图5

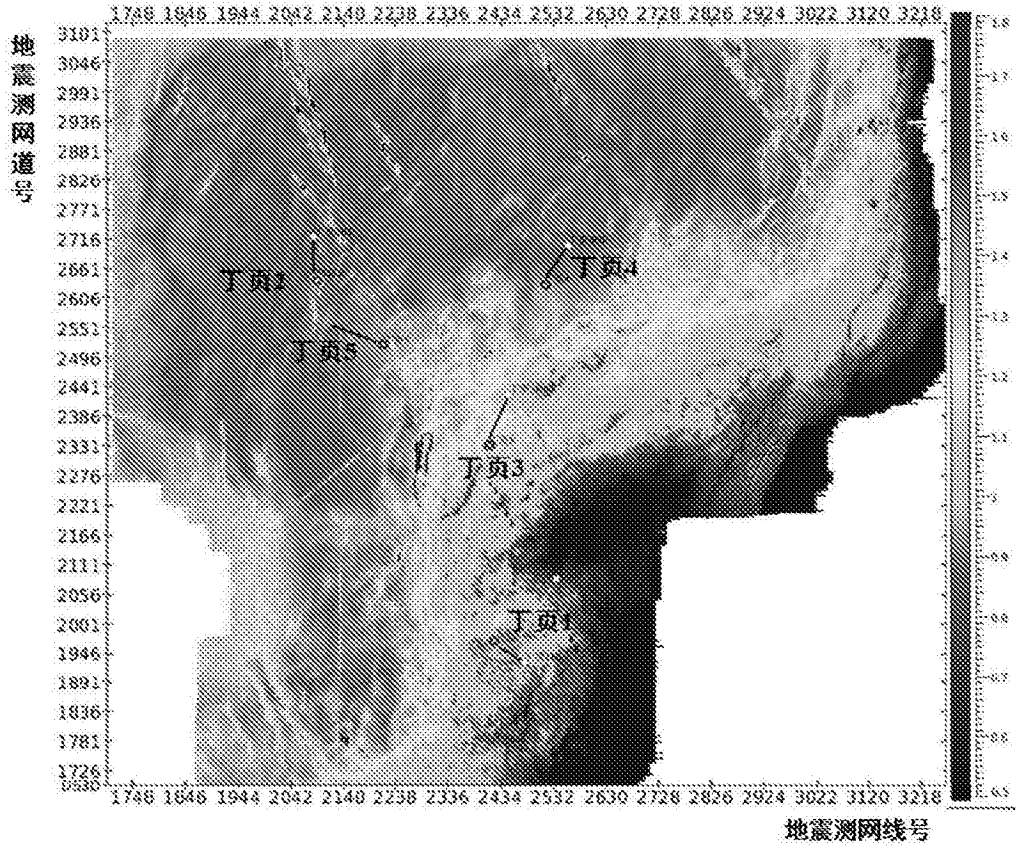


图6