



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104314552 B

(45)授权公告日 2017.09.26

(21)申请号 201410457176.X

(22)申请日 2010.05.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104314552 A

(43)申请公布日 2015.01.28

(30)优先权数据

0909038.2 2009.05.27 GB

0919915.9 2009.11.13 GB

(62)分案原申请数据

201080005244.9 2010.05.27

(73)专利权人 光学感应器控股有限公司

地址 英国汉普郡

(72)发明人 D.J.希尔 M.麦尤恩-金

P.丁德尔

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 马红梅 刘春元

(51)Int.Cl.

E21B 47/00(2012.01)

E21B 47/135(2012.01)

E21B 43/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 101371005 A, 2009.02.18,

WO 2004092540 A1, 2004.10.28,

US 2007215345 A1, 2007.09.20,

US 2003218939 A1, 2003.11.27,

US 2008236836 A1, 2008.10.02,

审查员 杨健

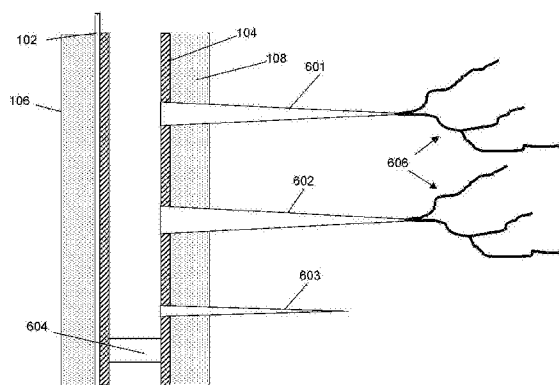
权利要求书1页 说明书16页 附图6页

(54)发明名称

压裂监测

(57)摘要

本申请涉及用于在油/气井形成期间监测水力压裂的方法和设备。沿井眼(106)(其可以是执行压裂的井眼)向下部署的光纤线缆(102)被询问以提供分布式声学传感器。数据从光纤的至少一个纵向感测部分采样且被处理以提供至少一个压裂特性。压裂特性可以包括指示压裂事件(606)的高频瞬变。瞬变的强度、频率、持续时间以及信号演变被监测以提供压裂特性。另外地或备选地,压裂特性可以包括由到压裂位点的压裂流体流动产生的较长期声学噪声。噪声的强度和频率可以被分析以确定压裂特性。该方法允许压裂过程的实时控制。



1. 一种水力压裂的井下监测方法,包括以下步骤:
询问沿着井眼的路径向布置的光纤以提供分布式声学感测;
采样来自所述询问的多个信道输出以在多个时间中的每一个时间从所述光纤的多个部分提供声学数据;以及
处理所述声学数据以检测压裂特性且提供所述压裂特性的指示,其中至少一个压裂特性的指示包括支撑剂冲蚀的指示。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中该方法提供支撑剂冲蚀的实时指示。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光纤被布置在执行水力压裂的井眼中。
4. 根据权利要求1所述的方法,包括生成代表由压裂位点附近的光纤的至少一个纵向部分检测的声学信号的可听到的信号。
5. 根据权利要求1-4中的任一项所述的方法,其中该方法包括分析在水力压裂期间来自沿着井眼的长度的光纤的感测部分的数据以检测指示离开不对应于压裂位点的井套管的流体的流动的任何信号。
6. 根据权利要求1-4中的任一项所述的方法,包括在水力压裂之前识别套管和/或环绕水泥的故障的任何潜在点的步骤。
7. 根据权利要求6所述的方法,包括监测来自光纤的多个感测部分的声学扰动以产生井眼的声学剖面且分析所述剖面以检测任何异常的步骤。
8. 根据权利要求7所述的方法,其中通过监测响应于被射出的射孔弹的声学扰动获得所述声学剖面。
9. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其中询问光纤且采样数据的步骤包括:将一系列光学脉冲发射到所述光纤中且检测光纤的瑞利反向散射的辐射;以及处理所检测的瑞利反向散射的辐射以提供光纤的多个离散的纵向感测部分。
10. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其中所述光纤是单模光纤,所述单模光纤在缺少任何外部激励时,沿着其长度没有光学属性的任何实质变化。
11. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其中光纤的纵向感测部分在长度上是10m或更短。
12. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其中光纤以大于或等于5kHz的采样速率采样。
13. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其中至少250个信道被同时采样。
14. 一种用于井下监测的系统,所述系统包括:光纤询问器,其适于在沿着井眼的路径布置的光纤上提供分布式声学感测;采样器,其布置为采样来自所述询问器的多个信道输出以在多个时间中的每一个时间从所述光纤的多个部分提供声学数据;以及数据分析器,其适于处理所述声学数据以检测压裂特性且提供所述压裂特性的指示,其中至少一个压裂特性的指示包括支撑剂冲蚀的指示。
15. 根据权利要求14所述的系统,其中光纤沿着井套管的外部部署。
16. 根据权利要求14所述的系统,被用在井下井眼中,其中执行水力压裂以提供用于控制水力压裂过程目的的有关于压裂过程的信息。

压裂监测

[0001] 本申请是于2011年7月22日进入中国国家阶段的申请号为201080005244.9且发明名称为“压裂监测”的中国发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及对在诸如油和气井的生产井的形成期间的压裂进行监测。在这种井的形成中使用的步骤的监测和这种井在使用中的监测通常被称为井下监测。具体而言,本发明涉及使用分布式声学感测(DAS)的井下监测。

背景技术

[0003] 光纤传感器正变成用于例如地球物理应用的广泛应用的已被大家接受的技术。光纤传感器可以具有各种形式,且常被采用的形式是在心轴周围布置光纤线圈。诸如地震检波器或水中地震检波器的点传感器可以以这种方式制成以检测一点处的声学 and 地震数据,且这种点传感器的大阵列可以连同使用光纤连接线缆而被复用以形成完全的光纤系统。无源复用可以全光学地实现,且优点在于不需要电连接,这在电学装置容易损害的苛刻环境中是有很大大益处的。

[0004] 已经发现光纤传感器在井下监测中的应用,且已知在井中或井周围提供地震检波器的阵列以检测地震信号,其中目标在于更好地理解局部地理状况和提取过程。这种方法的问题在于地震检波器倾向于相对大且所以难以在井下安装。另外,地震检波器倾向于具有有限的动态范围。

[0005] WO 2005/033465描述了一种使用具有很多周期性折射率扰动的光纤(例如布拉格光栅)的井下声学监测的系统。声学数据被光纤的部分检索到且用于在操作过程中监测井下状况。

[0006] 压裂是被称为非常规井的一些油或气井的形成期间的重要过程,以激励来自岩层的油或气的流动。典型地,在岩层中钻出钻孔且内部衬有套管。套管的外部可以使用水泥填充从而在流动开始时防止含水土层等的污染。在非常规井中,岩层可能要求压裂以激励流动。典型地,这通过射孔接着是水力压裂的两阶段过程实现。射孔涉及射出来自套管内的一系列射孔弹(即聚能弹),该射孔弹产生通过套管和水泥延伸到岩层的射孔。一旦射孔完成,通过在高压下将诸如水的流体泵浦到井下,岩石被压裂。该流体因此被强制进入射孔且在达到足够压力时导致岩石的压裂。诸如沙子的固体微粒典型地被添加到流体中以打在形成的压裂中且保持它们开放。这种固体微粒被称为支撑剂。井可以在开始于距离井头最远的井区段(section)的一系列区段中射孔。因而,当井的区段被射孔时,它可以被堵塞器阻断,而井的下一区段被射孔且压裂。

[0007] 压裂过程是非常规井形成中的关键步骤,且它是有效地确定井的效率的压裂过程。然而,压裂过程的控制和监测十分困难。流体和支撑剂的数量以及流速一般被测量以帮助确定何时已经发生足够的压裂且还在压裂过程中识别潜在的问题。

[0008] 当环绕套管的水泥出现故障且流体简单地流到空隙中时发生一种已知为支撑剂

冲蚀的可能问题。这浪费了支撑剂流体且防止了高效的压裂。高流速或流速中的突然增加可以指示支撑剂冲蚀。

[0009] 另一问题涉及可能形成的这种情况：大多数流体和支撑剂经由一个或多个射孔流向岩层，防止了经由其他射孔位点的有效压裂。典型地，压裂过程针对井的片段执行，并且如上所述，若干射孔可以沿着该井区段的长度形成，使得后续水力压裂过程导致在沿着该井区段的很多不同位置处的压裂。然而，在水力压裂过程期间，一个或多个射孔位点处的岩石可能比其余射孔处的岩石更容易压裂。在这种情况下，正形成的压裂中的一个或多个可能开始获取大部分流体和支撑剂，从而减小在其他射孔位点处的压力。这可以导致其他射孔位点处的减小的压裂。增加流体和支撑剂的流速可以简单地导致在第一射孔位点处的增加压裂，这可以简单地放大压裂且对经由该压裂容纳多少油或气没有明显的影响。然而，在其他位点处的减小压裂可以减小经由那些位点容纳的油和气的数量，因而整体上不利地影响井的效率。例如，假设井的区段在4个不同位置处射孔以用于后续压裂。如果在压裂过程期间3个射孔位点相对容易压裂，则更多的流体和支撑剂将流向这些位点。这可能防止第四压裂位点不断形成足够的压力来有效地压裂，其中结果是仅3个压裂延伸到岩层中以提供流动路径。因而，井的该区段的效率仅是期望的理想情况的75%。

[0010] 如果怀疑这种情形，附加的较大的固体材料可以添加到流体中，该固体材料典型地是特定大小或大小范围的固体材料球。球的大小使得它们可以流入到相对大的压裂中，在那里它们将被嵌入以导致堵塞，但是它们又足够大而不干扰相对小的压裂。以这种方式，可能消耗大多数压裂流体的相对大的压裂在水力压裂过程期间被部分地阻断，其中结果是到所有压裂的流被平分。

[0011] 常规地，压裂流体的流动状况被监测以试图确定一个或多个压裂位点是否正变得占主导且因而防止在一个或多个其他压裂位点处的有效压裂，但这是难以完成的且通常依赖于井工程师的经验。

[0012] 除了上述问题，仅仅控制压裂过程以确保发生所期程度的压裂也是困难的。而且，可能存在所提供的多于一个的井以从岩层提取油或气。当产生新井时，压裂不应扩展到已经提供现有井的岩层的区域中，因为新井处来自这种区域的任何流动可能简单地减小现有井处的流动。然而确定压裂的方向和程度是十分困难的。

[0013] 除了监测流体的流速之外，在压裂过程期间可以从位于单独观察的井和/或在地平面处的传感器获取传感器读数。这些传感器可以包括部署为在压裂过程期间记录地震事件的地震检波器或其他地震传感器。在压裂过程之后，然后可以分析这些传感器读数以试图确定压裂的一般位置和程度，但是几乎不提供用于压裂过程的实时控制的作用。

发明内容

[0014] 本发明的目的是提供用于井下压裂的监测的改善的系统和方法。

[0015] 根据本发明的第一方面，提供一种用于水力压裂的井下监测的方法，包括以下步骤：询问沿着井眼的路径向布置的光纤以提供分布式声学传感器，从光纤的多个纵向部分采样数据；以及处理所述数据以提供至少一个压裂特性的指示。

[0016] 分布式声学感测 (DAS) 提供对于点传感器的光纤感测的备选形式，由此单一长度的纵向光纤通常通过一个或多个输入脉冲被光学询问以提供沿着其长度的振动活动的基

本连续感测。光学脉冲被发射到光纤中且从光纤内反向散射的辐射被检测和分析。瑞利反向散射最常被检测到。通过分析光纤内反向散射的辐射,光纤可以有效地分成可以(但是不必)邻近的多个离散的感测部分。在每个离散感测部分中,例如来自声源的光纤的机械振动导致从该部分反向散射的辐射数量中的变动。该变动可以被检测和分析且用于给出该感测部分处光纤的扰动强度的度量。当在本说明书中使用时,术语“分布式声学传感器”将表示包括被光学地询问以提供沿着光纤纵向分布的多个离散声学感测部分的光纤的传感器,且声学将表示包括地震波的任何类型的机械振动或压力波。该方法因此可以包括将一系列光学脉冲发射到所述光纤中且检测所述光纤瑞利反向散射的辐射;以及处理检测的瑞利反向散射辐射以提供光纤的多个离散纵向感测部分。注意当在本文中使用时,术语光学不限制为可见光谱且光学辐射包括红外辐射和紫外辐射。

[0017] 单一长度的光纤典型地是单模光纤,且优选地没有任何反射镜、反射器、光栅或(缺少任何外部激励的情况下)沿着其长度没有任何光学属性的改变,即,缺少沿着其长度的任何设计的光学变动。这提供了这样的优点:可以使用未经修改的基本连续长度的标准光纤,要求很少的修改或无需修改或使用准备。合适的DAS系统例如在其内容通过引用结合于此的GB2442745中描述。这种传感器可以看作是完全分布式或本征传感器,因为它使用在光纤中固有处理的本征散射,且因而贯穿整个光纤分布感测功能。

[0018] 因为光纤不具有不连续性,所以通过光纤的询问确定对应于每个信道的光纤区段的长度和布置。这些可以根据光纤和它监测的井的物理布置且还根据所需监测类型来选择。这样,沿着光纤的距离或在基本垂直井的情况中的深度以及每个光纤区段的长度或信道分辨率可以根据改变输入脉冲宽度和输入脉冲占空比的询问器的调节而变化,而不对光纤做任何改变。分布式声学感测可以用40km或更长的纵向光纤操作,例如,将感测的数据分解到10m的长度。在典型的井下应用中,几公里的光纤长度是常见的,即光纤沿着整个钻孔的长度延伸且光纤的纵向感测部分的信道分辨率可以是大约1m或几米。如上所述,空间分辨率(即光纤的各个感测部分的长度)以及信道的分布在使用期间例如可以响应于所检测到的信号而变化。

[0019] 在本发明的方法中,来自光纤的返回被处理以提供至少一个压裂特性的指示。在诸如GB2442745中描述的DAS传感器中,来自每个单独声学信道的处理可以实时地完成。因而,本发明的方法提供实时即没有任何明显延迟的压裂特性的指示。当前方法提供的压裂特性的指示因此可以在控制压裂过程中使用。本发明的方法在流体和支撑剂被强制向下进入井眼的时间期间执行且提供在井下发生什么的实时指示。这可以允许操作员在必要时基于压裂特性的指示(即来自DAS传感器的数据)调节流动参数、停止流动或添加附加的固体材料。在一些实施例中,自动控制器可以适配以基于压裂特性自动地调节流动参数。

[0020] 技术人员将意识到,将固有地存在存在接收从光纤的相关区段反向散射的辐射中涉及的一些小延迟,因为辐射必须从发生散射的光纤的相关部分行进回到光纤的端部处的检测器。而且,将存在与检测器的操作、数据的采样和数据的处理相关的一些小的延迟,从而提供压裂特性的指示。然而,根据本发明的DAS感测可以提供由光纤的感测部分检测的声学扰动的指示而没有来自实际扰动的任何明显延迟,即,几秒或1秒内,或者500ms、100ms、10ms内的或更小的延迟。这可以通过使用商业上可得到的检测器和处理器实现。

[0021] 压裂特性的指示可以包括来自位于压裂位点附近的光纤的一个或多个选择的感

测部分的声学信号的音频回放。

[0022] 光纤优选地位于在其中执行压裂的井眼内。在一种布置中,光纤沿着井套管的外部延伸,不过在一些实施例中光纤可以布置为在套管内延伸。光纤可以在它被插入到井眼中时附接到井套管,且如果位于套管的外部上,则随后被水泥巩固在水泥巩固的井的那些区段中的适当位置。

[0023] 光纤因此遵循井眼的一般路线且至少最远延伸到井眼中发生压裂的区域。当压裂井眼的任何给定区段时,光纤因此可以被询问以提供压裂位点附近(即,沿着压裂流体流动或者期望流动到岩层中以导致压裂的井眼的位置)的一个或优选地多个声学感测部分。感兴趣的感测部分的地点或位置一般从沿着光纤的长度以及因此井的知识获知。然而,当执行射孔时,该方法可以包括监测通过射孔步骤产生的光纤中的声学扰动。在射孔期间的声学扰动可以用于确定对应于压裂位点的光纤的部分。例如,在射孔期间呈现最大声学扰动强度的光纤的部分将一般对应于射孔弹射出的位置且因而对应于压裂位点。

[0024] 来自其中期望压裂的光纤的一个或多个相关区段的声学信号因此可以在适当的音频装置上播放。这将为控制压裂过程的人员提供在压裂位点处发生什么的可听得的反馈。流体和支撑剂的流动将产生背景噪声信号且压裂将是听上去对于操作员类似于爆裂声的相对高强度的瞬变信号。监听紧挨着各个射孔位点的光纤的声学信道产生的信号的操作员将因此被提供有支撑剂流体的流动的实时音频反馈以及在该压裂位点处发生的任何结果所得压裂。

[0025] 将意识到,深井眼下的状况可能是恶劣的且在水力压裂期间更是如此。因此,在压裂期间沿着井眼向下放置专用传感器迄今仍没得到实践。本发明的方法使用可以位于井套管的外部上的光纤来提供正在压裂的井眼中的井下传感器。

[0026] 指示还可以包括很多不同压裂位点中的每一个附近的声学扰动的强度水平的比较。光纤的每个相关感测部分中的平均强度或声学能量可以用于指示一个压裂位点的执行是否明显不同于另一压裂位点,例如,一个压裂位点相比于另一压裂位点是否与明显更低地或更高的声学能量相关联。这可以用于指示特定一个或多个压裂位点是否比其他压裂位点更加活跃(active)或更加不活跃。

[0027] 如果一个压裂位点附近的光纤的声学信道示出比其他压裂位点明显更高的声学能量,则这可能是较大比例的支撑剂流体在该点流入到岩层中的符号。类似地,如果一个压裂位点示出相对低的声学强度,则这可能是没有明显的支撑剂流体流动到岩层中的指示。因而,相对声学强度可以用于指示一个或多个压裂位点消耗更多的支撑剂流体和/或一个或多个压裂位点相对不活跃。

[0028] 该信息可以被控制压裂过程的人员使用以修改支撑剂流动状况。例如,如上面所讨论,流速可以改变或诸如颗粒大小的球的固体材料可以添加到流中以部分地阻断占主导的压裂位点。本发明的方法提供一种可靠的方法来确定一个或多个压裂位点何时消耗大多数支撑剂,从而允许过程的操作员做出任何必要的改变。而且,本方法提供关于操作员做出的改变是否有效的实时反馈,例如在改善压裂或在若干压裂位点之间平分压裂。如上所述,固体材料球可以添加到压裂流体以部分地阻断占主导的压裂位点。选择适当大小或大小范围的材料对于确保占主导的压裂被部分地阻断而其他压裂不被明显阻碍是重要的。添加的材料的大小的选择和添加的材料的选择可能是极大的猜测。然而,使用本发明的方

法,附加固体材料可以按阶段添加,其中在不同阶段添加不同大小,且对于在每个压裂位点处的声学强度的影响被实时监测。

[0029] 针对正被监测的分离声学信道中的每一个,声学信息可以被显示为声学能量(即强度)的实时图表。这为操作员提供了对于每个压裂位点的相关活动的视觉指示。也可以采用视觉地显示数据的其他手段。

[0030] 该方法可以涉及将来自光纤的纵向感测部分的数据分成一个或多个谱带。换句话说,数据可以被过滤,从而仅包括特定谱带的频率范围内的频率的声学扰动。通过谱带分析数据可以更清晰地指示压裂位点处各个信道之间的声学差异。当支撑剂流体流是包括微粒的高压流体流时,它固有地是有噪声的过程且将由于套管内的流而存在各种声学响应。进入射孔的流可以与特定频率特性相关且因而流之间的差异可以在一个或多个特定谱带处更容易觉察。

[0031] 如上所述,水力压裂步骤固有地是非常有噪声的过程。因而,在发生压裂的井眼中使用声学传感器提供关于压裂发生的有用信息是令人惊喜的且在正执行水力压裂的井眼中使用井下分布式声学传感器提供关于压裂过程的有用信息(即可以用于明智地修改过程的信息)代表本发明的另一方面。

[0032] 在一些情况中,最感兴趣的谱带可以是提前已知的。然而,在一些其他情况中,井的动力学和压裂过程的动力学可能完全影响光谱响应。因此,在一些实施例中,该方法可以包括将来自光纤的相关感测部分的声学扰动分成多个谱带,每个谱带都可以显示给操作员。不同的谱带可以同时或相继显示给操作员或该操作员可以选择显示谱带中的哪些谱带。

[0033] 谱带可以被处理以自动检测感兴趣的谱带。例如,对于每个谱带的数据可以被处理以检测可能指示来自流入到射孔位点的支撑剂和流体的声学信号的平均能量的明显局部最大的存在。例如,当基于光纤的知识预先确定时、当通过操作员选择时或者当通过在射孔弹的射出期间的测量确定时,处理可以基于对应于射孔位点的声学信道的知识而限制。换句话说,谱带将被分析以确定对应于射孔位点的信道中的能量明显高于其他附近信道的能量的谱带。谱带还可以被分析以检测对应于射孔位点的一个或多个信道的声学能量明显低于一个或多个其他射孔位点的声学能量的任何谱带。可以向操作员显示或强调相关的谱带。

[0034] 该方法还可以包括随时间监测对应于射孔位点的信道的相对声学能量,例如以用于确定任何相关信道中的瞬变平均是否明显变化和/或对应于射孔位点的信道中的相对能量是否变化。如果声学能量水平例如在对应于射孔位点的特定信道的平均强度经历突然跳跃中明显变化,或如果对应于不同穿孔位点的两个信道的相对强度偏离超过某一阈值,则处理可以为操作员产生警告,例如,可看到的和/或可听到的警告。

[0035] 在一些实施例中,可以分析来自位于射孔位点处的信道的频率和/或强度信号以确定压裂的特性。如上所述,由于压裂流体经由射孔位点流入岩层导致的声学信道经历的机械扰动可以包括可以取决于射孔的相对大小和当前压裂大小的频率成分。因而,通过分析主要由于流体向压裂的流动引起的声学信号的频率或多个频率,可以推断压裂的相对大小。

[0036] 来自先前压裂过程的历史数据被收集和分析以帮助估算压裂属性。例如,如上所

述,本发明的方法可以确定特定大小的固体材料的添加对于压裂流体到多个不同压裂的流动的影响。因此,该方法可以包括记录至少来自压裂位点附近的声学信道或多个声学信道的数据以用于稍后的分析。尽管给操作员的实时反馈是有用的,但是可以执行进一步分析以改善在未来压裂过程中可用的反馈。本发明还涉及历史数据的分析以识别压裂特性。

[0037] 例如,检查声学响应以查看当添加特定大小的固体材料时信号如何改变以允许确定压裂的一些大体尺寸。如果添加到流体的直径为D1的球不明显影响特定压裂的声学响应,而较小的直径D2的球看上去影响流入到该压裂的流,则可以推断相关压裂具有稍稍在D1和D2之间的大体尺寸(有可能被调节来考虑球的材料的压缩性)。因此可以分析某一大小范围的压裂的声学响应。例如,位于响应于大小为D2而非大小为D1的球的压裂处的声学信道可以呈现第一范围的一串频谱分量,但可以简单地示出第二频谱范围中的背景噪声。当添加大小为D1或D2的球时信号中不呈现明显变化(且因而可以假设为在某一维度中更小)的位于不同压裂位点处的声学信道可以在第一频谱范围中呈现不明显的分量,但可以在第二频谱范围内呈现明显分量。如果针对特定岩层确定该数据,比如则它可以应用于在相同岩层中执行的新压裂过程。例如,在压裂期间声学信道的频谱响应的实时分析可以用于推断压裂的大小。呈现给操作员的指示可以包括压裂的大小的指示—这将例如在控制流动参数时有用,且如有必要,在选择添加到流体中的固体材料的合适大小时是有用的。

[0038] 至少一个压裂特性的指示可以包括在声学信号中瞬变、尤其是相对高频的瞬变的指示。感兴趣的压裂事件具有与在压裂过程期间通过水和沙子的高压流入导致的连续流动噪声明显不同的性质。一般地,它们通过下文被称为瞬变事件的短脉冲事件表征。该方法可以包括检测这种瞬变以表征压裂。例如,该方法可以包括实现查看从平均变化水平远离的短期变动的技术(瞬变检测器)以从背景和长期噪声提取这些事件。该方法还可以使用已知压裂事件的特性来识别压裂事件。已知压裂事件的特性可以考虑正被压裂的岩层的类型,即该方法可以查找与一般发生的压裂相关的声学“签名”且这些签名可以根据岩层的类型变化。

[0039] 该方法可以包括指示已经被检测的瞬变的数目和/或瞬变发生的速率。当瞬变指示压裂且该过程旨在压裂岩石以提供流动路径时,较高数目的瞬变可以指示压裂过程进行良好。瞬变的数目和/或速率因此提供压裂特性的指示。瞬变的数目/速率可以中继给压裂过程的操作员且可以用于确定是否调节压裂过程的参数。这可以考虑正被压裂的岩层的类型。一些岩层可能相对容易地压裂且所以可能期望以相对高速率的相对高数目的相对低强度的压裂事件,即瞬变。其他岩层可能较不容易压裂且因而导致相对较少且较不频繁但是更加致密的压裂事件和因此的瞬变。因为将在井形成之前评估岩层的类型,所以可以将检测的瞬变的数目和/或类型与期望的数目/速率进行比较。

[0040] 还可以检测瞬变信号的强度。声学瞬变的强度可以与压裂事件的能量相关。强度还可以与所得压裂的程度,即,所得的压裂有多长相关。已知压裂传播多远可能是重要的信息。

[0041] 该方法还可以包括识别例如可以指示相对高幅度压裂事件的一系列相关瞬变。瞬变事件和/或一系列瞬变的持续时间还可以提供事件的幅度的指示。

[0042] 很明显,压裂事件产生的地震波在它们经过岩石时衰减且所以在光纤接收的来自进一步远离的压裂事件的信号被更多地衰减。因而,该方法可以涉及确定到压裂事件的大

体位置或至少范围,使得衰减的程度可以被考虑进来。例如,在光纤的不同感测部分处的特定瞬变事件的到达时间可以用于估算从瞬变的来源到光纤的各个区段的路径长度差异。使用多元静态关联类型技术,这可以用于估算到压裂事件的来源的范围。用于定位压裂事件的来源的其他技术将在下面更详细地描述。

[0043] 可以分析瞬变信号的演变,即瞬变的持续时间、上升时间和下降时间以确定压裂事件的类型。不同类型的压裂可以具有不同特性。例如,一些压裂可能包括震裂类型的事件而其他压裂可能包括岩石的层的分裂。针对不同的压裂类型,能量内容和/或信号演变可以不同。

[0044] 还可以分析检测的瞬变的频率特性例如以确定瞬变的一般频率,即最大强度的频率。还可以分析瞬变信号中的频率扩展。例如,其中能量集中在一个或多个窄频率范围中的瞬变可以指示与其中能量如果跨越相对宽范围的频率的瞬变不同类型的压裂事件。该方法还包括分析不同频带中的相对强度,即声学能量的频率扩展。

[0045] 如上所述,瞬变的一般频率或主导频率可以提供压裂的能量和/或类型的指示。一些岩石类型中较高的能量压裂可以导致高频率瞬变。导致单个压裂的压裂可以具有定义的频率处的一个或多个频率尖峰,而震裂类型的压裂可以具有较大的频率扩展。因而,瞬变的频率特性可以提供压裂特性。

[0046] 同样,将要注意,压裂与光纤的距离可以影响检测的瞬变的频率分量,因为不同的频率被衰减不同的量。因而,例如基于其与光纤的估算距离,通过用频率相关权重加权瞬变事件,可以考虑压裂事件的位置的指示。

[0047] 该方法因此可以包括向操作员显示关于瞬变事件的数目、速率、强度、信号演变、频率和/或频率扩展的数据以作为压裂特性的指示。该方法可以涉及提供压裂的数目和/或速率、压裂事件的大小或强度的所得指示、压裂事件的类型的指示和/或如下所述压裂强度和/或压裂图的指示。

[0048] 该信息可以用于控制压裂过程。如果检测的瞬变不在所期速率或不以所期强度发生,或如果瞬变特性不匹配优选压裂类型,则流动参数可以改变。因为可以实时提供该信息,处理参数可以在反馈循环中调节以确定改变流动参数是否改善了压裂过程。例如,流速可以改变以确定在压裂速率和压裂发生的类型中是否存在作为结果的变化。

[0049] 如上所述,该方法可以包括分析针对已知压裂类型或指示优选压裂特性的一个或多个特定特性的瞬变。在压裂过程和提供有用实时反馈期间收集的数据也可以被保留以用于进一步分析。该数据还可以与在其他压裂过程期间收集的其他数据一同分析以检测在压裂过程期间的任何共性。存储的数据不仅可以包括声学数据,还可以包括关于岩石类型、流动状况等的的数据。收集的数据还可以与后续生产相关联以识别与好生产相关的瞬变的特性。

[0050] 应当注意,在压裂之后,井下采用的DAS传感器还被用作在实际生产期间来自井的流入监测系统。以这种方式,油/气到井中的流动可以被监测且来自每个不同压裂位点的相对流动可以被评估。测量井的顶部的总流动指示整个井的整体压裂过程。然而,通过使用DAS传感器,可以评估来自每个压裂位点或位点的集合的相对贡献。

[0051] 因此有可能将特定类型的瞬变(尤其是岩层)与好的结果产生的生产特性相关联。因而,可以识别对于特定岩层的优选类型的瞬变以及与该瞬变相关的特性。

[0052] 以这种方式,在压裂过程期间瞬变特性的检测可以用于指示压裂有多有效。该信息在控制压裂过程中是有用的。例如,如果瞬变特性匹配对于特定岩层典型地导致好生产的那些特性,则压裂过程可能不需要被持续达与在瞬变特性指示较不良的后续生产的情况中的一样长。

[0053] 很多油/气井位于遥远的位置。传输压裂所需的支撑剂的数量是一个很大的成本。如果需要的支撑剂的数量明显减小而在所得的井的生产中没有损耗,则这可以代表明显的节省。本发明的方法可以用于监测压裂过程且可以通过向操作员提供瞬变特性来允许操作员确定何时最佳地中止该过程一因而减小支撑剂的浪费。

[0054] 而且,操作员能够调节流动参数以变动瞬变(以及因此压裂)特性以更好地模拟典型地将导致该种类型岩层中的好生产的特性。换句话说,操作员可以调节流动属性且确定对于瞬变特性的影响以产生具有所期特性的瞬变。以这种方式,过程可以被控制以改善所得的生产。

[0055] 如上所述,该方法还可以包括确定瞬变的来源的方向,即,到产生瞬变的压裂事件的位置的方向。该方法还可以包括确定到瞬变的来源的范围。

[0056] 例如,通过应用多元静态关联技术,可以通过比较各个不同位置的地震扰动的到达时间确定到压裂事件的位置的方向。还可以通过测量光纤的不同区段的瞬变信号的到达时间以及可以测量或估算的通过岩层的地震波的传播的速度值确定到频率事件的范围。取决于井眼的路径,不同位置可以是沿着井眼的不同位置。然而,如果井眼一般是直的,诸如垂直井,或者一般位于单个平面中,诸如具有来自表面的垂直轴和直水平地下区段,则仅使用来自井下DAS的数据就可能导致一些潜在的混淆。

[0057] 该方法因此可以包括使用来自另一位置的至少一个其他传感器的数据。该至少一个附加传感器可以包括另一光纤分布式声学传感器,例如放置在环绕区域中已存在井中的DAS传感器和/或附近钻出的观察钻孔中的DAS传感器和/或布置在一般区域的表面处或其附近(诸如掩埋在沟槽中)的DAS传感器。来自不同位置中的很多不同传感器的数据的组合可以允许确定压裂事件的来源点或至少来源的一般区域。这可以用于确定压裂程度且控制压裂过程。

[0058] 例如,考虑其中现有垂直井存在且假设具有从井眼放射状远离延伸距离 F (例如,如由来自观察钻孔的地震数据的数据的后处理确定)的压裂的情形。在远离第一井距离 D 处,新的垂直井被钻出,其中 D 比 $2F$ 稍大。包括用于DAS的第一光纤的新的井眼然后被水平射孔且执行水力压裂。如果现有井还包括适于DAS、第二DAS传感器的光纤,则可以执行水力压裂且以上述方式基于来自第一DAS的信号调节流动参数。然而,另外,来自第一和第二DAS传感器二者的结果可以被分析以检测可能是压裂事件的瞬变且检测在来自两个光纤中的返回中的相同瞬变,例如用于查找相同频率且具有相同一般强度剖面的声学扰动。如果识别了任何这种信号,则可以确定每个光纤处的到达时间。最初,因为压裂事件将更靠近新井,所以第一DAS处的到达时间将先于第二DAS处的到达时间。然而,当压裂过程继续时,对于在现有井的一般方向中发生的任何压裂,两个DAS传感器处的到达时间中的差异将减小。一旦检测到与到达第二DAS处几乎同时的到达第一DAS处的信号,这可以意味着压裂事件几乎如同靠近新井那样靠近现有井。此时,压裂过程可以停止以防止新压裂延伸到现有井的区域中。

[0059] 上述示例是非常简单的示例,且很明显,压裂事件可能并不在接合两个井的直线

上发生。从接合两个井的线偏移的观察钻孔中的另一传感器将允许实际位置的更好的辨别。然而,将要注意,DAS传感器之一可以提供在其中正在执行压裂过程的井眼中,且可以在现有井中提供另一DAS传感器。用于该DAS传感器的光纤在形成现有井时被嵌入到井套管外部。因此,很明显,DAS传感器可能已经处于适当的位置且不需要钻出专门的观察钻孔。而且,可以使用现有井的DAS传感器而无需暂停第一井的生产。在多个井眼中使用DAS传感器进行压裂测绘的方法代表本发明的另一方面。因而,在另一方面中,提供一种在水力压裂过程期间的压裂测绘的方法,该方法包括以下步骤:在水力压裂期间从多个井眼中的多个光纤分布式声学传感器接收数据;以及处理所述数据以检测源于到达所述分布式声学传感器的每一个的压裂事件的声学扰动;以及使用到达所述分布式声学传感器中每一个的时间来确定所述压裂事件的来源的位置。

[0060] 返回参考监测压裂过程的方法,至少一个压裂特性的指示还可以包括支撑剂冲蚀的指示。如上所述,支撑剂冲蚀可能在压裂流体发现不同于相关压裂位点的流动路径(例如流入到岩层内的空隙中或由水泥套管故障导致的空隙中)时发生。如上面所描述,在正常压裂过程中,流体经由如此形成的压裂经由射孔位点流入到岩层。在压裂位点的上游,流体和支撑剂的流动将产生声学扰动但是扰动的特性将不同。如果套管部分在射孔位点的上游发生故障,则由于在该点流入岩层的流动,这将在故障位置产生明显的声学信号。而且,故障点下游的减小的压力也是可检测的。因而,该方法可以包括分析来自沿着井眼的长度的光纤的感测部分的信号返回以检测指示冲蚀的任何明显信号。如果检测到这种信号,则可以警报操作员和/或在一些实施例中可以自动停止进一步的流动。

[0061] 除了在压裂过程期间检测支撑剂冲蚀之外,该方法可以包括在水力压裂步骤之前识别套管和/或环绕水泥的故障的任何可能点的步骤。如上所述,DAS传感器可以在射孔弹的射出期间操作。射孔弹的射出将产生有效地声学地激发井眼的相对致密的一系列声学脉冲。如上所述,光纤可以嵌入到环绕套管的水泥中。传送到光纤的振动因此将部分地依赖于套管和环绕水泥的性质。在水泥和套管是固体的位置中,光纤的感测部分可以经历第一类型的响应。然而,在套管和/或环绕水泥出现故障的任何区域中,声学响应将变化。因而,该方法可以包括在水力压裂之前获得井眼的声学剖面且分析所述剖面以检测可能指示故障区域的任何异常。在一些实施例中,由于射孔弹射出,将在激发期间获得声学剖面,然而,声学剖面由于其他激发诸如工具被插入井眼或从井眼抽出可以被附加地或备选地获得和/或响应于周围环境噪声的背景声学剖面可以被获得和分析。

[0062] 本发明还涉及用于井下监测的系统,所述系统包括:光纤询问器,其适于在沿着井眼的路径布置的光纤上提供分布式声学感测;采样器,其布置为采样来自所述询问器的多个信道输出以在多个时间中的每一个时从所述光纤的多个部分提供声学数据;以及数据分析器,其适于处理所述采样数据以检测压裂特性且提供所述压裂特性的指示。

[0063] 本发明的系统提供与如上所述的本发明的所有实施例相同的所有优点且可以与其一同实现。

[0064] 本发明还提供用于实施此处描述的方法中的任何一个和/或用于包含此处描述的设备特征中的任何一个的处理器、计算机程序和/或计算机程序产品,以及其上存储有用于实施此处描述的方法中的任何一个和/或用于包含此处描述的设备特征中的任何一个的程序的计算机可读介质。

[0065] 本发明实质上扩展到如此处参考附图描述的方法、设备和/或用途。

[0066] 本发明的一个方面中的任何特征可以以任何适当组合应用于本发明的其他方面。具体而言,方法方面可以应用于设备方面,且反之亦然。

[0067] 而且,硬件中实现的特征一般可以以软件实现,且反之亦然。此处对于软件和硬件特征的任何引用应相应地理解。

附图说明

[0068] 现在将参考附图纯粹通过举例的方式描述本发明的优选特征,附图中:

[0069] 图1示出使用DAS监测井的设备;

[0070] 图2图示图1的系统的输出;

[0071] 图3是如本发明的实施例监测的射孔事件的示意性表示;

[0072] 图4图示用于压裂监测的地震监测和参数化步骤;

[0073] 图5示出已使用变量统计增强的流入监测的结果;

[0074] 图6a和6b图示水力压裂过程中的阶段;

[0075] 图7a和7b图示可以在水力压裂过程期间获得的信号返回;以及

[0076] 图8图示检测多个位置处的压裂事件的原理。

具体实施方式

[0077] 沿着井的路径包括光纤线缆102,在本示例中,所述井是气井,且可以是海上的或近海的。井至少部分地通过插入到钻孔106中的金属生产套管104形成,其中套管的外壁和孔之间的空隙在本示例中被回填水泥108。生产套管由接合在一起的多个区段形成,且在某些实例中,这些区段将具有不同的直径。以这种方式,套管直径能够朝向井底逐渐变窄。在图1中可以看出,在该示例中,光纤经过回填的水泥且实际上夹紧到金属套管的外部。已经发现,例如在本实例中,通过经过回填的水泥约束的光纤相对于未受约束的光纤呈现出对某些事件的不同声学响应。约束的光纤可以给出比未受约束的光纤更好的响应,且因而可以有损于确保光纤约束在水泥中。约束和未受约束光纤之间的响应中的差异还可以用作对于水泥的损害的指示器,如稍后描述,这可能是有利的。

[0078] 光纤从井头突出且连接到询问器/处理器单元112。询问器单元向光纤注入光且感测沿着光纤的长度反向散射的辐射。特定形式的输入光和单元的采样/处理能力允许多个数据信道的同步输出,每个信道对应于在沿着光纤的特定距离处沿着光纤的特定区段感测的声学数据。尽管询问器/处理器单元在本文中被示为单个项目,但是硬件可以例如分在询问器盒中,提供原始数据输出、馈入PC或者便携式计算机以提供数据处理能力。

[0079] 从图1的布置输出的可能数据类型的示例在图2中示出。此处,沿着y轴显示信道号(以及因此基本垂直井的深度),其中零代表最靠近表面的信道。示出了400个信道。沿着x轴显示作为帧号的时间以提供在新数据可用时连续刷新的“瀑布”图。在上图202中检测的能量强度使用在右手边示出的标度被示为彩色或灰度以提供在一系列时刻中的每一个处沿着光纤的整个感测长度的声学能量分布的2D可视化。中间图204示出在经历瞬变检测之后的相同数据,如下面更详细解释,且下图106示出根据图的右边的标度的检测的瞬变的频率。该布置使得在每个采样周期可以从所有信道获得数据。在中间图204和下图206中,在y

轴上表示从0到4000m的深度,其中在x轴上表示从0到10000s的时间。

[0080] 提议使用上述系统来监测涉及压裂的各种井下事件,包括射孔、堵塞器和/或封隔器坐封(packer setting)、压裂、支撑剂冲蚀和流体流动。另外,系统可以提供一般状况监测,并且在一些布置中,还可以允许与井下传感器进行通信。

[0081] 在所谓的非常规井的提取过程中,一旦井已被钻孔且套管被安装(并且沿着井的路径提供一个或多个光纤),并被射孔以允许被提取的气体或诸如油或水的流体的流入。这通常使用在“枪”中下降到井中且在所期深度和取向出射出的聚能弹实现。弹药刺穿套管且使得相邻岩石(以及如果存在,诸如水泥的任何填充材料)破裂。图6a图示井眼的一个区段,其中使用与上面关于图1描述的相同标号来图示井眼的各个组件。图6a图示在不同深度的射孔弹被射出以形成通过套管104和水泥108进入到周围的岩层的射孔601、602、603。当然应当意识到,射孔弹可以布置为以不同方向射入岩层中,然而为清楚起见,以相同的通用方向图示所有射孔。当对要射出的射孔弹取向时,应当注意不要将射孔弹射出在光纤102处。这可以通过确保光纤和/或光纤封装附近的井套管提供相对强的磁签名且在射孔弹管柱(string)上使用磁异常检测器来确定和避免将弹药瞄准所述签名的相对位置处而实现。

[0082] 在射孔之后,射孔弹管柱被去除且诸如水的流体和诸如沙子的固体支撑剂的混合物以高压强制到井下以沿着弱应力线压裂岩石且产生和放大用于气或其他流体进入井的先导路径。

[0083] 一旦在一个水平产生了一组压裂,可能希望在另一水平产生另一组压裂。堵塞器因而被插入到井下以阻断刚刚被射孔的井的区段。射孔和压裂过程然后在不同水平处重复。图6a图示隔离先前已被压裂的井的较深部分的堵塞器604。

[0084] 该过程一直重复,直到已经完成所有必须的压裂为止。此时,生产管道可以插入到井眼下且封隔器可以插入在生产管道和套管之间以封闭间隙。

[0085] 一旦完成,井开始生产,其中产物从相邻岩层进入套管且被传输到表面。

[0086] 射孔监测

[0087] 在本发明的一个实施例中,DAS传感器用于监测射孔事件。监测射孔事件可以达到至少两个不同的目的。首先,可以确定射孔的位置。可能难以精确地控制钻孔中射孔的位置和方向且检测射孔的位置对于确定感兴趣的精确区域以用于后续水力压裂步骤中的监测是有用的。而且,检测射孔的方向在帮助控制和计划其他射孔方面在其自身利益方面是有用的。检测射孔类型事件的能力将在稍后描述。而且,射孔事件的声学签名可以与某些期望特性进行比较以确定是否满意地发生射孔。

[0088] 除了监测射孔本身之外,射孔事件是声学地激发大部分井眼(即套管、水泥,已经处于适当位置的堵塞器等)的相对高能量的事件。对射孔事件的声学响应允许井眼的声学剖面被收集和评估。

[0089] 在射孔事件期间在钻出孔的长度上在0.2Hz和20kHz之间采样声学数据。每个信道中存在的能量通过带通滤波器且然后进行rms能量计算而监测,或者通过执行FFT以及对上频带和下频带之间的功率求和(典型地512pt FFT,50%交叠,如果采样速率是有效的则在300和5kHz之间滤波)而监测。可以产生针对时间和深度(或位置)的检测能量的2D数据阵列。

[0090] 通过识别峰值的数据阵列的进一步处理揭示脉冲射孔信号向上和向下传播到井

套管以及岩石中。因此可以产生如上所述的能量图,且可以识别跟踪如图3所示的脉冲的进程的轨迹。

[0091] 可识别轨迹的梯度可以被测量,因为它是能量通过井套管传播的速率。这给出了介质中传输速度的量度。这可以用于指示不同的井套管的区域,因为它们的传播速度变化。这可以指示套管衔接的问题或套管本身中的结构问题。

[0092] 自动化跟踪算法可以用于计算该能量轨迹的速度且确定速度变化的区域。

[0093] 提出的算法将建立于这一假设:感兴趣的事件远大于井的正常状态,使得识别为射孔事件的能量中的峰值可以被可靠地识别。然后,峰值可以在连续时间帧上相关联,其中可以计算1、2、3、...10s上的平均速度。进一步的改善将跟踪相同时间的多个峰值(用于在多个反射的情况中区分主脉冲)。

[0094] 图3的进一步检查示出清晰的能量反射点。这些位点在套管中的接合处出现且可以为工程师提供关于套管的长度上接合的质量的信息。在材料中存在明显失配的任何地方,可能发生部分反射,且失配越大,反射系数越大。诸如破裂或坑陷的其他材料故障能显著影响沿着套管和光纤的能量的传播,且可以使用该方法识别。

[0095] 例如,可以评估环绕套管的水泥的状况。或者由于作为早先射孔的结果的制造或者由于压裂事件,水泥的声学响应可以在水泥中存在明显空隙的区域中变化。水泥中的空隙可能是有问题的,因为如果在空隙的区域中发生后续射孔,则当流体和支撑剂被泵浦到井眼中时,它可能不流入到岩石中的射孔而是流入到空隙中—浪费了大量的支撑剂且在解决问题的同时暂停井的形成。图6a图示水泥108中的空隙605能在射孔之一(在该示例中为射孔603)的位置处存在。如果检测到这种空隙,例如在针对井的较低区段执行射孔步骤期间,该区域中的射孔能被避免和/或空隙能在射孔之前被填充。

[0096] 如上所述,未受约束光纤的响应不同于受约束光纤的响应且因而如果光纤自身经过水泥中的空隙且因而在该区域中未受约束,则声学响应将十分不同。因而,本发明可以包括检测环绕套管的水泥中的空隙。

[0097] 堵塞器604的定位和状况也可以以这种方式评估。如果堵塞器604不设置在正确的位置或有缺陷且已经出故障或可能出现故障,则在水力压裂过程期间,流体可能被强制进入井的不希望部分,导致支撑剂和时间的损耗且可能潜在地影响前面成功的压裂。通过提前确定堵塞器未被正确地设置,在水力压裂过程开始之前,新的塞子可以被插入到所需的地方。

[0098] 压裂流体和支撑剂监测

[0099] 如图6b所示,一旦已经形成射孔,流体和支撑剂就可以流入到井中以致导致压裂606。射孔附近的光纤的声学信道的声学响应被监测。包括通过套管104的固体微粒的高压流体的流动产生很多声学扰动且对应于发生流动的井眼的区段的光纤的所有信道将产生示出声学响应。然而,已经发现,射孔位点附近的声学信道呈现与进入到射孔位点的压裂流体的流动和压裂发生相关的声学响应。还已经发现,通过查看声学扰动的离散的频带该响应可以更醒目。

[0100] 图7a图示在水力压裂过程期间可以通过图6a(假设空隙605不存在)中图示的射孔位点附近的光纤的多个声学信道检测的声学强度。箭头601、602和603图示射孔位点的位置。虚线曲线700图示光纤检测的所有声学扰动的归一化平均强度。可以看出,贯穿示出的

区段存在一般水平的光纤的声学区段的扰动,不过对于表示堵塞器604下的井眼的区段的信道,强度降低。在射孔位点601、602和603附近,存在声学强度的稍微增加。然而实线曲线701示出谱带内针对扰动的归一化声学强度,即,具有特定范围内的频率的扰动。可以看出,射孔位点附近的信号中的强度差异更加明显。感兴趣的精确频带可以根据井眼、套管和周围岩层的参数以及压裂流体的流动参数(即压力、流速、支撑剂类型和比例等)变化。信号返回因此可以在很多不同频带中处理且同时(即,以不同图表或者不同颜色的交叠曲线)或者顺序地或者由用户选择地显示给操作员。数据还可以被处理以自动检测提供射孔位点附近的信道和井的其他区段的信道的强度之间的最大差异的谱带。

[0101] 曲线701图示每个射孔位点的声学响应几乎相同。这可以指示压裂流体被等地强制进入所有射孔位点且它们全都具有类似的特性。

[0102] 然而,在一些实例中,一些压裂位点可能比其他位点更活跃。图6b表示射孔位点601和602已经由压裂流体强制进入其中而放大且岩层在压裂点606压裂的逐步形成的情形。然而,在射孔位点603,没有出现明显的压裂。这可能因为很多原因而出现,但是一旦形成这种情形,大多数压裂流体可以流入到射孔位点601和602中,其中结果是位点603保持不活动。如果这种情形继续,则最终,当压裂过程完成时,仅射孔位点601和602将为油或气提供流动到井眼的明显路径且因而井的该区段将比预想得低效。

[0103] 为了补救这种情形,压裂位点601和602可以通过向压裂流体添加固体材料以导致阻断而部分地阻断。然而,先前没可能以任何可靠地方式确定所有压裂位点是否以相同的方式压裂。然而,本发明提供用于监测压裂流体的流动且确定所有压裂是否同等地进行的可靠的实时机制。图7b图示可能从图6b中示出的情形产生的声学响应。虚线曲线703示出总强度,即,针对跨越所有频率的每个信道的声学能量。该曲线再次确实示出一般趋势但是查看实线曲线704将更清晰,该实线曲线704再次示出来自窄频谱范围的声学响应。曲线704示出尽管由于流入到射孔位点且导致压裂的压裂流体的原因在射孔位点601和602存在大信号强度,在该情形中,在射孔位点703附近不存在这种响应。这指示经由射孔位点603的任何压裂的程度明显受到限制。

[0104] 通过实时地向操作员显示这种图形表示,操作员接收允许他查看压裂过程如何进行且压裂过程是否存在任何问题的信息。对应于流入到射孔位点且导致压裂的压裂流体的声学信号的强度和/或频率值也可以被分析以确定关于压裂的一些参数,诸如压裂的一般大小和/或压裂的速率。

[0105] 除了例如在控制室等内提供可见的显示之外,特定声学信道被选择以用于听得到的回放。换句话说,操作员可以听到由光纤的特定区段检测的信号。本质上,光纤的相关区段用作麦克风。在水力压裂期间实时监听地下深井的一区段处的信号的能力被认为是新颖的。通过监听检测的信号,操作员可以感觉到压裂过程以及压裂如何进行。通过在与各个压裂位点相关的信道之间交换,操作员可以自己确定在各个射孔位点的压裂中是否存在任何显著差异和/或对于流动参数的改变是否具有任何显著影响。

[0106] 如上所述,在一些实例中,压裂流体可以不流入到岩石中且可能发生支撑剂冲蚀。在正常操作中,支撑剂流体的流动一般将以某一速率进行且具有某一特性。如果流体发现另一路径或正确地停止压裂,则井中的流动状况可以变化。在支撑剂流体流动期间的声学响应因此可以被监测以检测任何显著变化。如果套管的不同部分出现故障,则这可以通过

信号的突然出现(诸如井眼的不同该部分处的信号分量705)变得明显。这种分量的检测可以用于产生警报。

[0107] 地震压裂监测

[0108] 岩石的实际压裂导致的地震和压裂事件具有与压裂过程期间水和沙子的高压流入导致的连续流动噪声明显不同的性质。一般而言,它们通过短脉冲的事件—此后称为瞬变事件来表征。查看远离平均变量水平的短期变动的技术(瞬变检测器)将从背景和长期噪声提取这些事件。一般处理方法在图4中阐述。

[0109] 通过以这种方式处理接收的声学数据以强调瞬变事件,可以检测和观察压裂事件,且可以确定各种参数。

[0110] 可以根据在定义的周期或深度范围上检测的压裂的数目和/或强度确定压裂发生的速率或压裂密度。

[0111] 对于垂直井区段,可以根据检测压裂事件的一个或多个信道来确定发生压裂的深度。对于井的水平区段,类似地,压裂可以被定位于特定水平区段。如果压裂事件被多个信道检测,则首先接收信号的信道可以被认为最靠近压裂事件且因而用于识别井的相关区段,例如垂直井区段的深度。而且,多个信道处的到达时间可以用于提供到压裂的范围的估算。通过估算地震信号的传播的速度,可以计算从光纤的感测区段到源的相对路径差异,且假设在光纤的大不相同的感测区段处检测相同的瞬变,则可以确定瞬变的源的范围。

[0112] 可以确定压裂幅度的量度。瞬变的强度可以指示压裂的幅度,不过来自更远压裂的信号将由于通过地面行进而比来自附近的压裂更多地衰减且所以强度可能需要根据压裂的距离而加权。瞬变的频率含量还可以指示压裂的幅度。较大幅度的压裂可以产生较大频率的瞬变。压裂的测量的持续时间,即瞬变或一系列相关瞬变的持续时间可以指示高幅度压裂事件。而且,从单个事件接收瞬变或一系列瞬变的光纤的信道的数目可以指示压裂的程度或跨度。

[0113] 为了提供用于频率的单个参数,可以使用事件的频谱形状的平均频率。可以确定的其他频率参数包括诸如倾斜和峰度的二次统计。

[0114] 可以确定压裂事件的类型的指示。例如,以相对干净的剪切压裂岩石地层的压裂事件可以产生具有特定频率特性的瞬变,例如,能量可以集中在一个或多个窄频带中。更像将岩石轧碎成多个段的震裂事件的压裂可以产生具有较大频率扩展的瞬变。而且,瞬变或一系列瞬变中的信号强度的演变可以指示压裂的类型。

[0115] 瞬变特性可以与例如从历史压裂信息获得的已知压裂类型的一个或多个已知特性进行比较。例如,瞬变特性可以在被证明是有效生产井的井的压裂过程期间与在类似岩层中检测的瞬变特性进行比较。

[0116] 可以基于压裂事件的频率特性做出井的范围的估算,因为信号的不同频率分量经历不同水平的衰减。

[0117] 为了在其他背景数据中识别瞬变,将短期可变性的量度与对于给定信道的正常或平均可变性进行比较。

[0118] 在一个实施例中,这通过聚集(populate)代表平均能量和关于平均值的平均绝对偏差(MAD:当前值和平均值的绝对差的平均值)的统计来实现。

[0119] 使用衰减项N,当接收每个数据更新时,这两个统计通过指数平均更新。

[0120] 平均值数据 = $(N-1)/N * \text{平均值数据} + (1/N) * \text{新数据}$

[0121] $MAD = (N-1)/N * MAD_{\text{数据}} + (1/N) * \text{abs}(\text{新数据} - \text{平均值数据})$

[0122] 其中数据首先经历FFT且其中在每个信道和每个频率单元执行计算。

[0123] 瞬变水平然后被定义为:

[0124] $\text{Abs}|\text{新数据} - \text{平均值数据}| / MAD$

[0125] 这给出了关于多少特定频率单元在可变性方面高于其平均可变性的值。因此,十分易变的信道是自调节的且它仅是检测的过度和不寻常的可变性。通过改变N的值,算法可以调谐为检测不同长度的瞬变事件。典型地,使用4, 6, 8, ... 128的因子但是这些依赖于所需的瞬变的长度和系统的FFT速率。通过在频域执行这种过程,在用于形成瞬变事件的频率上实现高度的控制,且瞬变频谱结构的知识被计算且保存以用于特征提取。

[0126] 算法根据是否触发瞬变而自适应地选择指数因子。当重新计算平均值和中间值时,如果频率单元高于阈值,则在检测时,它将针对N使用不同值(在该示例中,使用100N),这意味着与正常事件相比,瞬变事件被包括在更减小的速率的一般统计中。

[0127] 还可以监测压裂事件的位置以允许压裂测绘或压裂密度测绘。在典型的生产环境中,在相同的油或气田中可以存在若干井。理想地,每个井开采该田的不同部分。然而,在一个井中产生的压裂可能运行到与来自其他井的压裂相同的区域中。在该实例中,新的井可能不增加生产,因为新井处的任何生产减小旧井的生产。因此,希望监测压裂的位置。DAS系统的使用提供了实时检测和监测发生压裂事件的地点的能力,因而允许对压裂过程的控制。

[0128] 惊喜地发现,DAS系统可以用于单独地检测P和S波。P波(压力波或初波)是通过固体材料传播的纵向波。S波是作为横向波的剪切波或次波。其内容通过参考结合于此的共同未决的专利申请PCT/GB2009/002055描述了DAS系统如何可以用于监测P和S波且区分它们。检测压裂事件的S波可以允许确定位置。为了确定压裂事件的位置,可以使用多个光纤和/或到达时间类型技术,如在其内容通过参考结合于此的共同未决的申请no.GB0919904.3中描述的那样。

[0129] 而且,应当注意,作为横向波的S波将具有与波相关的剪切方向。S波的不同分量的检测将允许压裂的取向的确定。这是尤其有用的,因为水平面中的压裂并不优选,因为给定上面的岩石的重量,注入的沙子通常不足以保持压裂开放。因而垂直压裂是优选的。为了检测S波的取向,输入波可以分解成三个维度中的分量。通过在三个维度中布置一个或多个感测光纤,入射波的分量可以分解。优选地响应于一个方向上的声学扰动的一个或多个光纤(即,它在一个横向方向上比在正交的横向方向中更容易弯曲)的使用可以帮助将入射声学波分解成其分量,如其内容通过引用结合于此的共同未决的申请GB0919902.7中所描述的那样。

[0130] 图8图示具有沿着孔向下布置的光纤102和提供如上所述的DAS传感器的询问器112的井眼106。在射孔/压裂位点801执行水力压裂过程。在位置802发生特定压裂事件。该压裂事件将产生被传播到光纤102的各个信道的瞬变地震信号。不同信道处的到达时间可以用于确定压裂事件的深度。然而另外,通过沿着不同井眼804向下布置的且连接到另一询问器805的另一光纤803提供另一DAS传感器。该附加DAS传感器可以部署在现有井中和/或DAS传感器可以在纯粹用于观察目的的射孔中提供。来自压裂事件的信号还将被光纤803的

感测部分接收且因而将被检测。来自两个DAS传感器的信号可以被发送到中央处理器806,该中央处理器806例如可以位于中央室内,其分析数据以检测被传感器的各个感测部分检测的相同瞬变信号。然后可以应用多点静态关联技术以确定声学扰动的来源且因此确定压裂事件的位置。假设存在足够的传感器来分解任何位置不确定性,可以记录各个压裂事件的位置且因而可以产生在水力压裂期间产生的压裂的三维压裂图。如图8所示,DAS传感器并不一定部署在眼孔下且至少一个传感器807可以位于水平面或稍微埋在表面以下。

[0131] 流入监测

[0132] 尽管已经关于压裂事件的检测描述了本发明,但很明显,当被部署时,光纤在操作期间将保留在井中。DAS感测还可以提供涉及井的后续操作的有用感测能力。从相邻岩层流入到井的诸如油和气的流体的监测典型地要求比任何先前技术更高的灵敏度,因为它在油或气进入套管管道时查找该油或气的特性声音,相对安静和微小的噪声源。通过在一个时间段上以距离/深度分析检测的活动的3D数据集合可以检测和量化井内流入区域,如使用2D“瀑布”能量图可以示出的那样。

[0133] 感兴趣的效果是十分微妙的且典型地自我显现为在噪声结构内的变动而不是如在射孔检测中看到的在噪声上容易辨别的特征。检测的可靠性和精确性可以通过强调其中能量以特性方式变化的区域而改善。变动统计而不是每个信道的直接能量在短时间段上被检查且用于提供流入的指示。在图5中可以看出,该技术更清晰地示出流入区域(箭头标记)和由管道中向上移动的能量或材料导致的诊断结构(用虚线强调)。

[0134] 上面已经描述了监测和参数化的多种方法,且作为信号的不同特性和被分析的信号的不同特性(频率含量、幅度以及信噪比)对感测设备提出大范围的要求。由于DAS监测系统的大动态范围和相对高的采样速率,所有上述监测和处理可以使用图1中示意性示出的相同系统执行。

[0135] 另外且如上所述,信道的配置还可以被调节,且不同的信道设置可以用于不同的监测操作。信道设置还响应于监测的数据自适应地控制,例如,如果在某一深度处出现明显的压裂密度,可能希望在恢复到原始信道配置之前以较大分辨率监测该特定深度达一个时间段。

[0136] 以这种方式,完整的监测程序可以由单个系统在从射孔到流体流入的一系列井操作上运行。该系统可以布置为响应于检测的事件从一种类型的检测过渡到另一种类型的监测,且对于给定监测/检测活动可以自适应地改变感测和数据处理参数二者。

[0137] 另外,DAS系统可以用作与井下传感器通信的手段。US 2009/0003133描述了一种使用声学使用套管本身作为声学介质从井下传感器等传送数据的方法。作为代替,声学光纤可以用于接收意味着较低功率信号可以被如此可靠地传送且完成的经过编码的声学信号。共同未决的申请GB2010/000602描述了适于在这种环境中使用的声学换能器。

[0138] 应当理解,上面纯粹通过举例的方式描述本发明,且可以在本发明的范围内做出细节的修改。

[0139] 说明书以及(当合适时)权利要求和附图中公开的每个特征可以独立地提供或者以任何合适的组合提供。

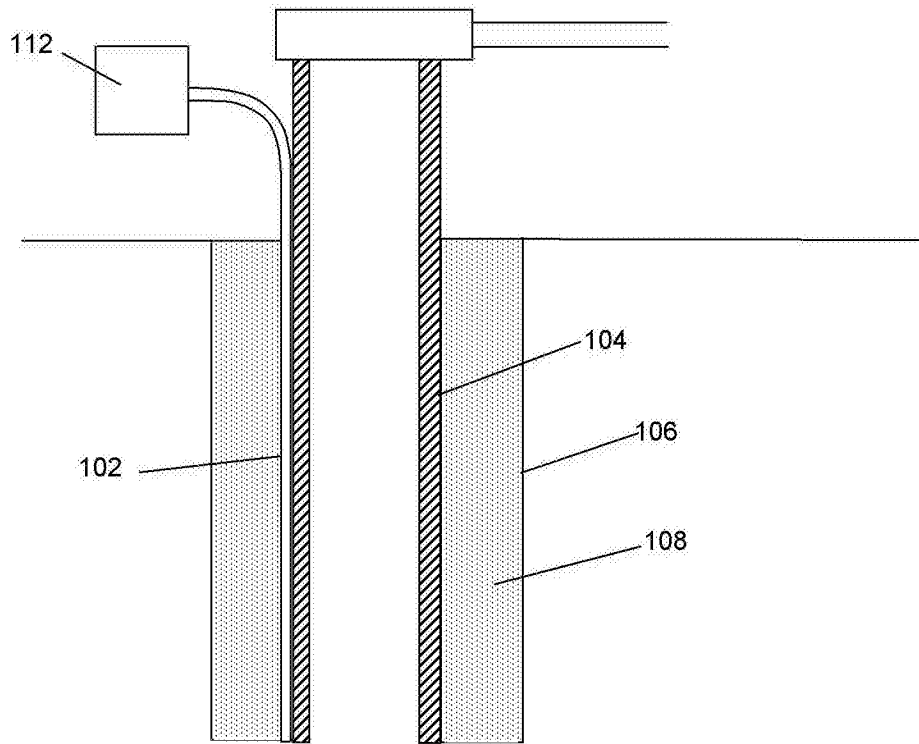


图 1

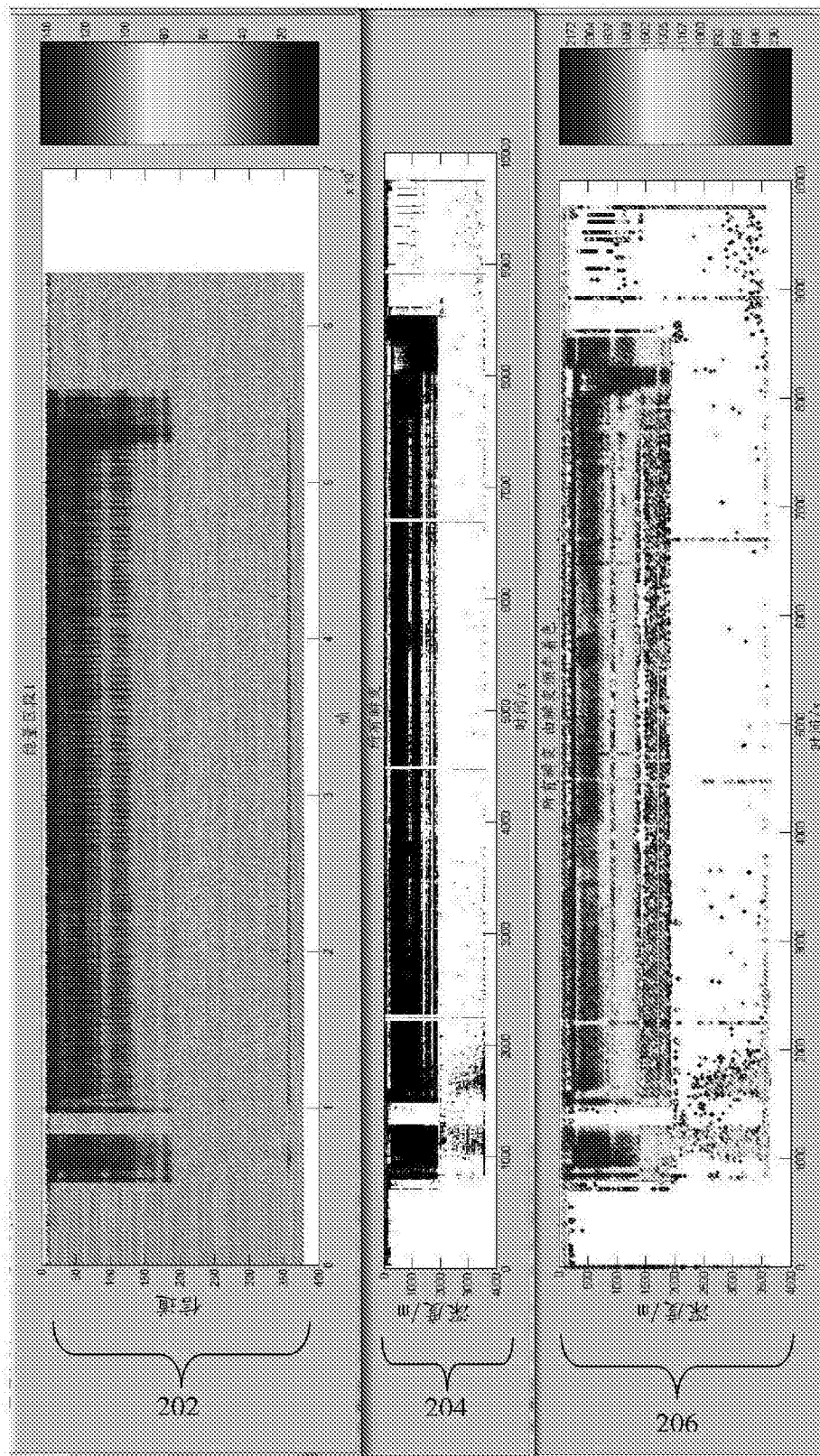


图 2

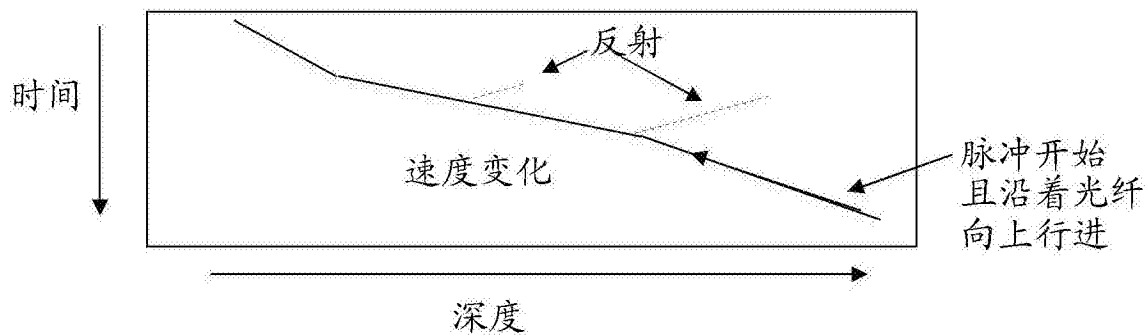


图 3

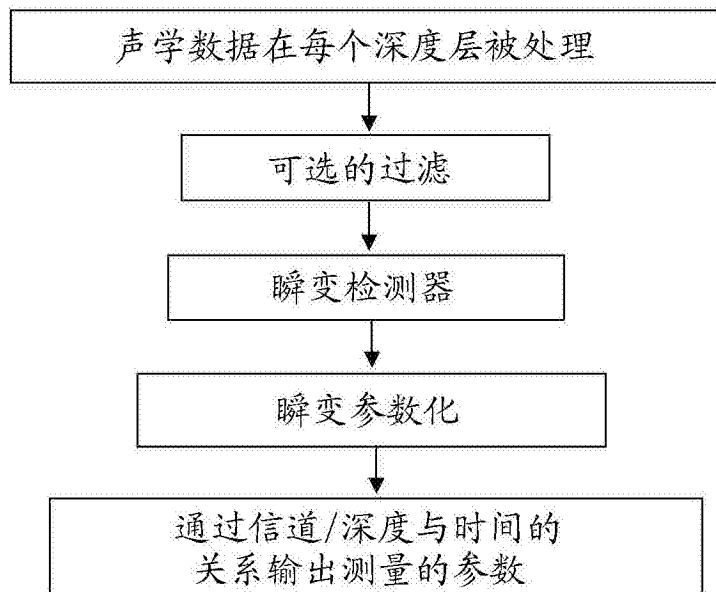


图 4

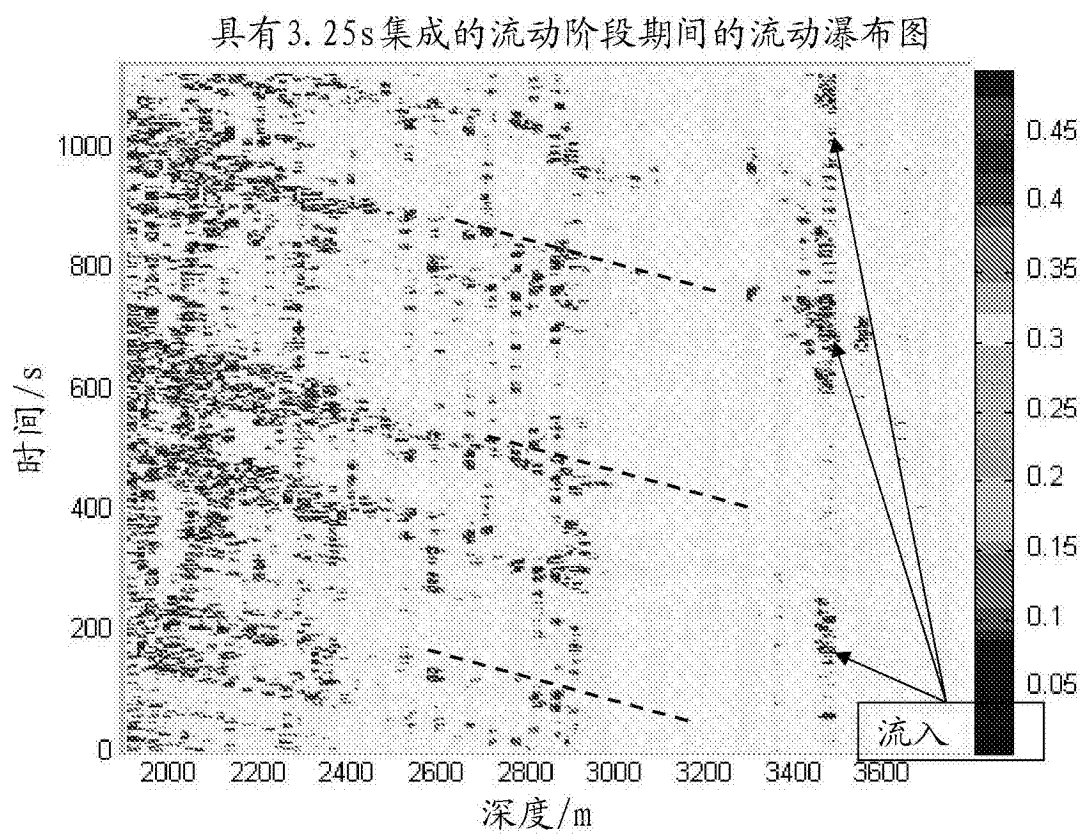


图 5

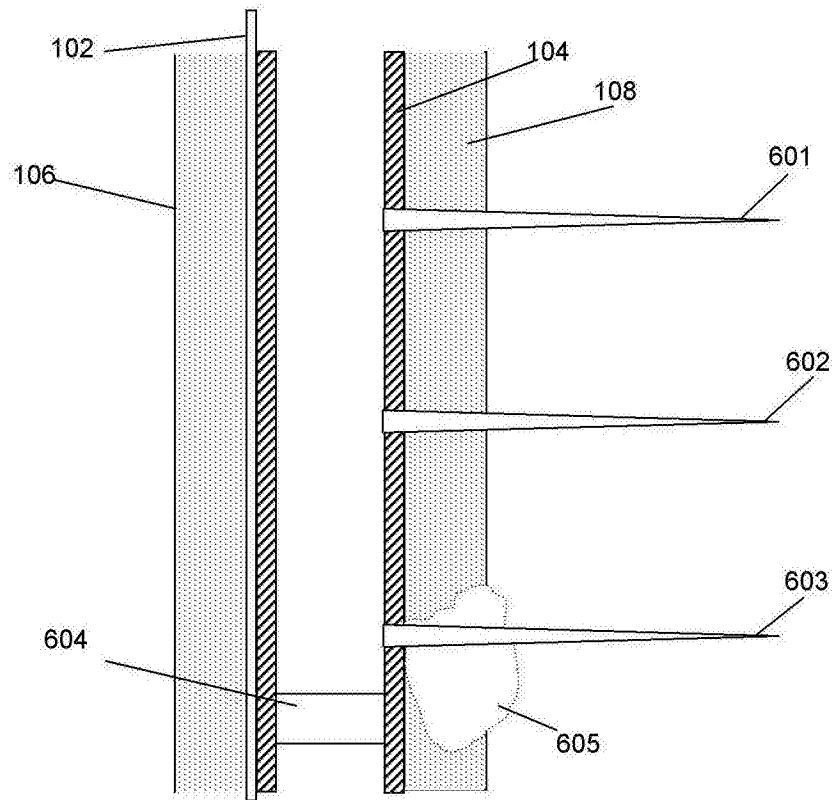


图 6a

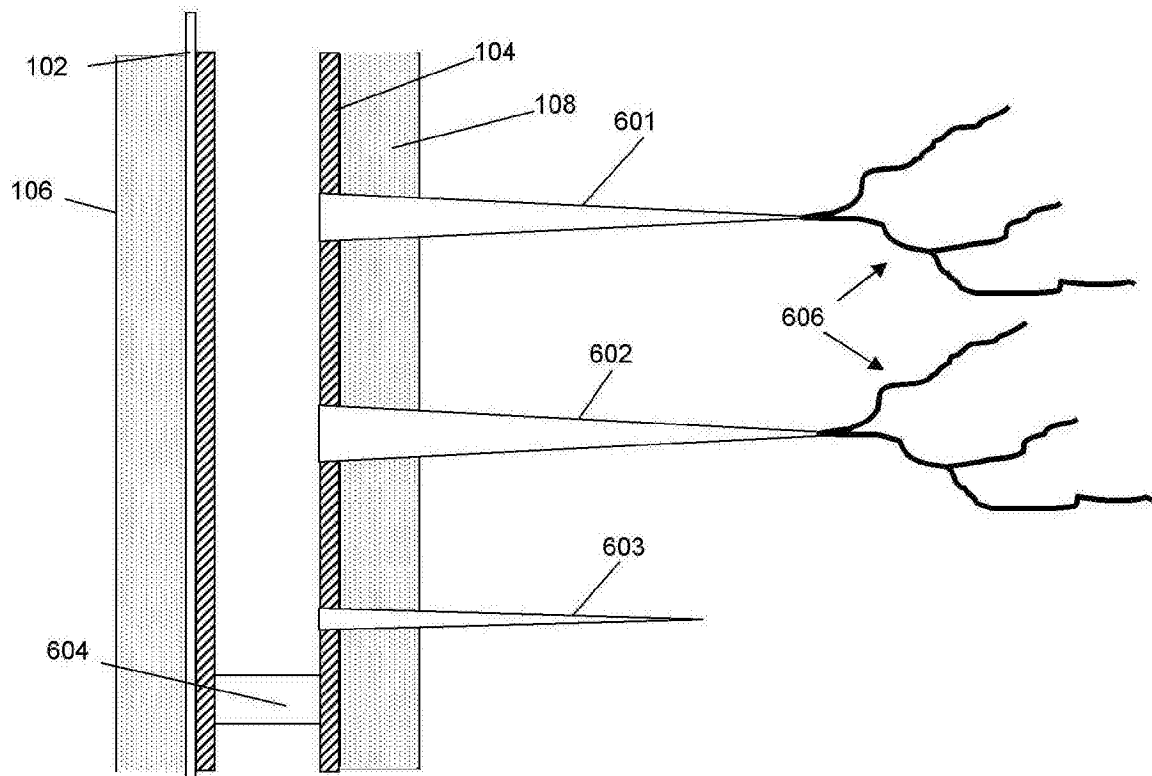


图 6b

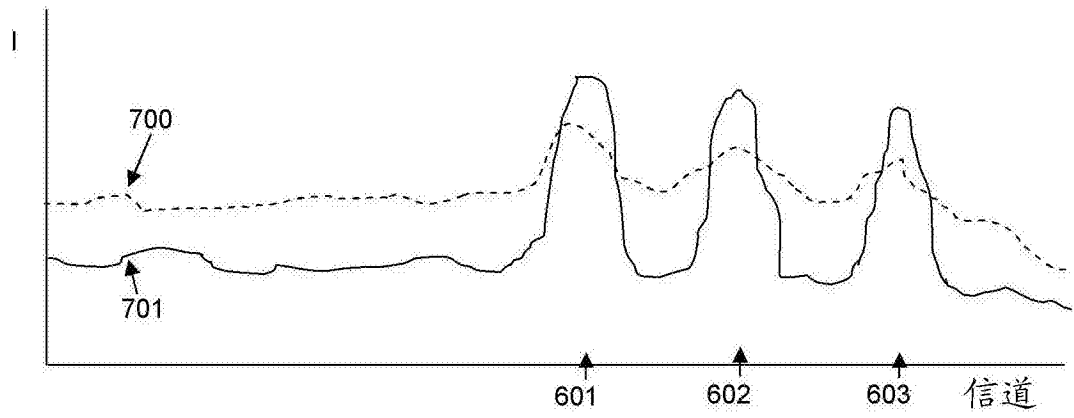


图 7a

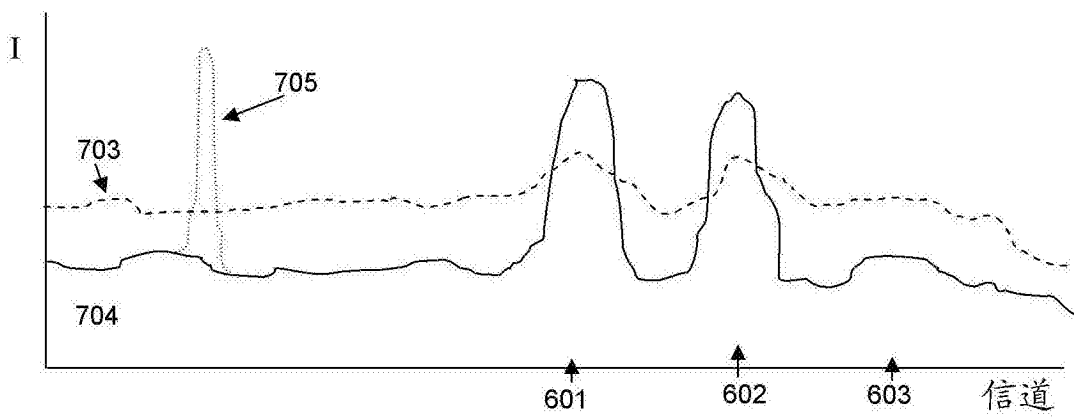


图 7b

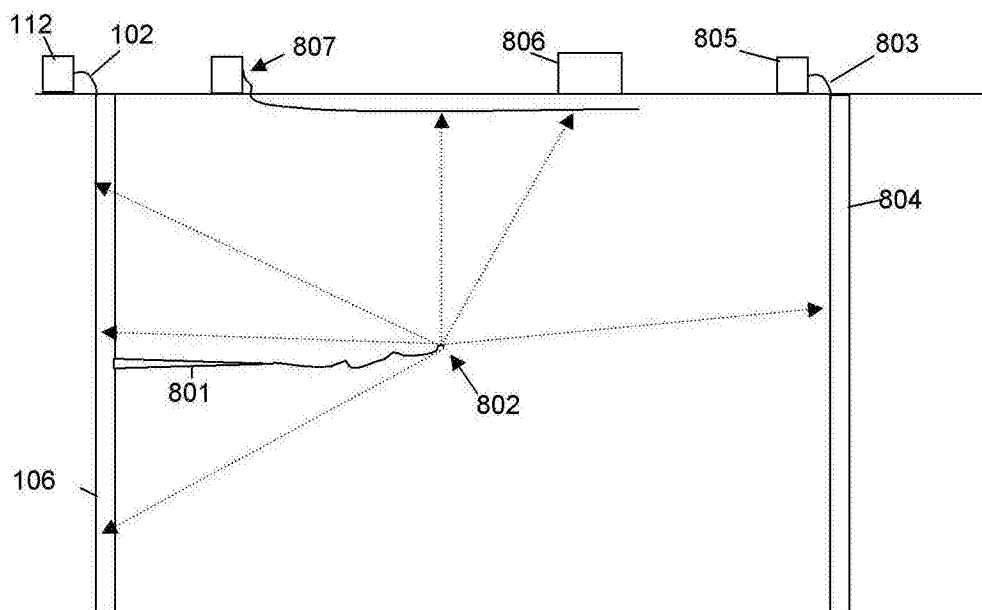


图 8