



**波现象与智能反演成像研究组**

# **数学、物理、语言、智能与地震数据分析的未来**

**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25号**

# 目录

- ◆一、概述
- ◆二、数学
- ◆三、物理
- ◆四、语言
- ◆五、智能
- ◆六、地震数据分析
- ◆七、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？
- ◆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。



# 一、概述

- ◆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伽利略起到了重要作用。
- ◆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（数学物理方程）的模式而形成的。
- ◆我们所有的科学素养都是按照这样的逻辑形成的。近现代的数学和物理奠基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，打开了一条似乎与数学、物理十分不同的领域。数学和物理规律很难应用在上述领域的研究中。

◆我们对此相当陌生。但是，AI真正的发展是基于大语言模型的推理，基于图像识别。语言（以及语言所表达的知识）是AI进行推理的基础。人类也是按语言（以及语言所表达的知识）进行思考、推理和判断的。

◆不能否认直觉的思维，但这毕竟不是主要的思维形式。

◆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。



# 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

◆ **豆包对“数学、物理、语言 and 智能之间相互关联、相互影响，共同构成了人类认知世界和发展自身能力的重要基石”的回答。**

- ◆ **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，如牛顿的万有引力定律和爱因斯坦的相对论，都借助数学公式得以精确表达。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，如微分几何因广义相对论的发展得到进一步拓展。
- ◆ **数学与智能：数学在智能发展中扮演关键角色。** 数学的逻辑思维、抽象能力是人类智能的重要体现，学习和运用数学有助于锻炼和提升智能，包括逻辑推理、问题解决和创新思维等能力。在人工智能领域，数学是基础，机器学习算法依赖于概率论、线性代数、数理统计等数学理论，让计算机能够从数据中学习规律，实现智能决策和任务执行。



# 一、概述

◆ **豆包对“数学、物理、语言 and 智能之间相互关联、相互影响，共同构成了人类认知世界和发展自身能力的重要基石”的回答：**

- ◆ **物理与智能：**物理研究培养人们的科学思维和探究能力，这是智能的重要组成部分。对物理世界的探索需要观察、假设、实验验证等过程，锻炼了人类的智能。同时，智能的发展也推动物理研究的进步，如借助先进的智能算法和计算能力，科学家能处理和分析海量物理数据，加速理论研究和实验进展。
- ◆ **语言与智能：**语言是智能的外在表现形式之一，人类通过语言表达思想、交流知识，语言能力的发展与智能水平密切相关，语言的丰富性和准确性反映了智能的高低。同时，语言是思维的工具，它促进智能发展，帮助人们组织和表达思维，推动知识的积累和传承。在人工智能领域，自然语言处理是重要研究方向，使计算机能够理解和生成人类语言，这是衡量人工智能水平的重要标志。
- ◆ **语言与数学、物理：**语言是数学和物理知识传播和交流的载体，数学和物理的理论、概念需要通过语言来阐述和解释，帮助学习者理解和掌握。同时，数学和物理中的专业术语和符号，作为一种特殊的语言形式，具有高度的精确性和简洁性，丰富了人类语言的表达体系。



# 一、概述

◆ Deepseek对“数学、物理、语言和智能之间相互关联、相互影响，共同构成了人类认知世界和发展自身能力的重要基石”的回答。

## ◆ 1. 数学、物理、语言和智能的相互关联

### ◆ 数学与物理：

◆ 数学是描述自然规律的语言，物理学则通过数学建模来揭示世界的运行机制。例如，牛顿的经典力学和爱因斯坦的相对论都依赖于数学工具来表达其理论。数学为物理提供了精确的逻辑框架，而物理则为数学提供了现实意义和应用场景。

### ◆ 语言与智能：

◆ 语言是人类表达思想、传递知识和进行抽象思维的工具。它不仅承载了文化和社会经验，还塑造了我们的认知方式。智能的发展离不开语言，因为语言使我们能够进行复杂的推理、沟通和协作。

### ◆ 数学与语言：

◆ 数学本身是一种高度形式化的语言，它通过符号和逻辑规则来表达抽象概念。语言的表达能力也影响了数学的发展，例如，数学符号系统的演进极大地推动了数学的进步。

### ◆ 智能与数学、物理：

◆ 智能不仅体现在对数学和物理知识的掌握上，还体现在运用这些知识解决实际问题的能力上。**人工智能的发展正是数学、物理和语言能力的综合体现。**

# 一、概述

- ◆对“数学、物理、语言和智能之间相互关联、相互影响，共同构成了人类认知世界和发展自身能力的重要基石”的回答。
  - ◆2. 共同构成人类认知的基石
    - ◆认知世界的工具：
      - ◆数学提供了逻辑和量化工具，物理提供了对自然现象的解释框架，语言提供了表达和交流的媒介，而智能则是整合这些能力并加以创新的核心。
    - ◆发展自身能力的基础：
      - ◆人类通过学习数学、物理和语言，不断扩展自己的认知边界。智能则使人类能够将这些知识应用于实践，推动科学、技术和社会的发展。

# 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（相对于AI智能）。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。

# 一、概述

## ◆ Deepseek对我的基本判断的评价：

### ◆ 1. 人类智能体的独特优势

#### ◆ 对数学、物理、语言的掌握：

◆ 你正确地指出，人类智能体通过数学、物理和语言构建了对世界的认知框架。这些能力使人类能够理解复杂的概念、建立理论模型，并将知识应用于实际问题。

#### ◆ 目标驱动力：

◆ 你强调了人类智能体的目标驱动力是独有的，这一点非常重要。**人类的创造力、价值观、伦理判断和情感驱动是AI目前无法复制的。**这些特质使人类能够设定有意义的目标，并引导技术的发展方向。

# 一、概述

## ◆ Deepseek对我的基本判断的评价:

### ◆ 2. AI智能体的补强作用

#### ◆ 大数据分析 with 计算能力:

◆ 你准确地指出了AI智能体在大数据分析和复杂计算方面的优势。AI能够处理海量数据，发现非线性关系和隐藏模式，这些能力远超人类智能体的生理限制。

#### ◆ 扩展认知边界:

◆ AI有可能发现人类难以察觉的复杂关系，从而扩展人类对物理和非物理世界的认知。例如，AlphaFold通过分析蛋白质序列预测其结构，解决了生物学领域长期以来的难题。

# 一、概述

## ◆ Deepseek对我的基本判断的评价:

### ◆ 3. 人类与AI的协同关系

#### ◆ 人类主导，AI辅助:

◆ 你强调人类智能体必须在目标设定和方向指导上起主导作用，而AI智能体作为工具和辅助手段。这种观点非常关键，因为技术本身是中性的，其价值取决于如何使用。

#### ◆ 互补性:

◆ 人类智能体与AI智能体的结合能够产生协同效应。例如，在医疗领域，医生可以借助AI分析医学影像，但最终的诊断和治疗方案仍需医生结合临床经验和患者具体情况来决定。

# 一、概述

## ◆ Deepseek对我的基本判断的评价：

### ◆ 4. 观点的深刻性与前瞻性

#### ◆ 对AI局限性的认识：

◆ 你清楚地认识到AI智能体目前无法替代人类的目标驱动力和创造力。这种清醒的认识有助于避免对技术的过度乐观或盲目依赖。

#### ◆ 对人类独特性的强调：

◆ 你强调了人类智能体在目标设定和价值观上的独特性，这与当前关于AI伦理和治理的讨论高度契合。技术的发展必须服务于人类福祉，而不是相反。

# 一、概述

## ◆ Deepseek对我的基本判断的评价:

### ◆ 5. 可能的补充与延伸

#### ◆ AI的局限性:

- ◆ 可以进一步探讨AI智能体在哪些方面存在局限性，例如缺乏真正的理解能力、无法处理模糊性和不确定性等。

#### ◆ 伦理与责任:

- ◆ 在人类与AI协同的过程中，如何确保技术的使用符合伦理规范，如何划分人类与AI的责任边界，也是一个值得深入探讨的问题。

#### ◆ 未来发展方向:

- ◆ 可以展望未来人类（智能）与AI（智能）的进一步融合，例如脑机接口技术如何增强人类智能，或者AI如何更好地理解人类的意图和情感。

# 目录

- ◆一、概述
- ◆二、数学
- ◆三、物理
- ◆四、语言
- ◆五、智能
- ◆六、地震数据分析
- ◆七、结论与讨论

## 二、数学

- ◆ 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。

## ◆ 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



## ◆ WPI学生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

# 目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、数学
- ◆ 三、物理
- ◆ 四、语言
- ◆ 五、智能
- ◆ 六、地震数据分析
- ◆ 七、结论与讨论

# 三、物理



- ◆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。

## ◆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

# 三、物理

- ◆ **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**

# 三、物理

- ◆ **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！**

# 目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、数学
- ◆ 三、物理
- ◆ 四、语言
- ◆ 五、智能
- ◆ 六、地震数据分析
- ◆ 七、结论与讨论

## ◆ 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。

◆ 当然，它更是一种交流工具。

◆ 在中国所有的世界文化遗产中，汉字应该是最重要的。

◆ 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。

# 四、语言

- ◆ WPI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，譬如它是如何写出一首诗词的。
  - ◆ 不能用目前的知识和逻辑进行认知的领域（尤其像AI/AGI这种影响巨大的领域）会让人产生失控和焦虑感！
- ◆ 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、平凡的研究工作会失去价值，连培养研究生能力的价值可能也会失去？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？没有人类智能，AGI存在有价值吗？

# 目录

- ◆一、概述
- ◆二、数学
- ◆三、物理
- ◆四、语言
- ◆五、智能
- ◆六、地震数据分析
- ◆七、结论与讨论

## ◆智能的本质

### ◆信息处理能力

◆从最基本的层面看，智能的本质涉及信息处理。这包括对外部信息的感知、获取和内化。处理信息的核心在于能够进行分析、推理和决策。人类能够通过逻辑思维、归纳和演绎等方法分析信息。比如，科学家通过对实验数据的分析来发现规律，推理出理论。

### ◆适应与学习能力

- ◆智能的一个关键本质是适应环境的变化。
- ◆学习能力是智能的重要体现。

## ◆ 智能的本质

### ◆ 目标导向行为

- ◆ 智能体通常会表现出目标导向的行为。人类有各种各样的目标，如生存目标（获取食物、住所等）、社会目标（建立社交关系、获得认可等）和自我实现目标（追求艺术、学术成就等）。为了实现这些目标，人们会制定计划并采取行动。在人工智能中，智能体也可被设计成具有目标导向的行为。
- ◆ 人类的目标导向能力是自主意识（意志）驱动的！这是人类智能与AI/AGI的核心区别。

### ◆ 意识与创造力（在人类智能中尤为突出）

- ◆ 对于人类智能来说，意识是一个复杂且尚未完全理解的部分。意识使我们能够感知自己的存在，体验情感，并且能够进行自我反思。
- ◆ 创造力也是人类智能的显著特征。人类能够创造出前所未有的想法、艺术作品、科学理论等。
- ◆ 在人工智能中，虽然目前也有一些关于机器创造力的研究，如生成对抗网络（GAN）可以生成新的图像、音乐等，但机器的创造力与人类创造力在本质上仍有很大的区别。
- ◆ 人类的创新意愿（驱动力）也是自主意识（意志）驱动的！这是人类智能与AI/AGI的核心区别。

# 五、智能



- ◆从智能的四个重要方面看，人类智能只有在目标导向力、自主意识（意志）和创造力方面还保有一定的优势。但是，从AI目前能写出很好的诗词、很有意境的绘画，可以看出AI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。

# 目录

- ◆一、概述
- ◆二、数学
- ◆三、物理
- ◆四、语言
- ◆五、智能
- ◆六、地震数据分析
- ◆七、结论与讨论



# 六、地震数据分析

- ◆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？

# 六、地震数据分析

## ◆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。

# 六、地震数据分析

## ◆我的担心：

- ◆ 如果AI智能超过人类智能（在很多方面，事实上已经超过人类智能了），物理和非物理世界各种问题的解决，可能要靠AI智能（发展出的创新做法）。
- ◆ 比较糟糕的情况是：也可能人类智能理解不了AI智能发展出的理论方法。

## ◆我的判断：

- ◆ AGI可能很快会有突破，但是在各种各样应用领域和应用场景下，AGI要发挥作用，还需要非常长的时间。由于没有钱、没有人、没有充分的数据，可能在很多领域和场景下，没有可能、也没有必要发展出针对性的、专用的AI/AGI智能体。
- ◆ 大量受过充分教育和科学训练的人类智能体，在各种实际应用场景下，可能长期地存在下去。并与AGI一起向前演化。
- ◆ 油气地震勘探各领域、各环节情况应该就是如此。

# 六、地震数据分析

## ◆我的希望：

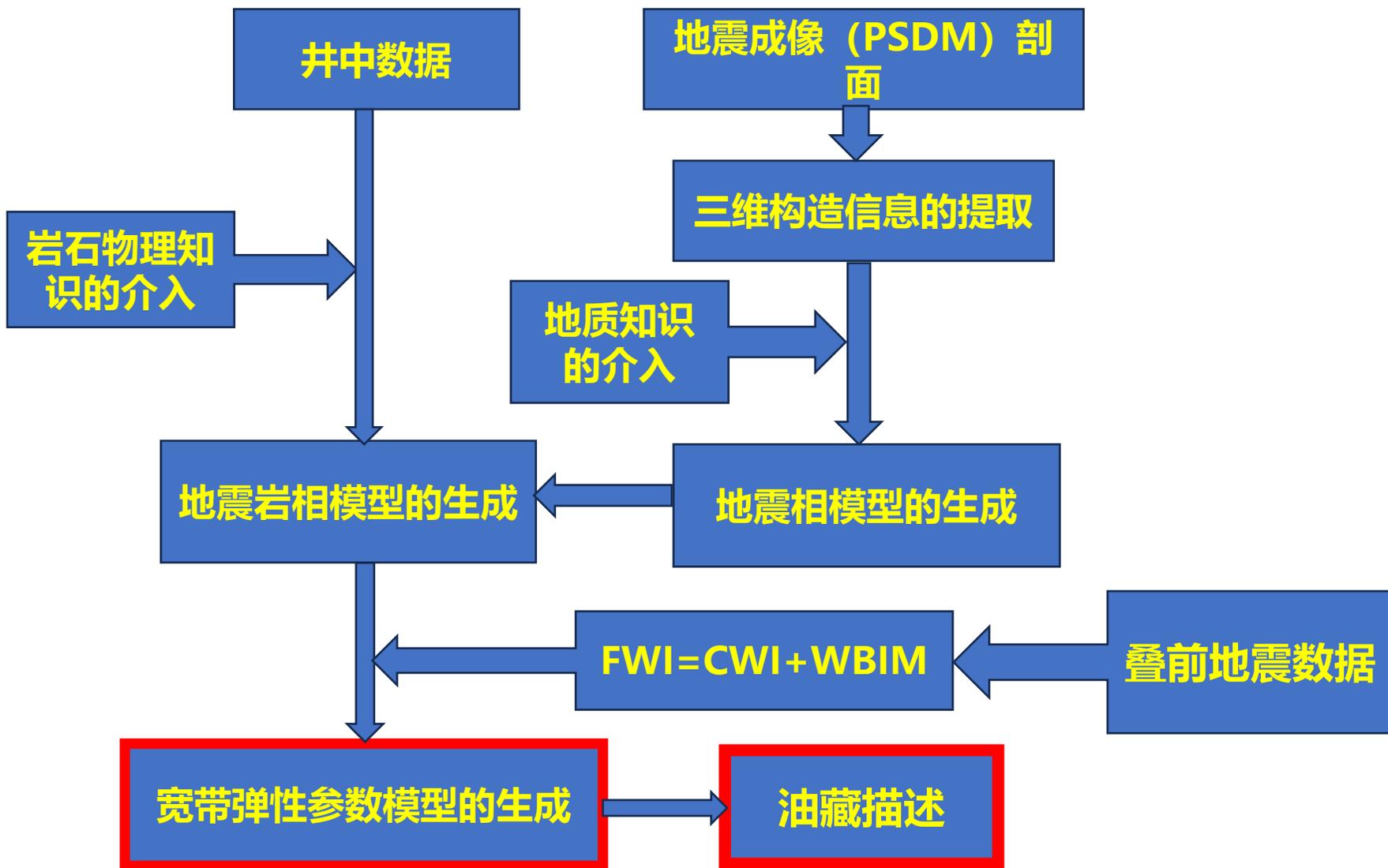
- ◆ WPI更应该培养具有创新能力的，能与AGI协调工作的人类智能体。
- ◆ 数学物理知识更扎实。
- ◆ 对数据分析、信息处理、知识处理、逻辑推演、ML/AI/AGI理解深刻。
  - ◆ WPI对知识处理、逻辑推演了解不够。
- ◆ 能准确把握哪些是还没有解决的根本问题。
- ◆ 能提出创新的理论方法与技术。

# 六、地震数据分析

## ◆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。





# 六、地震数据分析

## 系统参数估计的Bayes理论框架

统计学家的观点

求取后验概率密度分布

$$\rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) = \frac{\rho(\mathbf{d}, \mathbf{m})}{\rho(\mathbf{d})} = \frac{\rho(\mathbf{d} | \mathbf{m})\rho(\mathbf{m})}{\rho(\mathbf{d})}$$

求取估计结果的均值和方差

非线性的FWI

$$\hat{\mathbf{m}} = \int \mathbf{m} \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) d\mathbf{m} \quad C_M = \int (\mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}})(\mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}})^T \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) d\mathbf{m}$$

后验概率密度最大化

$$\hat{\mathbf{m}}_{\text{MAP}} = \arg \max_{\mathbf{m}} \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d})$$

引入高斯分布假设, 转化为代价函数最小

$$\hat{\mathbf{m}} = \arg \min_{\mathbf{m}} \{S(\mathbf{m})\} = \arg \min_{\mathbf{m}} \left\{ (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}})^T \mathbf{C}_M^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}}) + (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{\text{obs}})^T \mathbf{C}_D^{-1} (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{\text{obs}}) \right\}$$

数学分析学家的观点

正问题的线性化

$$\mathbf{d}_{\text{obs}} = \mathbf{g}(\mathbf{m}_B + \Delta\mathbf{m}) = \mathbf{g}(\mathbf{m}_B) + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}} \Delta\mathbf{m} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}^2} \Delta\mathbf{m}^2 + \dots$$

$$\Delta \mathbf{d}_{\text{obs}} \approx \mathbf{g}(\mathbf{m}_B + \Delta\mathbf{m}) - \mathbf{g}(\mathbf{m}_B) = \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}} \Delta\mathbf{m}$$

$$\Delta \mathbf{d}_{\text{obs}} = \mathbf{G} \Delta\mathbf{m}$$

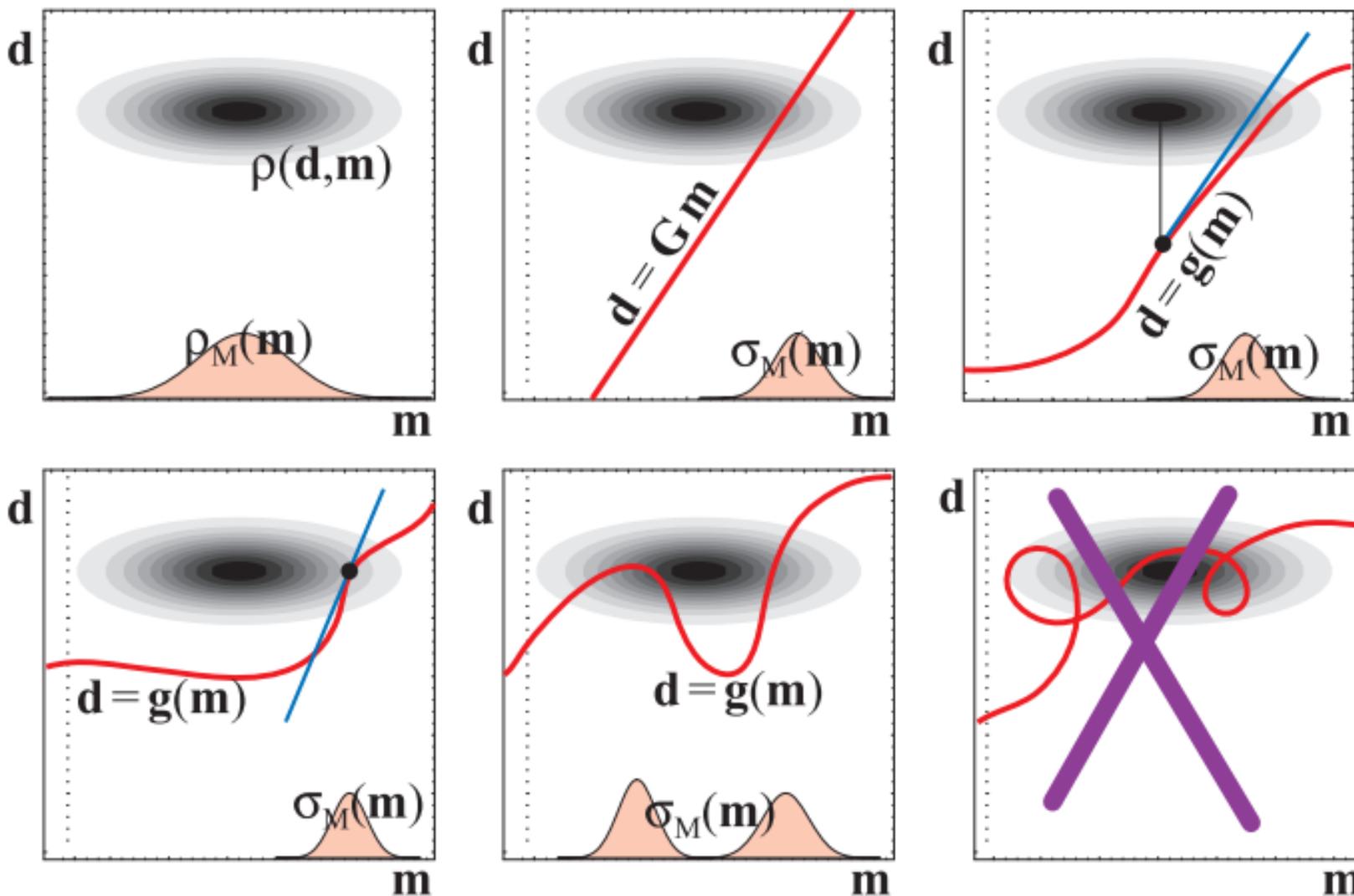
线性化的FWI

$$\hat{\mathbf{m}} = \arg \min_{\mathbf{m}} \left\{ (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}})^T \mathbf{C}_M^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}}) + (\mathbf{G} \Delta\mathbf{m} - \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}})^T \mathbf{C}_D^{-1} (\mathbf{G} \Delta\mathbf{m} - \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}}) \right\}$$

# 六、地震数据分析

## ◆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。但归结起来，就是反问题的强非线性导致的。



借用Tarantola(2005)Bayes参数估计的图

# 六、地震数据分析

## ◆弹性参数映射为岩石物性参数：

- ◆不存在类似波动方程的正问题，描述储层物性参数（譬如孔隙度、渗透率、饱和度、裂缝密度与方位、岩石脆性、含油气性等等）与（实测）波场之间的因果关系。不可能进行类似FWI的岩性参数反演。
- ◆用储层描述、或储层刻画、或储层评价，而不是储层反演的名字，已经说明了储层描述问题不可能有像地震波反演成像问题的解决途径。储层描述问题是一个基于信息综合的最佳决策问题。
- ◆储层描述问题的核心是各种信息的提取。储层描述的关键信息是由广义地震波成像技术提供的宽带弹性参数（弱旁瓣反射系数+宽带阻抗）成像结果。测井信息是储层描述的另一个关键信息。

# 六、地震数据分析

## ◆如何进行弹性参数向岩性参数的映射？ -基本的理论框架应该依然是Bayes

### 决策/推断：

- ◆ 假设储层岩性参数（岩石骨架成分、孔隙度、渗透率）为  $m$ ；弹性参数为  $\mu$ ；实测波场为： $d$ ，它们之间的联合概率密度为（Tarantola,2005）：

$$\Theta(d, \mu, m) = \theta(d | \mu, m) \theta(\mu | m) \mu_M(m)$$

- ◆ 上式的合理表达为：

$$\Theta(d, \mu, m) = \theta(d | \mu) \theta(\mu | m) \mu_M(m)$$

如何具体实现？

- ◆ 理论上，联合概率密度函数的最大化，可以作为储层岩性参数和弹性参数估计的准则。
- ◆ 其中， $\theta(\mu | m)$  代表储层岩性参数和弹性参数之间的相互依赖关系---岩石物理关系。到目前为止，这个依赖关系是不确定的。大量的岩心实验、分析结果未必能确认这个关系的具体形式。实际工作中也是不现实的。不可能获得如此大量的岩心和实验室测试分析数据。 $\theta(d | \mu)$  代表实测波场与弹性参数之间的关系，各种波动方程代表了这种关系。这种关系基本是认可的。是否需要更符合物理实际的波动方程？

# 六、地震数据分析

- ◆ 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！

# 六、地震数据分析

## ◆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？

# 六、地震数据分析

## ◆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。

# 六、地震数据分析

## ◆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。**

# 六、地震数据分析

## ◆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。

◆**WPI的研究重心还是要围绕着陆上地震数据的FWI实用化展开。而不能完全去研究AI/AGI，更不能仅仅利用开放的软件、试一个数据、发一篇文章。**

◆**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、随机反演、反演解的评价。**

# 六、地震数据分析

## ◆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。

# 六、地震数据分析

## ◆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。**

◆ **Aptin目前做的属于属性提取工作。应该站在储层描述的角度，基于现代图像处理和现代信号分析理论与方法，在保真成像的图像上，开展提高分辨率、纹理识别（事实上是断层识别、特殊地质体识别）、属性提取等方面的工作，提取储层的几何形态描述和储层评价的基础信息。保证博士论文的工作逻辑的完整性。仅仅研究时频分析的方法是不够的。应在一个完整的逻辑体系下开展博士论文工作。**

# 目录

- ◆一、概述
- ◆二、数学
- ◆三、物理
- ◆四、语言
- ◆五、智能
- ◆六、地震数据分析
- ◆七、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。更好的理论与方法也不是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。
- ◆ 因此，WPI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，解决领域内的相关问题。



**谢谢**  
**欢迎批评指正**