



波现象与智能反演成像研究组

地震波成像的发展方向及WPII侧重研究 的问题

报告人：王华忠

波现象与智能反演成像研究组 (WPII)

同济大学海洋与地球科学学院，上海

2024年02月29日

目录

- ◆一、地震波成像的研究现状
- ◆二、地震波成像存在的问题
- ◆三、地震波成像的发展方向
- ◆四、WPI要侧重研究的问题

一、地震波成像的研究现状

◆ 油气地震勘探最终目的：

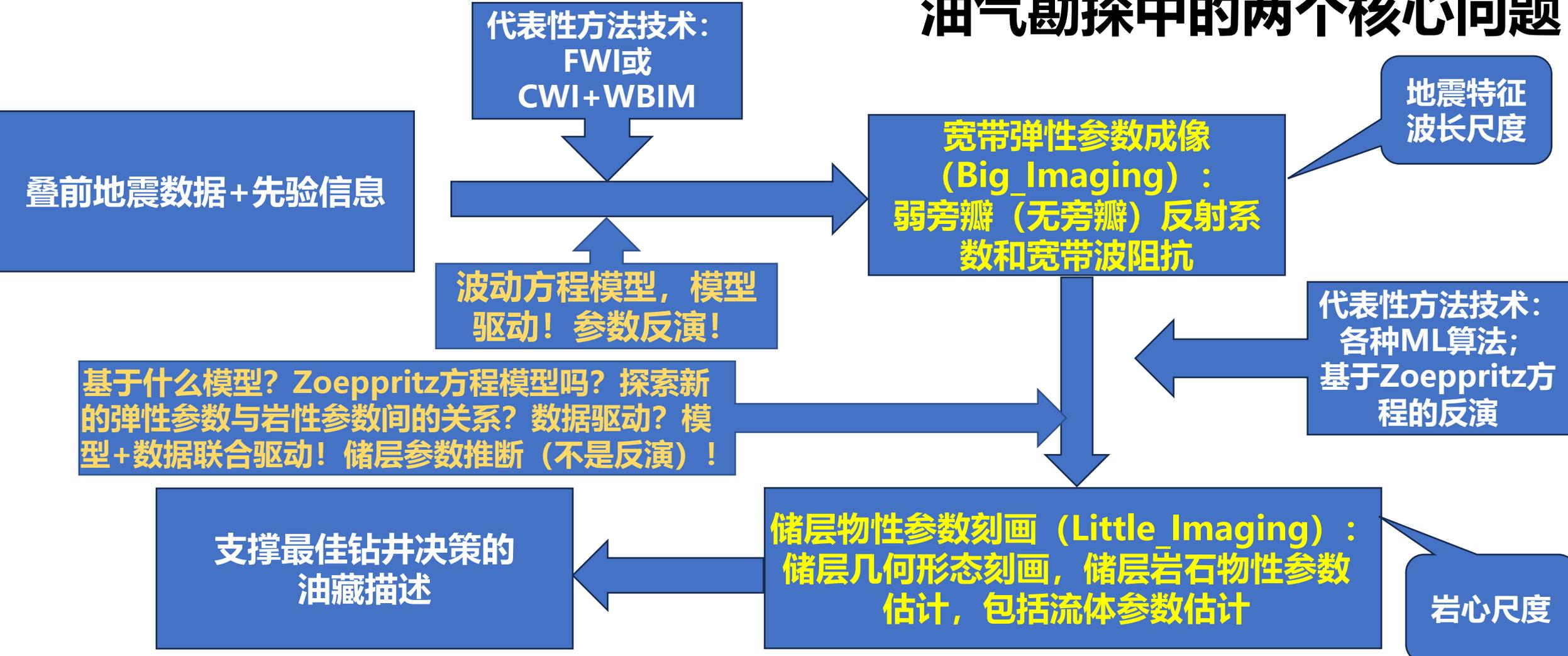
◆ 精确地描述油气藏，进行准确的含油气性分析，做出最佳的钻井决策，得到最高的油气勘探效益。

◆ 油气地震勘探核心问题：

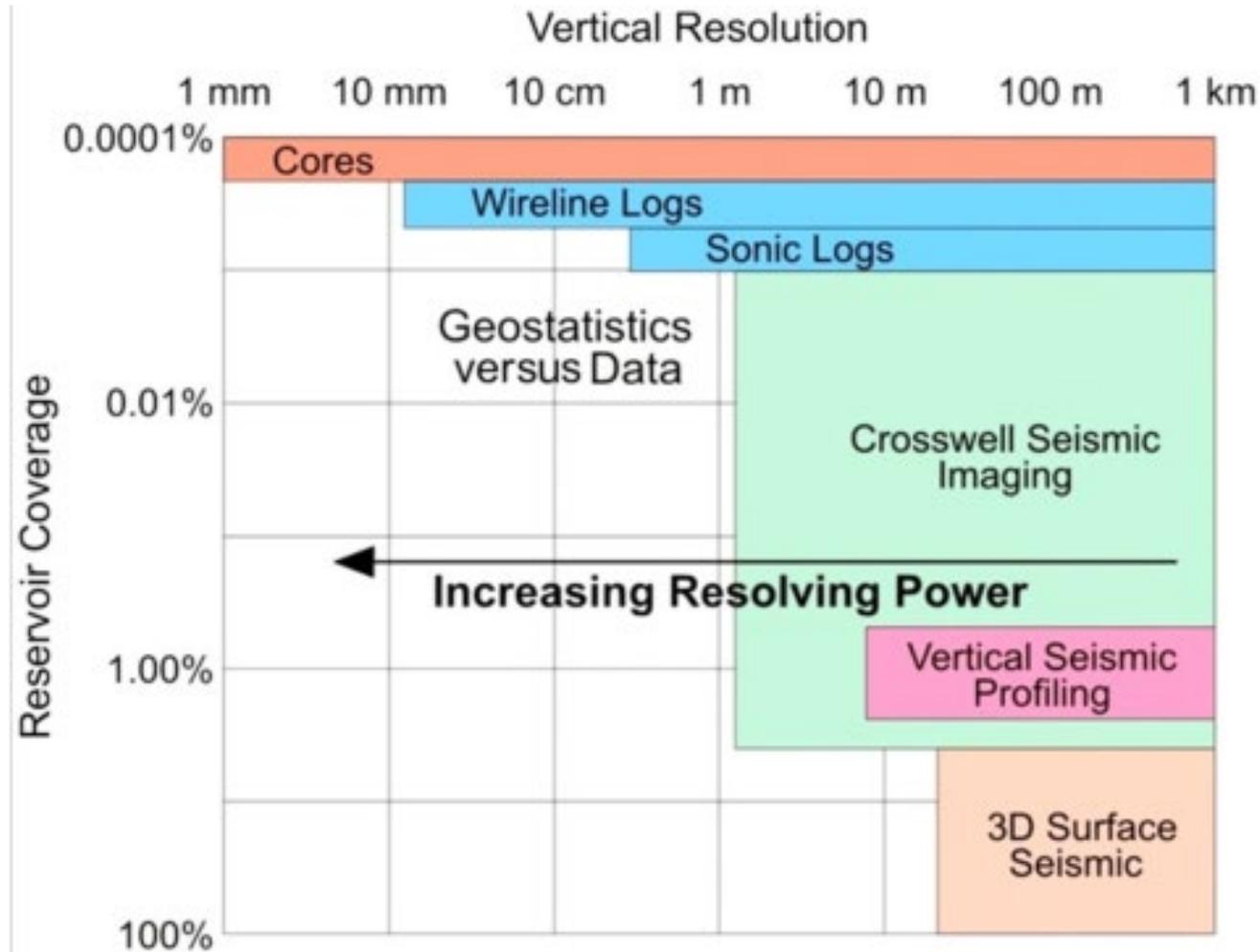
◆ 由叠前地震数据及其它相关的先验信息，进行宽波数带的弹性参数估计（或称广义的高精度地震波成像），与井数据和岩石物理知识结合，实现储层岩石物性参数（孔隙度、渗透率等）的推断，开展精确的油气藏描述和准确的含油气性评价。

一、地震波成像的研究现状

油气勘探中的两个核心问题

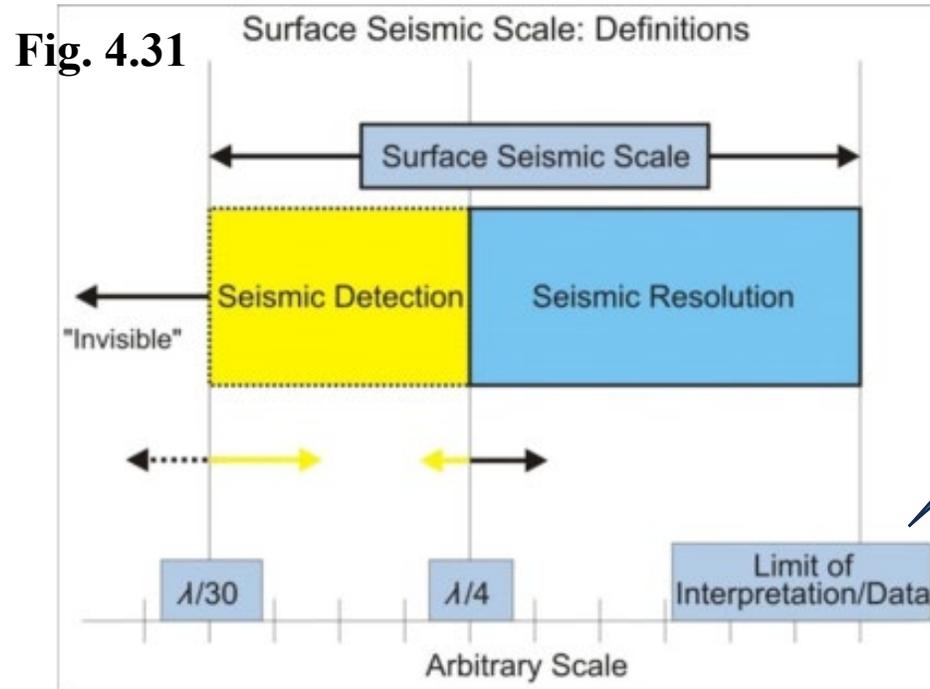


一、地震波成像的研究现状

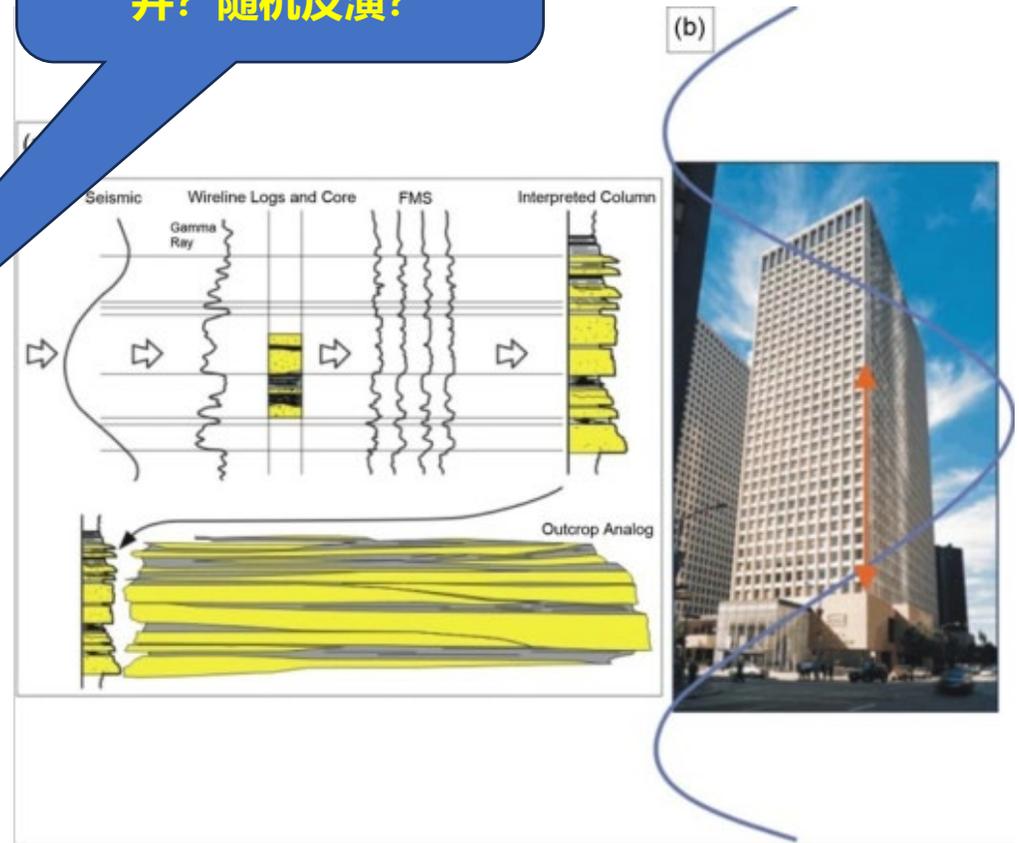


油气地震勘探中的分辨率问题。 Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists Geophysicists, and Engineers. (2th Edition) R. M. Slatt

一、地震波成像的研究现状



Detection如何做到提高分辨率的？提取属性+测井？随机反演？



Resolution is the ability of a seismic wave to identify and image both the top and base of a layer, and it usually is considered to be 1/4 the thickness of the seismic wavelength (Fig. 4.31). Detection is the ability of a seismic wave to “feel” and “respond” to a layer, even though the layer boundaries cannot be imaged (Fig. 4.31). The detection limit is considered to be 1/30 the thickness of the wavelength.

油气地震勘探中的分辨率问题。 Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists Geophysicists, and Engineers. (2th Edition) R. M. Slatt

一、地震波成像的研究现状

◆ 依然是这两个根本问题：

◆ 1、宽带弹性参数估计问题

- ◆ FWI为代表的地震波成像，不能提供满足油藏描述的宽带弹性参数估计结果。
- ◆ CGG和PGS为代表的西方大公司的技术方向，低波数的背景速度部分和高波数的参数扰动部分依然是分开给出的。
- ◆ WPI给出CWI+WBIM的宽带阻抗重构技术路线。

◆ 2、定量的油气藏描述和准确的含油气性评价。

- ◆ 本质上，是基于岩心实验测量结果、测井结果、宽带弹性参数估计结果在岩石物理关系约束下的推断或判决问题（不宜归结是岩性参数的估计问题）。（半）定量描述储层岩性参数是期望做到的。也许用多元统计分析方法进行定性（半定量）的推断或判决可能是更切实有效的。
- ◆ 基于高分辨图像处理的储层几何属性刻画，已经算是一个很平凡的问题了。

目录

- ◆一、地震波成像的研究现状
- ◆二、地震波成像存在的问题
- ◆三、地震波成像的发展方向
- ◆四、WPI要侧重研究的问题

二、地震波成像存在的问题

◆ 根本层次上的问题：

- ◆ (广义) 地震波成像 (宽带弹性参数估计) 总是一个信息不足情形下的 (强) 非线性反问题。
- ◆ 精确的油气藏描述和准确的含油气性评价总是一个信息不足情形下的 (强) 非线性性的推断或判决问题。

二、地震波成像存在的问题

◆关于信息不足：

- ◆首先依然是地表观测的地震数据对于复杂地表、复杂构造、复杂地质情形、深层超深层目标的高精度成像，即便精确的构造成像都是很难做到的。更不用讲宽带弹性参数成像了。
 - ◆“两宽一高/两宽两高”地震数据采集技术，客观地讲，进步还是很快的。但距离期望差距甚大。
- ◆与待估计弹性参数相关的先验信息的提取、表达和利用。
 - ◆目前期望能提供什么信息？
 - ◆我认为：把岩心实验测量结果、测井结果、宽带弹性参数估计结果这些空间分布的信息，在地质逻辑的导引下，融合三维空间中的初始先验模型是要解决的首要问题。

二、地震波成像存在的问题

◆关于地震波成像的算法：

- ◆ 目前FWI的计算框架已经比较明确了，今后FWI方法技术发展重点正在逐渐转到如何让FWI在工业界得到有效的应用上。
- ◆ 这就说明**误差泛函的梯度导引类优化算法**这个十分数学化的问题，逐渐让位于机器学习类的算法，解决FWI的输入信息问题、梯度分解问题、对梯度的先验约束问题（包括基于空间数据分析的先验信息的提取问题）；更重要的是解决参数扰动部分的保真成像问题、定量化问题、压制旁瓣的高分辨率算法（基于随机模拟的随机反演算法？）。
- ◆ 多信息约束方法、多信息融合方法在地震波成像中的地位会逐渐加强，传统的数据域向成像域的映射算法（经典地震波成像及反演算法），正在逐渐弱化。
- ◆ 但是，大家的知识结构和认知水平的转化跟不上油气勘探的发展需求。（有些）油气地质学家认为地震勘探在骗钱、骗投资，不解决问题。这种观点当然不对。但这也说明了地震勘探的发展赶不上油气勘探开发的迫切需求。

目录

- ◆一、地震波成像的研究现状
- ◆二、地震波成像存在的问题
- ◆三、地震波成像的发展方向
- ◆四、WPI要侧重研究的问题



三、地震波成像的发展方向

- ◆ WPI选择研究方向，首先考虑的是学术和实用的统一。不是跟风追热点。
- ◆ 勘探地震对地震波成像的迫切需求，我们是清楚的。因此，我们重点依然放在：
 - ◆ FWI在陆上地震勘探中的实用化；
 - ◆ 宽带弹性参数重构；
 - ◆ 特征反射层多次波预测、压制及反演成像。

三、地震波成像的发展方向

◆我评价的地震波成像发展方向：

◆1、保真、定量、弱旁瓣的反射系数成像---LS_RTM的实用化

◆这是地震波偏移成像今后长时间追求的目标。

◆2、FWI (TFWI+RFWI) 的实用化，尤其在中国陆上地震勘探中的实用化。

◆发展出有效的“同因之果”时差检测方法是核心，目前差距还比较大。

◆初至波检测也是在解决“同因之果”的时差检测问题。

◆3、井、震、岩石物理和地质知识的有效结合生成三维空间中的、尽可能准确的、有效的初始模型。

◆空间数据分析+信息融合+随机模拟

◆4、宽带弹性参数重构

◆尤其期望生成纵波宽带阻抗和横波宽带阻抗

三、地震波成像的发展方向

◆ FWI实用化的基本逻辑路线：

- ◆ 反射波FWI最核心的问题是克服Cycle-Skipping（周期跳）现象。
- ◆ 从具体实现的角度，认为主要应该关注如下三个关键点：
 - ◆ 1、“同因之果”的时差测量；
 - ◆ 如果能解决这个问题，Cycle-Skipping问题基本可以被解决了。
 - ◆ 2、RFWI中，层析梯度项和偏移梯度项的有效分解。
 - ◆ 3、梯度分解基础上的正则化信息提取与施加。
- ◆ 我们认为：解决了这三个关键点，反射波FWI，即便针对陆上数据，也可逐步地得到实用化。

三、地震波成像的发展方向

◆ 宽带弹性参数重构:

◆ 核心问题在于保真、定量、弱旁瓣反射系数的生成上。

◆ 数学理论当然是LS_RTM。

◆ LS_RTM在陆上地震勘探中的实用化存在很大问题。

◆ LS_RTM实用化的基本逻辑路线:

◆ 最佳照明优选保真成像

◆ 井震匹配定量化

◆ 高维PSF反褶积+随机反演?

◆ 多信息融合宽带弹性参数重构

◆ 基于空间数据分析方法的微井生成

◆ 多信息融合宽带弹性参数重构提成一个约束优化反问题

期望基于空间数据分析方法的微井生成结果也用在反射波FWI梯度约束中

三、地震波成像的发展方向

◆提出特征反射层相关多次反射波FWI (CMRFWI = Characteristic Multiple Reflection FWI) 的概念。

◆特征反射层相关特征多次反射波FWI的基本逻辑步骤包括：

- ◆ ①、初始背景速度+特征反射层构成的速度模型；
- ◆ ②、特征反射层相关的特征多次反射波的模拟；
- ◆ ③、特征多次反射波模拟波场震相与实测特征多次反射波震相的（非线性）时差测量；
- ◆ ④、特征多次反射波FWI（重点依然是用特征多次反射波层析梯度项更新背景速度）。

◆上述步骤要迭代进行。更新初始背景速度+特征反射层构成的速度模型，重新进行下一轮的速度更新。期望这样迭代更新的轮次不要太多。

◆其中，能否得到有效的速度建模结果，核心依然在于特征多次反射波模拟波场震相与实测特征多次反射波震相的（非线性）时差测量上。

目录

- ◆一、地震波成像的研究现状
- ◆二、地震波成像存在的问题
- ◆三、地震波成像的发展方向
- ◆四、WPI要侧重研究的问题

四、WPI要侧重研究的问题

◆方向性的重点问题：

- ◆1、FWI的实用化问题，包括LS_RTM的实用化问题；
- ◆2、宽带弹性参数重构问题；
- ◆3、特征反射波预测、压制及反演成像问题。
- ◆4、井、震、岩石物理和地质知识的有效结合生成三维空间中的、尽可能准确的、有效的初始模型。
 - ◆在近地表建模中，数字地质露头模型生成，也是类似的问题。
- ◆5、高维数据的线性与非线性建模及在地震数据分析中的应用

四、WPI要侧重研究的问题

◆方向性的思想方法：

- ◆1、Bayes推断的思想与方法；
 - ◆2、Bayes参数估计的思想与方法；
 - ◆3、高维数据分析与多元统计分析的思想与方法；
 - ◆4、空间数据分析的思想与方法；
 - ◆5、动态数据分析的属性与方法。
-
- ◆把解决上述五类问题的思想与方法进行归纳统一。
 - ◆尽可能深入地理解和把握上述五个方向性领域的核心思想。

到了以地震信号分析为主转到以地震数据分析为核心的时候了。地震数据分析涉及的范围要宽泛很多，更针对油藏描述的需求。

四、WPI要侧重研究的问题

◆更具体的研究问题：

- ◆1、数字地质露头模型生成；
- ◆2、水体模型及含海底附近地层的水体模型生成；
- ◆3、复杂水体相关噪音的压制；
- ◆4、复杂地表相关噪声的压制；
- ◆5、高维数据规则化；
- ◆6、特征反射层相关多次波预测、压制及反演成像；
- ◆7、陆上透射波FWI+复杂条件下的初至波识别；
- ◆8、陆上反射波FWI实用化；
- ◆9、非线性时差检测。

四、WPI要侧重研究的问题

◆更具体的研究问题：

- ◆10、成像道集最佳照明优选；
- ◆11、LS_RTM的实用化问题；
- ◆12、井、震、岩石物理和地质知识的有效结合生成三维空间初始模型；
- ◆13、宽带弹性参数（波阻抗）重构。



谢谢
欢迎批评指正