人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

报告人：王华忠

波现象与智能反演成像研究组（WPI）

同济大学海洋与地球科学学院，上海

2025年02月28号

目 录

- 一、概述
- 二、数学、物理、语言与智能
- 三、地震数据分析的基本逻辑
- 四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向
- 五、结论与讨论

一、概述

◆人类已经进入大数据和人工智能时代时代。

◆Deepseek写出来的文章和诗词超过了绝大多数汉语专业人员的水平。对所提出的各种各样问题的回答已经达到了非常专业的高度。语言智能本是人类专有的、最基础的智能。千百年来人类积累的以自然语言保存（也包括大多数数学语言）的知识，现在都能被AI理解了。在这方面AI已经超越了绝大多数人。

◆人类的知识学习该如何进行？人类的科研活动该如何继续下去？勘探地震今后还能做些什么？

一、概述

◆我们还是要看历史上人类如何认识世界的（以古喻今），才能知道今后的路如何走。

◆从远古开始，智人认识、理解这个世界就是从观察、感悟、总结开始的。

◆生产、生活和祭祀等活动的需求，人类发展了最初始的算术、几何和天文等知识。

◆通过人为设计的实验，自主地、逻辑地发展科学认知，古希腊的理性哲学和文艺复兴后以伽利略为首的学者起到了重要作用。

◆近现代科学基本上就是在理性哲学的理念下，通过观测、试验、分析、总结、形成规律的模式（往往由数学物理方程表达）而形成的。

◆我们所有的科学素养都是按照这样的逻辑（科学范式）培养并逐渐形成的。

◆以近现代的数学和物理为基础构建起了科学技术的大厦。

一、概述

◆但是，发源于对人脑的研究，对语言、逻辑推理、逻辑判断、甚至智力、意识展开的研究，打开了一条似乎与以前的科学技术发展范式十分不同的领域。以前的科学技术发展范式很难应用在AI领域的研究中。

◆如果从一个我们相当陌生的领域发展出的AI/AGI，彻底消除了我们当前研究工作（甚至包括学习知识）的必要性。这该多么让人沮丧！

◆所以我们必须深度思考这个问题：即在AGI面前，我们当前研究工作（甚至包括学习）的价值何在？如何继续深入地开展我们正在进行的工作？

一、概述

- 我试图从数学、物理、语言、智能的角度，试图分析回答上述问题。

- 抛砖引玉，引起大家的思考。

一、概述

- 我的基本判断：
  - 人类智能体对“数学、物理、语言”的掌握和人类在此基础上拥有的智能是解决物理和非物理世界各种各样实际问题的根本。
  - 人类智能拥有明显的优势。但是，人类智能存在明显缺陷！
  - AI智能体借助其大数据分析能力（包括非线性关系的感知能力）及强计算能力等从一定程度上补强了人类智能体在大数据分析能力上的不足。AI智能体极有可能发现潜藏的更复杂、更隐晦的关系，从而提升扩展人类智能体对物理和非物理世界的认知程度。
  - 但是，人类智能体的目标驱动力是独有的（目前我看来是这样的），必须在人类智能体的方向指导下，借助AI智能体，才有可能达成上述目标。

目 录

- 一、概述
- 二、数学、物理、语言与智能
- 三、地震数据分析的基本逻辑
- 四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向
- 五、结论与讨论

二、数学、物理、语言与智能

- 数学是研究事物的数量和空间关系的学科。
- 数学是人类发展出来的一门语言，描述事物的数量和空间变化规律。
  - 世界是理性的、变化是有潜在规律的，所以可以发展一套语言来描述。
  - 自然语言当然也是可以描述世界的变化规律，但不够抽象、严谨和明晰，不能进行公式推演等等，所以必须发展出一套数学语言。
- 数学是一种逻辑思维方式。
  - 任何一种语言，总会存在对应的逻辑思维与推理方式。
  - 总有一天AI/AGI能发展出公式推导的能力。我有一种预感AI/AGI数学家可能超越人类数学家提出新的认知。

二、数学、物理、语言与智能

◆数学的相关门类：

- ◆ 纯数学
  - ◆数论
  - ◆代数
    - ◆群论；环论和域论；线性代数
  - ◆几何
    - ◆欧几里得几何；非欧几何；拓扑学
  - ◆分析
    - ◆微积分； 实分析；复分析；泛函分析
- ◆ 应用数学
  - ◆概率统计
  - ◆数学物理方程
  - ◆计算数学
    - ◆数值分析
    - ◆计算机代数系统
  - ◆运筹学
    - ◆线性规划即非线性规划、排队论。

二、数学、物理、语言与智能

- 开展地震数据分析必须重视的数学领域：
  - 线性代数
  - 数值数学、数值优化、数学物理方程及其数值解法
  - 数学分析、泛函分析
  - 概率与统计及多元统计分析

二、数学、物理、语言与智能

- 物理学是研究物质、能量、空间和时间之间的相互关系及其基本性质和规律的学科。
  - 物质：物理学研究物质的微观结构，从原子、分子到基本粒子；物理学也关注物质的宏观性质。
  - 能量：物理学研究不同形式能量之间的转换。
  - 空间与时间：相对论是研究空间和时间的重要理论；
    - 广义相对论认为，物质和能量会使时空发生弯曲。
  - 基本性质与规律：物理学通过建立各种定律和理论来描述自然现象的基本规律；
    - 牛顿运动定律是经典力学的基础；麦克斯韦方程组是电磁学的核心理论。
- 目的是揭示物理世界的变化规律。

二、数学、物理、语言与智能

- 物理学门类：
  - 力学：
    - 经典力学牛顿力学；分析力学：通过拉格朗日方程和哈密顿原理来描述系统的运动；刚体力学；弹性力学；流体力学。
  - 热学和热力学热学：
    - 热学；热力学理论；统计力学。
  - 电磁学：
    - 静电学、静磁学、电动力学。
  - 光学：
    - 几何光学；波动光学；量子光学。
  - 原子物理学与量子力学
  - 核物理学与粒子物理学

二、数学、物理、语言与智能

- 学习物理学的首要目的（目标）：
  - 建立正确的物理世界观
- 理解物质、能量、时间和空间的关系是最重要的，第一个层次的。
- 然后才是理解各物理门类的核心内容。
  - Newton三定律；
  - Maxwell方程；
  - 热力学三定律；
  - 波粒二象性+不确定性+量子态/叠加原理+薛定谔方程
  - 波动方程、几何光学、波动光学、量子光学

二、数学、物理、语言与智能

- 数学+物理学是理工科学生的基础。
- 数学与物理：数学是物理的重要工具和语言；物理研究通过数学建立精确的模型和理论，来描述和预测自然现象。数学的逻辑推理和抽象思维为物理研究提供了严谨的方法，推动物理理论不断发展；而物理中的实际问题和现象也为数学的发展提供了新的研究方向和动力，促进新的数学分支产生。
- “物理的清晰比数学的严格更重要”
  - E. T. Jaynes “概率论沉思录“的作者
  - 我非常赞同这种观点！

二、数学、物理、语言与智能

- 语言的本质是什么?
  - 自然语言本质上是一种符号系统（一种编码机制）；思维和认知的载体；文化的重要组成部分和传承载体。
    - 中文是信息浓缩度很高（最高！）的编码系统，基于中文发展的AI/AGI将会会体现出更高的智能。
  - 我的认识：
    - 语言用一种符号编码系统，用来表达概念、思想、观点、看法、情感，进行逻辑推理等等。
    - 人类的智能正是体现在对语言的应用上。对外界的所有认知都是用语言表达出来的。正是有了语言，才有人类远超于其他生物的智能。
    - AI从大语言模型开始是非常正确的选择。基于目前（从大语言模型发展的）AI所具有的逻辑推理能力判断，不用很久AGI一定会发展出全方位的能力。
    - 可以说谁在人工智能领域占领先机，谁就会在今后的世界上居于统治地位。

二、数学、物理、语言与智能

◆WPI团队目前对AI/AGI的内部运行机理并不清楚，尽管对运行在神经网络上的ML算法有一定的认识，但并不清楚AI/AGI如何进行推理的。

◆难道所有的科学家和技术人员都去研究基于语言的知识表达、逻辑推理、发展AI/AGI算法吗？否则，在可预见的时间内，很多没有创新的、平凡的研究工作都可能会失去价值。会是这样的前景吗？

◆以前，理工科的学生都沉浸在对数学和物理知识的学习中，沉浸在基于实验、观测、分析、总结、获得认知并**最终形成知识及解决问题能力**的工作架构中，但是，基于大语言模型发展出来的AI/AGI有可能彻底颠覆以前的工作模式。

◆今后人类智能该如何培养？

二、数学、物理、语言与智能

- **智能的本质：**
  - 智能的本质，是系统（生物或机器）通过学习和推理，适应环境并实现目标的能力，其核心在于动态处理信息与复杂问题的效能。
- **智能的核心特征：**
  - 学习与适应
    - 智能系统能够从经验或数据中学习，并调整行为以适应新环境或任务。这种能力不仅包括知识的积累，还涉及对未知情境的灵活响应。
  - 推理与问题解决
    - 智能体现为通过逻辑推理、抽象思维或创造性策略解决问题的能力。无论是数学证明、规划路径，还是应对复杂现实挑战，都需要某种形式的推理能力。
  - 感知与交互
    - 智能体需具备感知环境（如视觉、听觉等）并与之交互的能力。例如，人类通过感官获取信息，机器人通过传感器与环境互动。
  - 目标导向性（AI/AGI基本不具备）
    - 智能行为通常具有目的性，能够为实现特定目标制定并执行计划。这种目标可以是短期的或长期的。
  - 自主性与意识（AI/AGI完全不具备）
    - 人类智能典型地具备自主意志和自我意识。

二、数学、物理、语言与智能

- **人类智能包括如下几个方面是基本都认可的：**
  - 1、语言智能 （Linguistic intelligence）
    - 是指有效的运用口头语言或及文字表达自己的思想并理解他人，灵活掌握语音、语义、语法，具备用言语思维、用言语表达和欣赏语言深层内涵的能力结合在一起并运用自如的能力。
  - 2、数学逻辑智能(Logical-Mathematical intelligence)
    - 是指有效地计算、测量、推理、归纳、分类，并进行复杂数学运算的能力。
  - 3、空间智能(Spatial intelligence)
    - 是指准确感知视觉空间及周围一切事物，并且能把所感觉到的形象以图画的形式表现出来的能力。
  - 4、身体运动智能(Bodily-Kinesthetic intelligence)
    - 是指善于运用整个身体来表达思想和情感、灵巧地运用双手制作或操作物体的能力。
  - 5、音乐智能(Musical intelligence)
    - 是指人能够敏锐地感知音调、旋律、节奏、音色等能力。
  - 6、人际智能(Interpersonal intelligence)
    - 是指能很好地理解别人和与人交往的能力。
  - 7、自我认知智能(Intrapersonal intelligence)
    - 是指自我认识和善于自知之明并据此做出适当行为的能力。
  - 8、自然认知智能（Naturalist intelligence)
    - 是指善于观察自然界中的各种事物，对物体进行辩论和分类的能力。

二、数学、物理、语言与智能

◆对比可知，人类智能在目标导向力、自主意识（意志）和原始创造力方面还保有一定的优势。但是，AI已经具有一定的创造力。

- ◆ AI/AGI的模仿性创造： 是指基于已有的模式、结构或样本进行的创作。AI擅长这种创造，因为它可以通过大量数据学习和算法生成新内容。
  - ◆ 绝大部分人类智能敢说具有很强的模仿性创造创造力吗?
- ◆ 人类的原创性创造： 是指完全新的、没有直接依赖于已有作品的创作。这种创造力通常源于人类的情感、经验和深层次的理解。
  - ◆ 这一定是人类群体中的具有顶尖智能的极少数人做的事情。

◆目前AI与人类智能的差距，除了自主意识（意志）和情感等方面的差异外，在知识学习、甚至某些创新工作方面，似乎已经超过绝大多数人类。

◆今后，发展出具有五官感知能力的人形机器人（具身AGI）后，人类（中的绝大多数）很快会在绝大多数的领域中被机器人取代。

◆我觉得中国和世界，在20年内（不会太长的时间）。会因为（具身）AGI的出现发生天翻地覆的变化。

二、数学、物理、语言与智能

◆在AI/AGI快速迭代发展的强大压力下，我们还要学什么、干什么、能有什么创新？尤其在勘探地震学领域？

◆大家都去研究油气地震勘探机器人？让它接管数据采集、预处理、地震波成像、地震地质解释、最终确定井位？甚至让它发展勘探地震领域中新的理论、概念、方法、技术？

二、数学、物理、语言与智能

- 我认为：
  - 不断发展的智能（包括人类智能和AI）的确可以提高认识水平，决策能力等，但不能直接给出问题的答案。事实上，无论AI智能或是人类智能不过是两种不同的、但类似的智能形式，它们是同样的、同类的东西。
  - 物理和非物理世界各种问题的真解到底能否得到，或者复杂的问题是否能得到有效的解决，更基础地还是要取决于问题本身的非线性程度、数据的完备程度、对问题本身的认识程度等。并不会因为换一个智能形式，尽管它可能更强大，复杂的问题就会自然地得到解决。
  - 理想的情形是：人类智能在AI/AGI的辅助下，更好地把人类智能期望解决的问题更好地解决掉。

二、数学、物理、语言与智能

- 我的希望：
  - WPI更应该培养具有创新能力的，能与AGI协调工作的人类智能体。
  - 数学物理知识更扎实。
  - 对数据分析、信息处理、知识处理、逻辑推演、ML/AI/AGI理解深刻。
    - WPI对基于语言（包括多模态数据）的知识处理、逻辑推演了解不够。需要补强这方面的知识。
  - 能准确把握哪些是还没有解决的根本问题。
  - 能提出创新的理论方法与技术。

目 录

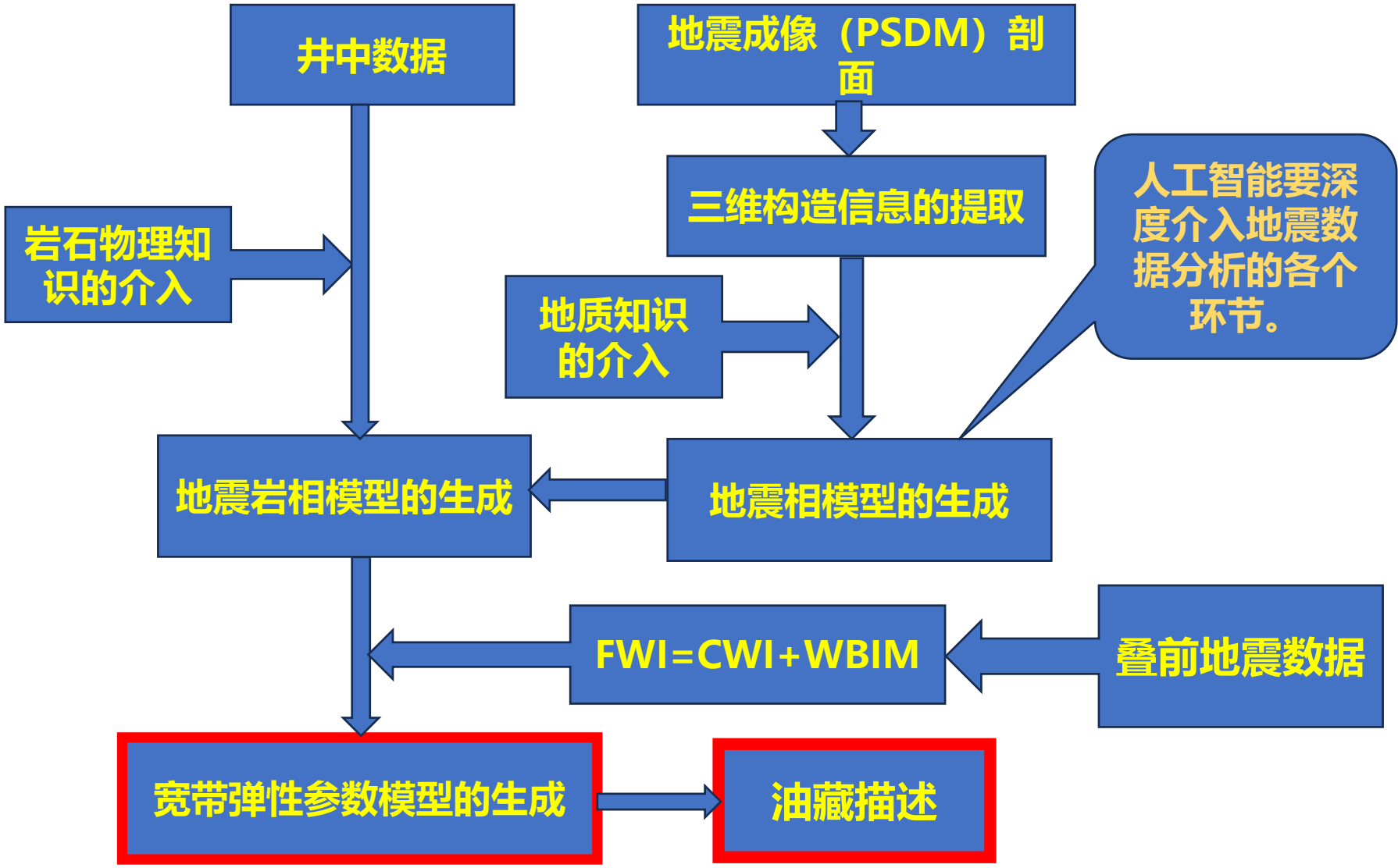
- 一、概述
- 二、数学、物理、语言与智能
- 三、地震数据分析的基本逻辑
- 四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向
- 五、结论与讨论

三、地震数据分析的基本逻辑

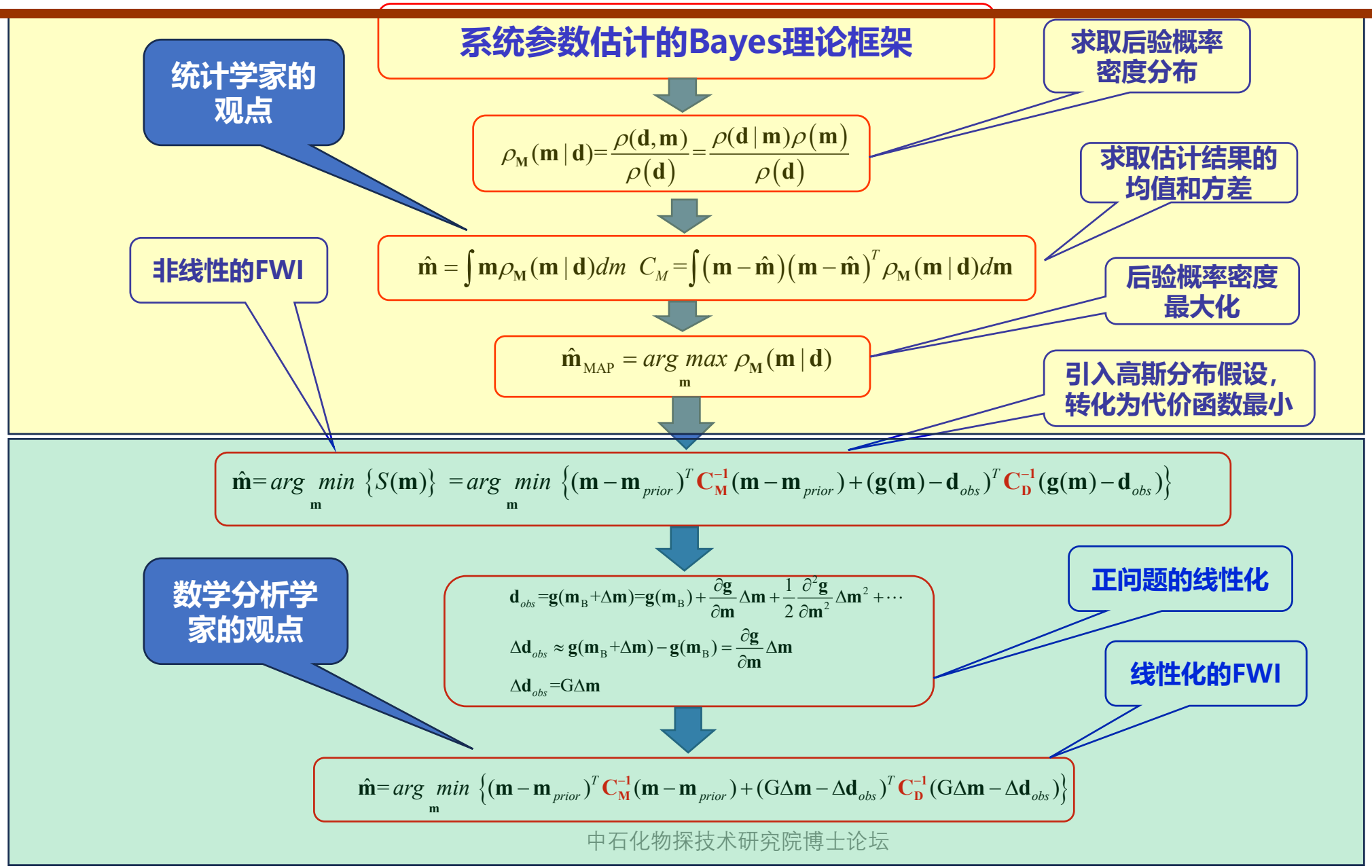
◆地震数据分析的三个核心问题：

- ◆1、地震信号（图像）分析；
- ◆2、弹性参数反演；
- ◆3、弹性参数映射为岩石物性参数。

◆理论上，这三个问题都可归结为：Bayes参数估计问题/Bayes推断问题。



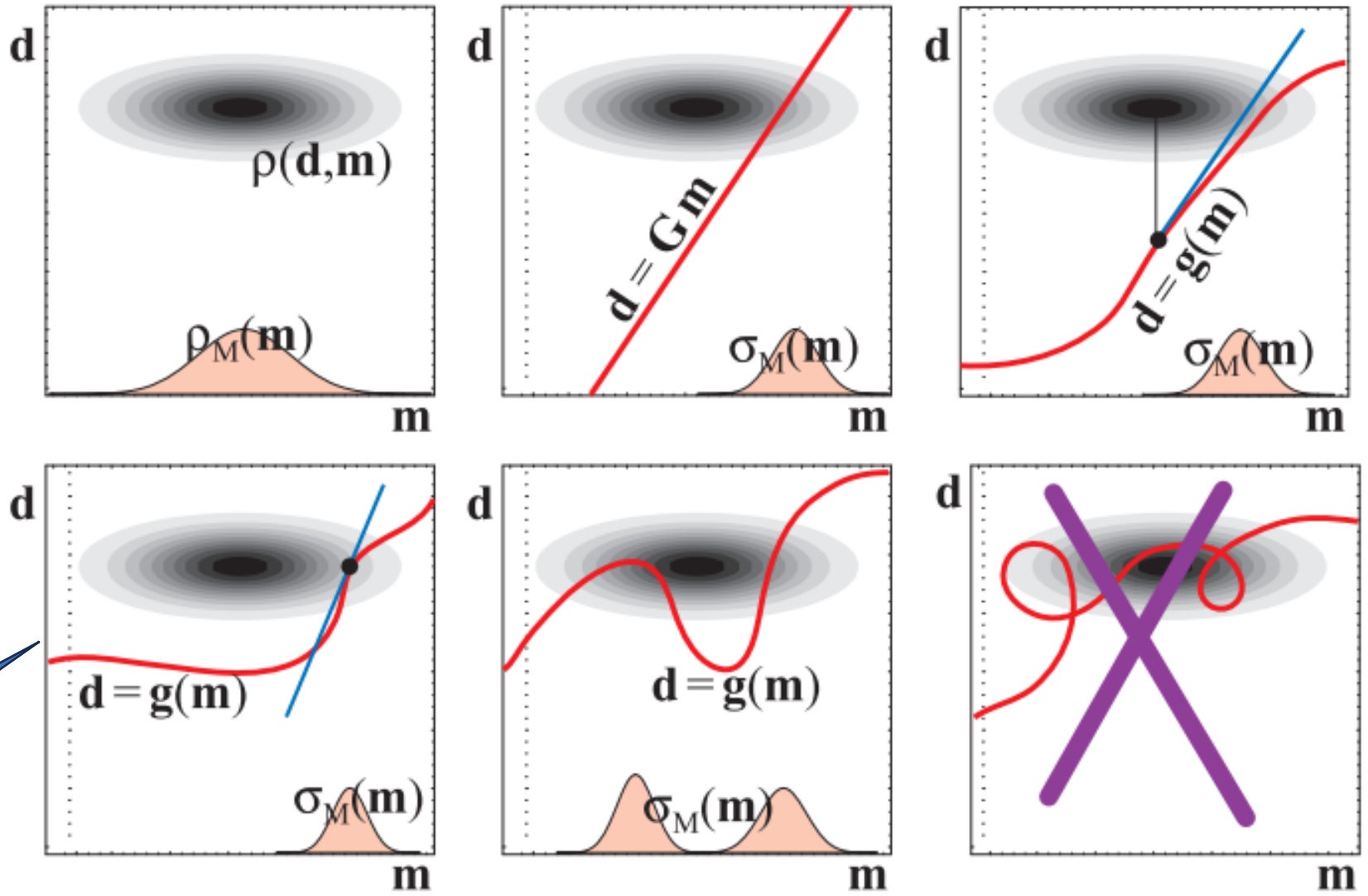
三、地震数据分析的基本逻辑



三、地震数据分析的基本逻辑

◆地震数据分析的根本性困难-问题的强非线性

- 很多因素都会引起参数估计问题解的不唯一、不收敛、不稳定。但归总起来，就是反问题的强非线性导致的。



借用Tarantola(2005)Bayes参数估计的图

无论人工智能或是人类智能都试图解决越来越强的非线性问题

三、地震数据分析的基本逻辑

◆尽管AGI可能很短时间内就会有突破，但是勘探地震中问题的解决主要还是要靠人类智能。

◆地震数据分析领域、地震波反演成像领域、岩性参数估计领域、储层描述及油藏评价领域的核心问题还是比较明确的。

◆地震数据分析领域：

- 强噪声+弱信号情形下的非线性、非平稳信号预测问题。然后，依然是解决解混叠、规则化、去噪声等问题。震源（端）和检波器（端）引起的不符合波动方程理论假设要求的不一致性的消除问题。乘性噪声问题。

◆地震波反演成像领域：

- 强非线性的FWI如何实用化的问题。Zoeppritz方程应该融入到FWI反演过程中。理论研究上，应该不必要通过角度反射系数和Zoeppritz方程估计弹性参数了。实际应用中，另当别论！

三、地震数据分析的基本逻辑

- **岩性参数估计领域：**
  - 由弹性参数，借助岩石物理关系，估计岩性参数，还是合理的逻辑路线。但是，由于岩石物理关系这个正问题实在过于复杂，也许根本不可能存在一个合理的数学表达式，描述弹性参数与岩性参数直接的关系，因此，由大量的统计样本，尤其借助数字岩心生成大量的统计样本，训练神经网络，基于神经网络实现弹性参数向岩性参数的映射，是合理的技术策略。
  - 数字岩心的生成，数字岩心对应的弹性参数的计算（难道还要借助岩石物理关系？）是两个未解的难题。
- **储层描述及油藏评价领域：**
  - 储层的几何形态描述、岩性参数描述是核心问题。
  - 计算机图像雕刻是储层的几何形态描述的工具；岩性参数描述用前述的方法。
  - 油藏评价要借助测井数据和地质知识。目前主要是人类解释员按训练出的智能进行的。能训练AGI进行吗？钱、人、数据样本呢？

三、地震数据分析的基本逻辑

◆我认为：地震数据分析中，复杂的强非线性问题的解决，主要还是要靠模型驱动。数据驱动要解决的问题只是辅助的。模型驱动+数据驱动解决问题的方式会越来越普及。

◆数据驱动解决问题主要是靠大数据+深度神经网络算法；模型驱动解决问题主要靠正问题（数学模型）+反问题提法（大多提一个约束优化反问题）与解法。

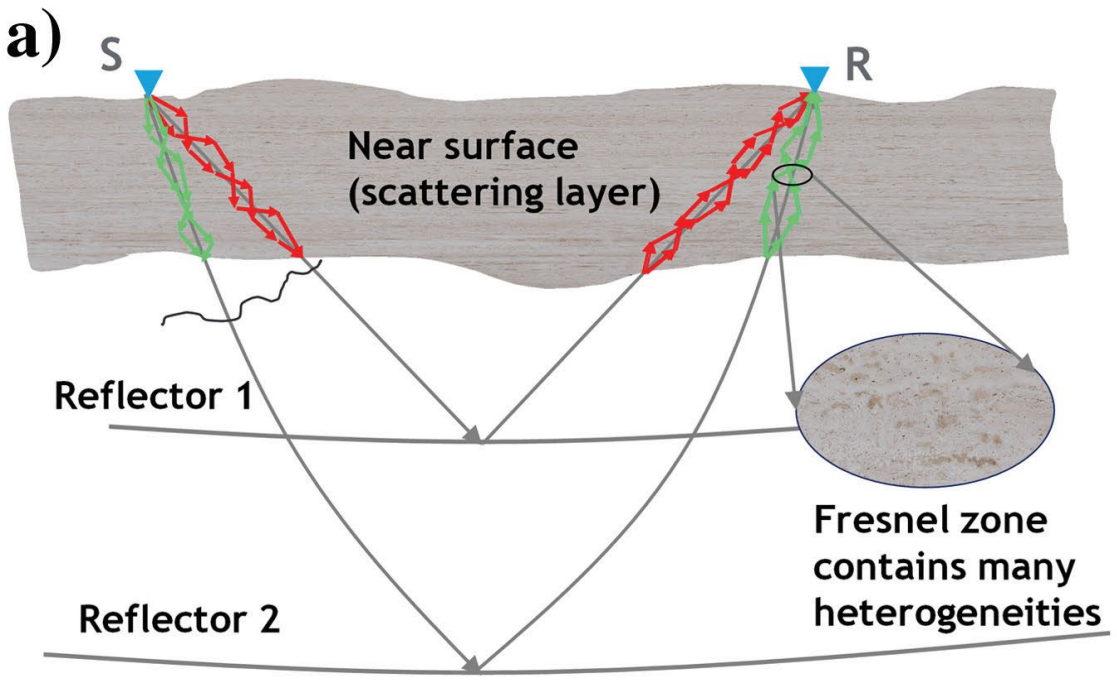
◆试图发展一个全能的油气勘探智能体，把所有环节的问题，一直到定井位决策都包揽下来。是不可能做到的。

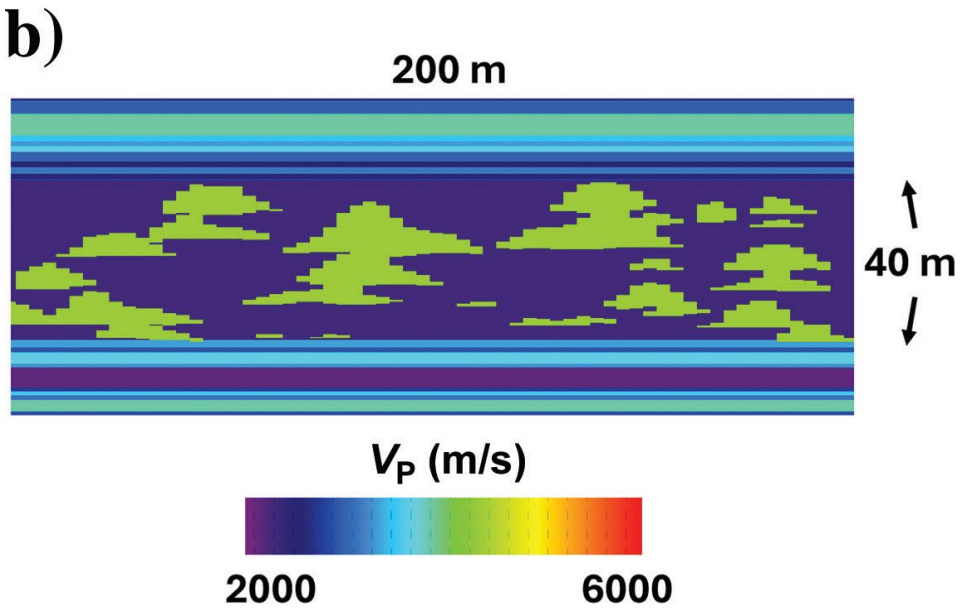
三、地震数据分析的基本逻辑

- 地震数据分析中，存在几个必须要深刻理解的数学模型（正问题）：
  - 1、地表一致性校正（褶积）模型；
  - 2、描述零偏移距地震道生成的褶积模型；
  - 3、高维数据体中，描述信号/图像（线性或非线性）结构的褶积模型；
  - 4、描述波在水和/或固体介质中传播的（微分形式或积分形式的）波动方程模型；
  - 5、描述波在界面上的分解模式的Zoeppritz方程；
  - 6、描述弹性参数与岩石性质参数的岩石物理模型。
- 每个具体问题，都会存在对应的数学模型，但大的方面，应该是上述6个类型的数学模型。地震数据分析的根本逻辑：就是基于上述数学模型定义的正问题，在一定的理论框架下（通常是Bayes估计理论），构建相应的反问题。求解反问题，解决地震数据分析各环节的具体问题。

三、地震数据分析的基本逻辑

- 近地表小尺度散射体引起的散斑噪声的数学模型：
  - 这种噪声表现形式不是叠加在信号之上，而是直接打乱了信号。可以认为是一种乘性噪声。
  - 乘性噪声的压制，不能像加性噪声那样进行信号预测，剔除噪声。





三、地震数据分析的基本逻辑

◆假设近地表小尺度异常是随机分布的，近地表小尺度散射体引起的散斑噪声的数学模型可以表示为：

$$\boldsymbol{x}_k(t) = \boldsymbol{r}_k(t) * \boldsymbol{s}(t) + \boldsymbol{n}_k(t)$$

◆其中，$\boldsymbol{r}_k(t)$和 $\boldsymbol{n}_k(t)$ 都是Gauss分布的，前者对信号的改造是乘性的、后者是加性的。

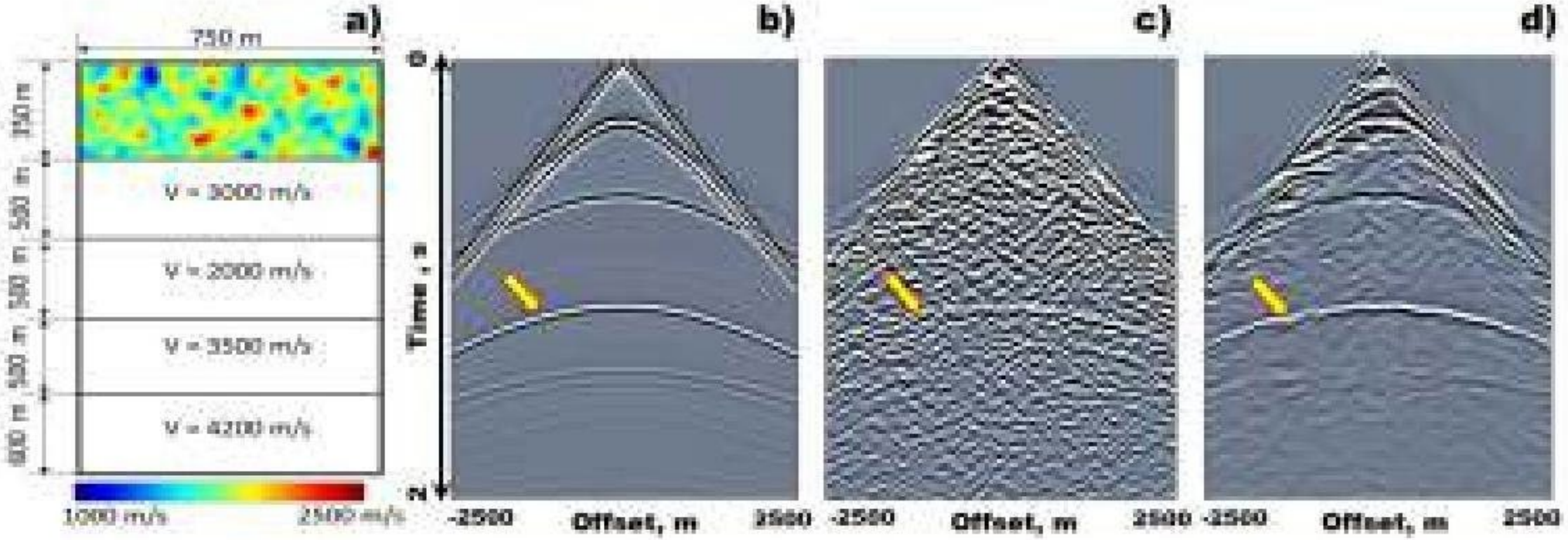
◆频率域中，对观测数据求期望，得到：

$$\bar{X}(\omega) \approx E\left[X_k(\omega)\right] = E\left[R_k(\omega)S_k(\omega)\right] + E\left[N_k(\omega)\right] = S(\omega)E\left[R_k(\omega)\right]$$

◆很显然，频率域中（乘性）散斑噪声压制，就是反褶积估计 $S(\omega)$ 。

三、地震数据分析的基本逻辑

- 散斑噪声的数学模型的正演模拟检验：
  - 依次为速度模型，第一层为匀速模型，第一层为散射体模型，BeamForming后效果



包含近地表小尺度体的模型；不含近地表小尺度体的正演炮集；　含散斑噪声的炮集；　Beamforming后的炮集

三、地震数据分析的基本逻辑

- 地表一致性褶积模型（Taner & Koehler,1981, Geophysics, V46, P17-22）：
  - Taner & Koehler（1981）根据物理逻辑直接写出如下模型：

$$F_{nm}(\omega)=S_n(\omega)R_m(\omega)C_k(\omega)D_{\ l}(\omega)$$

  - 其中，$F_{nm}(\omega)$ 代表炮点位置n处和检波点位置m处的频域地震道；$S_n(\omega)$ 代表炮点位置处的对地震道的各种影响（什么影响？）；$R_m(\omega)$ 代表检波点位置处的对地震道的各种影响（什么影响？）；$C_k(\omega)$代表共中点位置处地下介质对地震道的影响；$D_{\ l}(\omega)$ 代表共中点位置附近的速度场对地震道的影响。 $k=\frac{m+n}{2}$ $l=\frac{m-n}{2}$
- 对上式求对数，

$$\log F_{nm}(\omega)=\log S_n(\omega)+\log R_m(\omega)+\log C_k(\omega)+\log D_{\ l}(\omega)$$

- 进一步地，可以把实测地震道分为振幅和相位两部分

$$\log F_{nm}(\omega)=\log\left|F_{nm}(\omega)\right|+i\theta_{nm}(\omega)$$

三、地震数据分析的基本逻辑

- 我认为的地表一致性褶积模型应该是：
  - Taner & Koehler（1981）根据物理逻辑直接写出如下模型：

$$F_{nm}(\omega) = S_n(\omega) R_m(\omega) \left[G_n^D R G_m^U \right](\omega)$$

  - 其中，$F_{nm}(\omega)$ 代表炮点位置 n 处和检波点位置 m 处的频域地震道；$S_n(\omega)$ 代表炮点位置处的对地震道的各种影响（什么影响？）；$R_m(\omega)$ 代表检波点位置处的对地震道的各种影响（什么影响？）；$\left[G_n^D R G_m^U \right](\omega)$ 代表纯粹的波传播过程，满足波动方程的波场部分。

- 如何具体实现上述地表一致性校正（反褶积）？
- FWI时代还需要这样的处理吗？

三、地震数据分析的基本逻辑

- 地震数据分析的核心逻辑就是这样。
- 对物理问题的理解，即对正问题数学模型的物理本质的把握，是第一位的。
- 对Bayes估计理论的理解也非常重要，尤其是其中的正则化思想与方法。
- 形形色色的具体问题，就是上述理念的具体化。

三、地震数据分析的基本逻辑

◆地震数据分析中的三种典型反问题模型：

◆图像处理中ROF模型：$J(\boldsymbol{u})=\frac{1}{2}(A\boldsymbol{u}-\boldsymbol{g})^2+\alpha TV(\boldsymbol{u})$ 。对于图像去噪问题，$A=\boldsymbol{I}$（单位矩阵）。

◆信号处理中去噪或反褶积模型：$J(\boldsymbol{\beta})=\frac{1}{2}\left(\Psi\boldsymbol{\beta}-\boldsymbol{d}^{obs}\right)^2+\alpha|\boldsymbol{\beta}|_1$

◆物理系统参数估计模型：$J(\boldsymbol{m})=\frac{1}{2}\left(A(\boldsymbol{m})-\boldsymbol{d}^{obs}\right)^2+\alpha\Omega(\boldsymbol{m})$ 。$\Omega(\boldsymbol{m})$代表不同形式的正则化方式。

◆在Bayes估计理论下，把微分方程/积分方程中的（物理）参数估计出来，与把基函数叠加模型中的系数估计出来，算法本质上是没有任何差别的。

◆不过，一般地，我们对（物理系统）参数会有更多的先验认识，能提出更多的、基于物理的正则化约束。

◆而对于基函数叠加系数，基本上仅能施加稀疏性约束。这是信号分析、图像分析与物理系统参数估计很不一样的地方。

◆信号/图像分析与地震波反演成像应该统一在一个反问题理论框架性，Bayes估计理论。差异是各自的正问题是不同的。

三、地震数据分析的基本逻辑

- 地震数据分析的核心逻辑就是这样。
- 对物理问题的理解，即对正问题数学模型的物理本质的把握，是第一位的。
- 对Bayes估计理论的理解也非常重要，尤其是其中的正则化思想与方法。
- 形形色色的具体问题，就是上述理念的具体化。

目 录

- 一、概述
- 二、数学、物理、语言与智能
- 三、地震数据分析的基本逻辑
- 四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向
- 五、结论与讨论

四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

- 基于SEG/EAGE2024年会总结即WPI的研究方向提出的若干研究议题：
  - 1、地震数据采集
    - 宽频可控震源的制造。如果能有宽频炸药震源更好。最好能有纯横波源。
    - 宽频保真检波器的制造。与无人机结合，与5G/6G数据传输结合。
      - 震源和检波器的硬件制造会是一直要开展下去的。尤其与AI和无人机的结合。
      - 新物理机制的震源和检波器也会不断探索下去。
    - 真正实现“两宽一高”的数据采集。
      - Shannon采样或Compressive Sensing采样
      - 采集方案的评估
      - 高效采集方式
    - 六分量数据采集可能是个比较有意思的研究议题。

四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

- 基于SEG/EAGE2024年会总结即WPI的研究方向提出的若干研究议题：
  - 2、地震数据预处理
    - 问题定位：地表和地下介质的复杂引起的强近地表噪声、波场（同相轴）非线性变化。
    - 问题本身：1、地表条件引起的子波不一致性/子波时变与空变；2、强噪声+弱的非线性变化的同相轴情形下的信号预测问题，也可以提成强噪声预测问题；3、高维数据中的非线性信号建模问题；4、乘性噪声的压制问题；5，……。
    - 可能的解决方案：1、各种变种的深度学习算法；2、基于统计的非线性方法；3、Volterra级数预测含有非线性时差的信号；4、其它非线性信号建模方法。
      - 可以看出，所有线性化方法逐渐没有了！即便出现线性预测算子，也要用凸优化方法寻找某种稀疏解。平凡的解法不可能再做下去了。必须创新！
    - 深水海水的动态性引起的各种预处理问题是个新问题。

四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

- 基于SEG/EAGE2024年会总结即WPI的研究方向提出的若干研究议题：
  - 3、地震波反演成像
    - 问题定位：Bayes参数估计理论下的地震波反演成像，即FWI。
    - 问题本身：强非线性反问题的不唯一、不收敛、局部解法
    - 强非线性反问题求解的基本逻辑：强非线性反问题拆分成一组临近的弱非线性反问题。
      - AGI也没有办法解决强非线性反问题根本存在的不唯一、难收敛问题。
      - 引入更多信息，进行更好的规则化约束，是首先要发展的技术。
    - 众所周知，FWI的理论问题的确有很多。主要是正问题相关的各种问题，弹性波、粘弹性波、多次波等，反问题本身的理论框架基本上都清楚了。
    - 今后对正问题的研究要持续强化。这个不能指望靠AI/AGI。
    - 反问题的理论研究要侧重多信息提取与融合（主要针对正则化问题）、随机反演、反演解的评价。

四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

- 基于SEG/EAGE2024年会总结即WPI的研究方向提出的若干研究议题：
  - 4、岩性参数估计
    - 问题定位：弹性参数向岩性参数的映射，一个Bayes统计推断问题。
    - 问题本身：缺乏明确的数学物理关系的更强的非线性反问题。
    - 问题求解的基本逻辑：由大量的来自井中的统计样本，尤其借助数字岩心生成大量的统计样本，训练神经网络，基于神经网络实现弹性参数向岩性参数的映射，是合理的技术策略。
      - 数字岩心的生成，数字岩心对应的弹性参数的计算（难道还要借助岩石物理关系？）是两个未解的难题。
    - 这是个值得花功夫研究的学术和应用并重的问题。

四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向

- 基于SEG/EAGE2024年会总结即WPI的研究方向提出的若干研究议题：
  - 5、储层描述及油藏评价领域：
    - 问题定位：储层的几何形态描述、岩性参数描述是核心问题。
    - 问题的解决方案：计算机图像雕刻是储层的几何形态描述的工具；岩性参数描述用前述的方法。
    - 油藏评价要借助测井数据和地质知识。目前主要是人类解释员按训练出的智能进行的。能训练AGI进行油藏评价和钻井定位吗？钱、人、数据样本呢？
    - 保真成像的属性参数提取，以及向储层含油气的定性映射。这也是当前油藏评价领域做的工作。
    - 由于缺乏统一的正问题，数据驱动的方法进行储层描述及油藏评价应该是今后的重点发展方向。

目 录

- 一、概述
- 二、数学、物理、语言与智能
- 三、地震数据分析的基本逻辑
- 四、人工智能爆发情形下地震数据分析的技术发展方向
- 五、结论与讨论

四、结论与讨论

◆Deepseek的横空出世，越来越预示着AGI很快要出现了。

◆AGI的出现真的能颠覆油气地震勘探领域吗?

◆人类智能和AGI智能都是智能形式，与复杂的非线性问题能否得到解决是两码事。无论什么智能也不能做到无米之炊。

◆更强大的智能可以提出更好的解决问题的理论、方法。但并不代表真能解决各种各样的复杂的实际问题。

◆问题的强非线性、数据的完备性、对问题的先验认识是能否解决复杂问题的先决条件。

四、结论与讨论

◆AGI应用到各种各样的实际领域、面对各种各样的应用场景时，还需要优秀的人才、大量的完备的样本数据和巨量的资金投入，修改训练AGI成为专用的AGI。但这往往是做不到的。

◆针对油气勘探领域的地震数据分析，我认为主要还是要靠人的智能发展更创新更有效的方法技术。

◆可以预计：今后要解决地震数据分析领域未解的问题，更要强化理论基础、广博知识领域，在AGI的辅助下，发展出创新的概念、理论、算法和技术。

谢谢
欢迎批评指正