

井震联合自适应外推反演技术

汇报人：陈亚军

中国石油东方物探公司物探技术研究中心
中油油气勘探软件国家工程研究中心

2026年02月

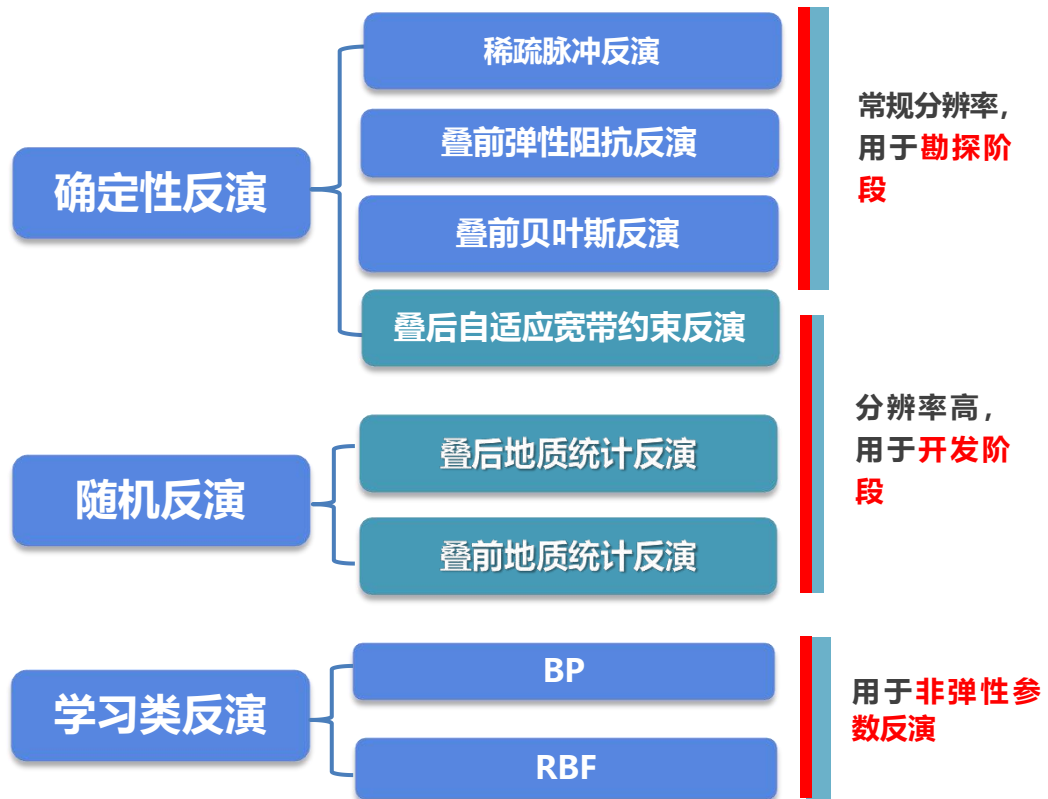
GeoE



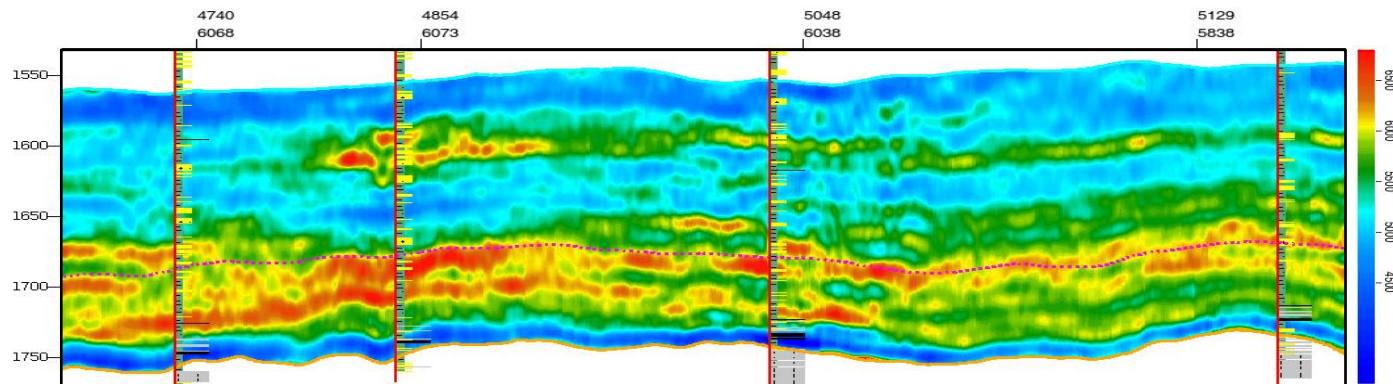


1、研究背景

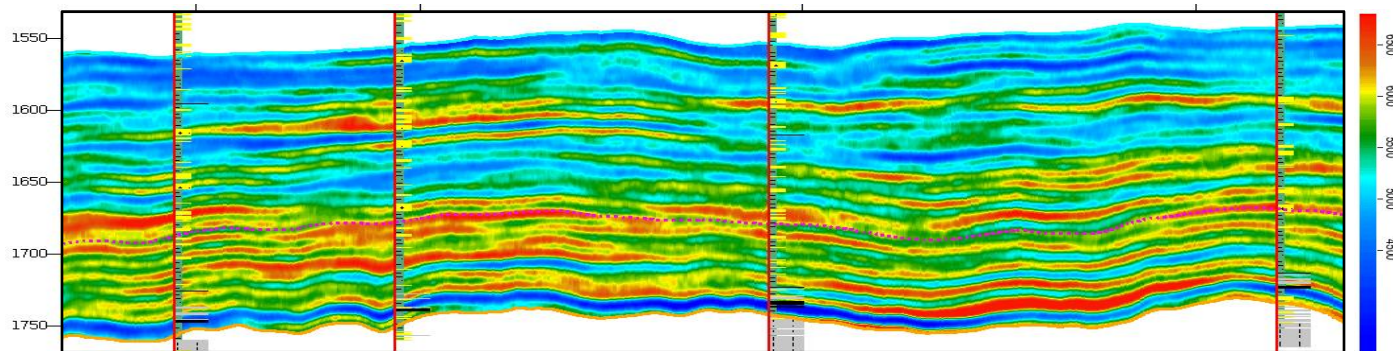
2020-2023年，研发了基于模型反演和地质统计学反演技术，能够利用测井信息，提升纵向反演精度。



2020-2023年研发



基于反射系数稀疏约束的叠前贝叶斯反演 (BI) -横波阻抗

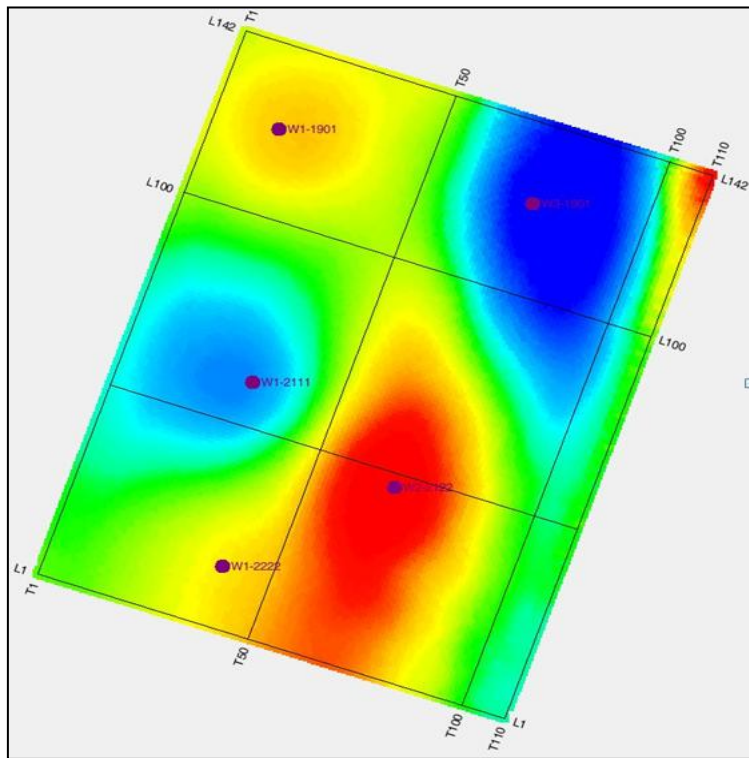


高分辨率叠前地质统计学反演 (PreMGI) -横波阻抗
长庆油田靖边工区叠前反演效果

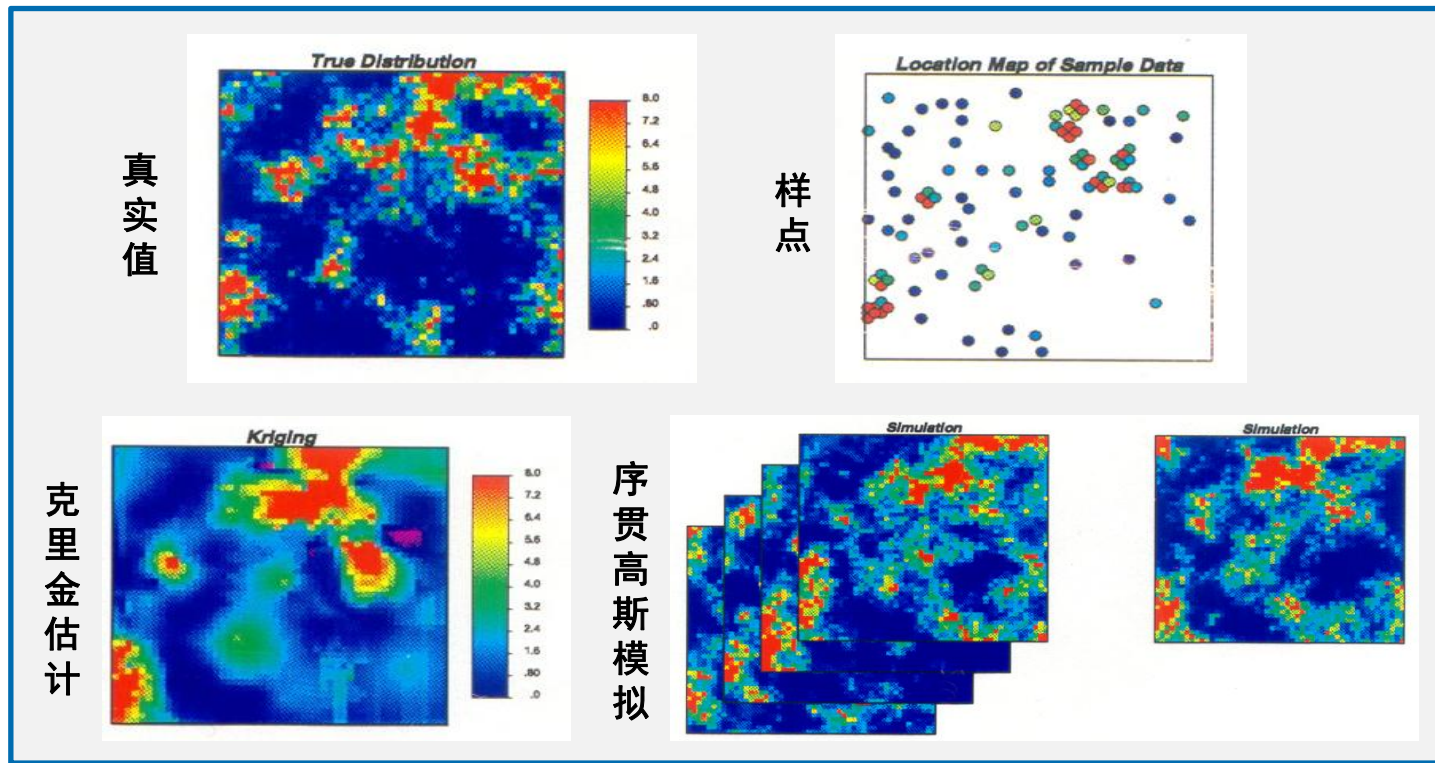


1、研究背景

存在的问题：在平面上，基于模型反演方法易受初始模型影响，造成反演结果模型化；地质统计学反演方法受变差函数影响，无法表征河道等强非均质性储层。如何获得既具有纵向高分辨率特征，又具有横向符合实际地质情形的反演结果？



井插值反演初始模型切片



真实值

样点

克里金估计

序贯高斯模拟

地质统计学随机模拟



CONTENES
目录

01 **研究背景**

02 **井震联合自适应反演技术**

方法原理

反演界面及参数

应用案例

03 **注意事项**

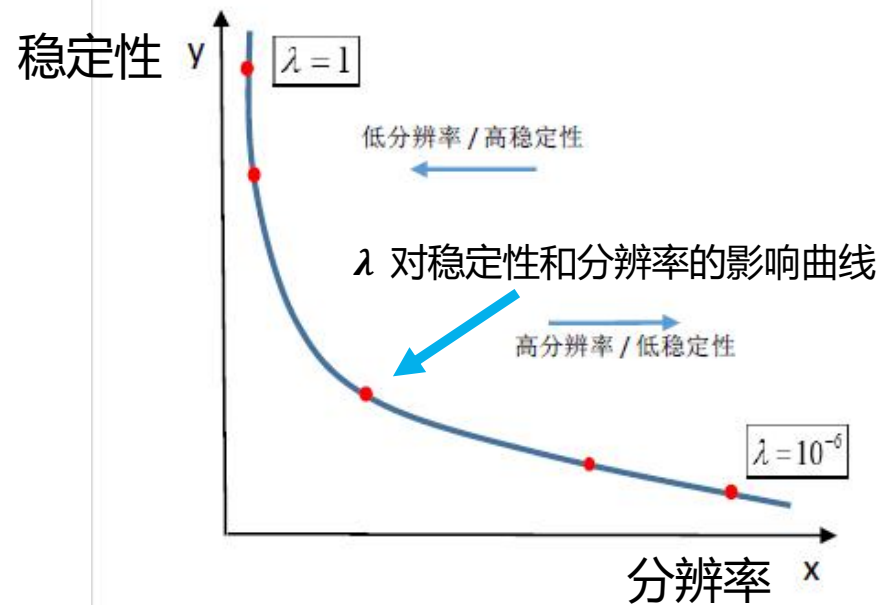


➤ 正则化参数自适应计算

叠前反演的迭代修正公式可以推导为： $\Delta m = (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T dS$

其中，Jacobi矩阵 G 和残差地震道 dS 都和初始模型、反演子波和地震数据有关，正则化参数 λ 是为提高反演的稳定性及保真性而设置的。当地震数据和反演子波确定之后，影响反演结果的两大主要因素为**正则化参数 λ** 和**初始模型 m_0** 。

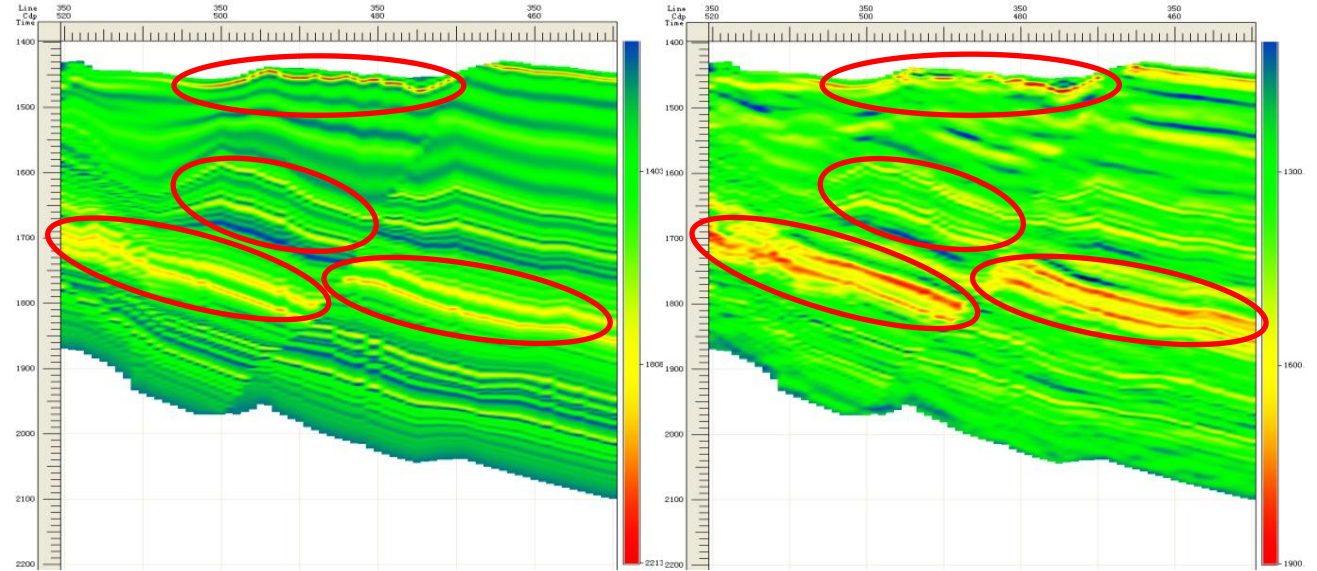
合理的正则化项可提高反演的分辨率和稳定性。较大的 λ 可以稳定迭代过程，但因减小 Δm 而造成反演结果模型化，分辨率低；较小的 λ 可使反演快速趋向真值，分辨率较高，但反演稳定性差，易导致反演过程发散。**自适应反演技术实现动态变化的正则化参数**，既保证反演趋于收敛稳定，又利于提高反演分辨率和保真性。





➤ 层位控制的动态建模技术

静态初始模型：在反演之前利用测井信息在地质层位约束下建立的模型，具有频带宽、分辨率高等特点。**由于静态模型是在井和地层的几何空间关系上，用一定的数学模型建立的，与真实模型的距离较大，而且形态刻板，模型化严重，不可避免地**将模式化问题带入反演结果中。



静态初始模型反演结果

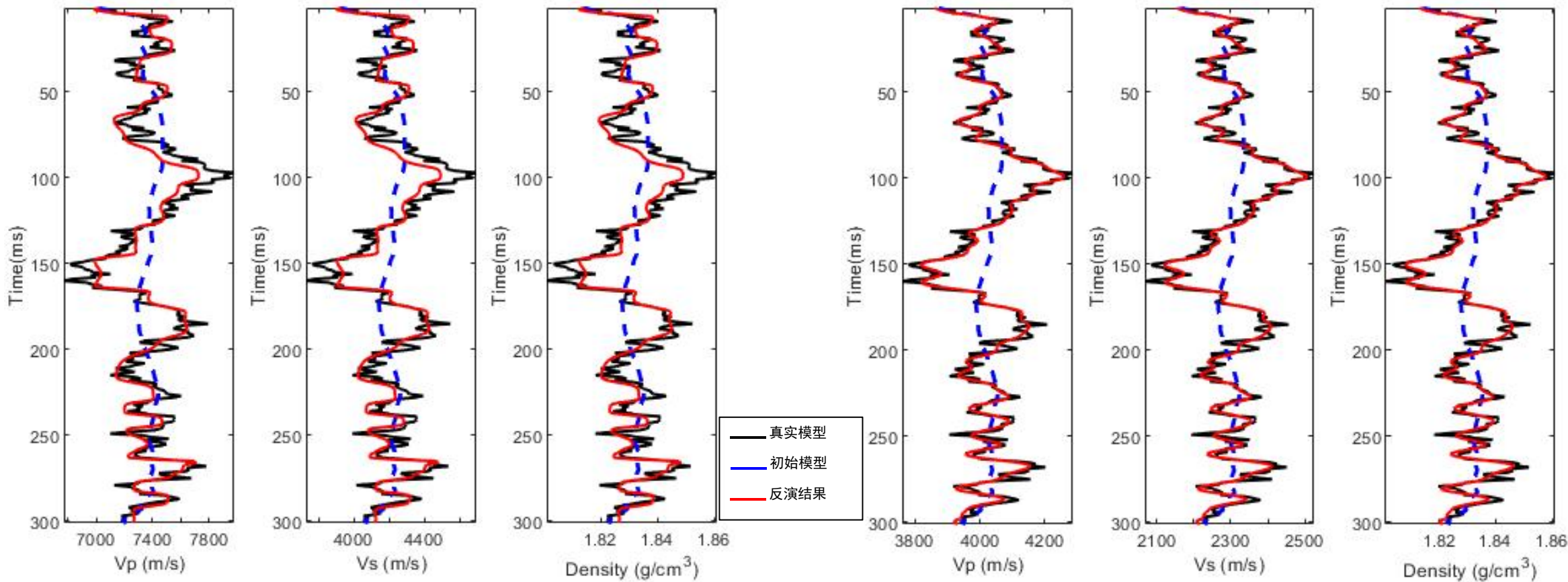
动态模型反演结果

地震反演具有多解性，迭代的初始模型 $m^{(0)}$ 对反演结果具有影响较大，理论和实践都证明，不同初始模型的反演结果间是有差异的，当初始模型接近于真实模型时，反演效果较好，远离真实模型时反演效果较差。



2.1、方法原理

单道模型测试：提高叠前三参数单道反演精度。



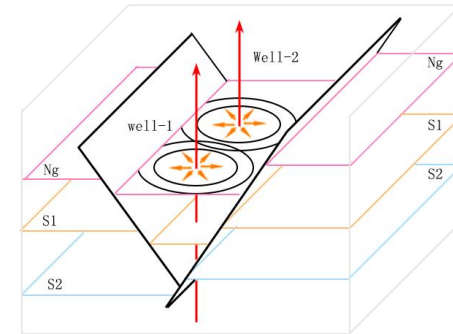
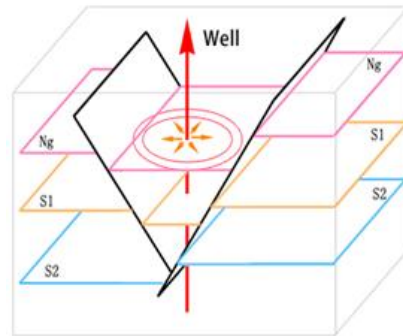
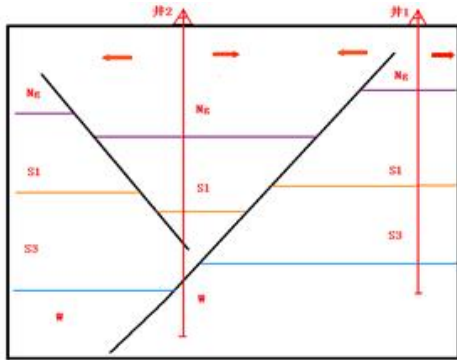
基于稀疏约束的叠前反演

自适应阻尼叠前地震反演

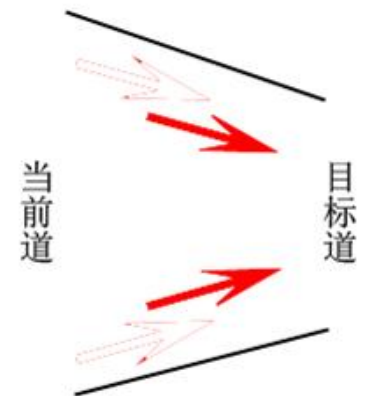


➤ 层位控制的动态建模技术

与静态建模反演不同，井震联合反演不需要先建立初始模型，反演过程是从井旁道开始，将测井数据作井旁道的初始模型进行反演，反演完成后，利用相邻道之间的相似性，在相（层）界面的约束下将反演结果外推到相邻道作初始模型，依次进行整个工区的反演。



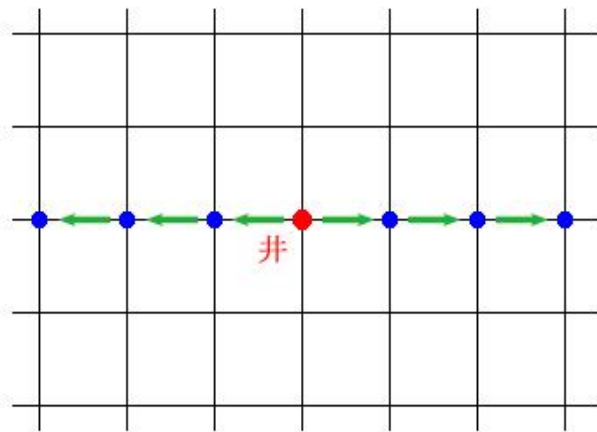
地震相（层）控道外推的主要依据是，相邻道相同地质背景的地层具有相似性，道间外推必须在相同背景的地层中进行。由于地层的厚度和产状变化，采用具有普遍性的平行于顶底模式，进行道间层位的统计与匹配。



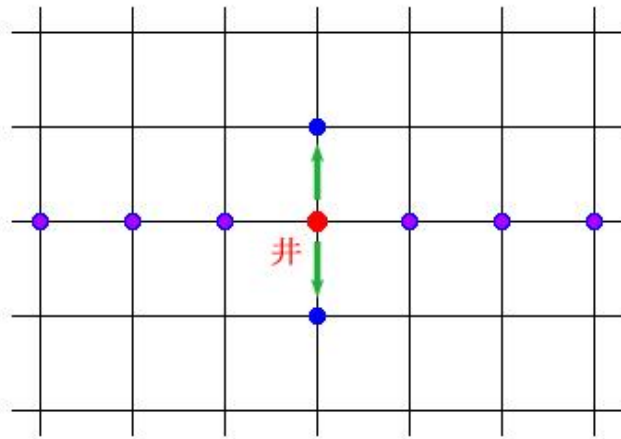


➤ 遍历整个三维工区的外推反演策略

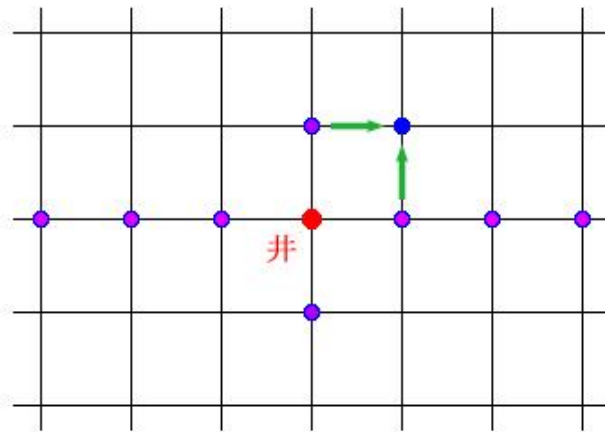
单井出发按一定规则外推整个三维工区。



1. 反演过井主测线



2. 过井联络线外推一道



3. 联合外推一道

井震联合反演的控制流程复杂，参与约束的每口井都要作起点进行反演，然后按一定的权值进行累加，工作量大，其**优势是反演所用的初始模型是动态的，是由测井、地震数据和相（层）界面共同建立的，反演结果更接近真实的地下沉积和构造。**



CONTENES
目录

01 **研究背景**

02 **井震联合自适应外推反演技术**

 方法原理

 反演界面及参数

 应用案例

03 **注意事项**



2.2、反演界面及参数



Adaptive Broad-band Constrained Inversion

Input Volume Parameters Wells Output

From Model

Adaptive damping factor Manual

Damping factor 0.2 0.000 1.000

Iteration Number 3 1 5

Amplitude Scale 1 0.1 10.0

From Well

Maximum of Iterations 3 1 5

Curve Constrain Limit

Lower 1500 (1200-3000) Upper 7000 (5000-8000)

Well Constrained Coefficient 0.5 0.0 1.0

Run Date & Time 2025-11-12, 14:35:25

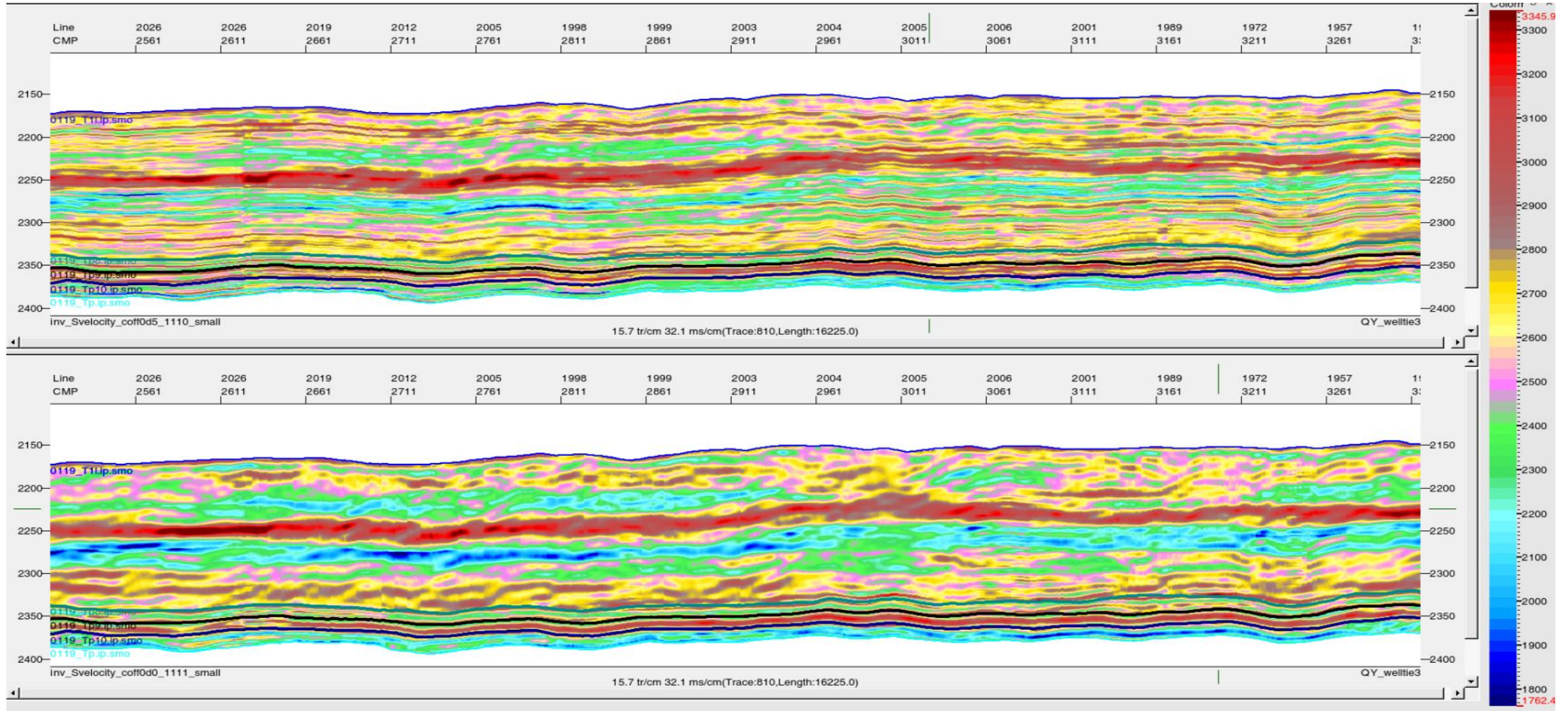
QC

Save... Load... Run... Close

- 外推过程中，会根据上道反演结果外推到本道，动态建立初始模型。但是由于地震迭代的影响，动态初始模型基本不含有高频成分；
- 井约束系数参数就是用井内插模型来弥补动态模型中高频成分的确实，提高反演剖面中的高频信息。该参数位0，表示完全用动态外推模型；等于1，表示完全用井的内插模型。



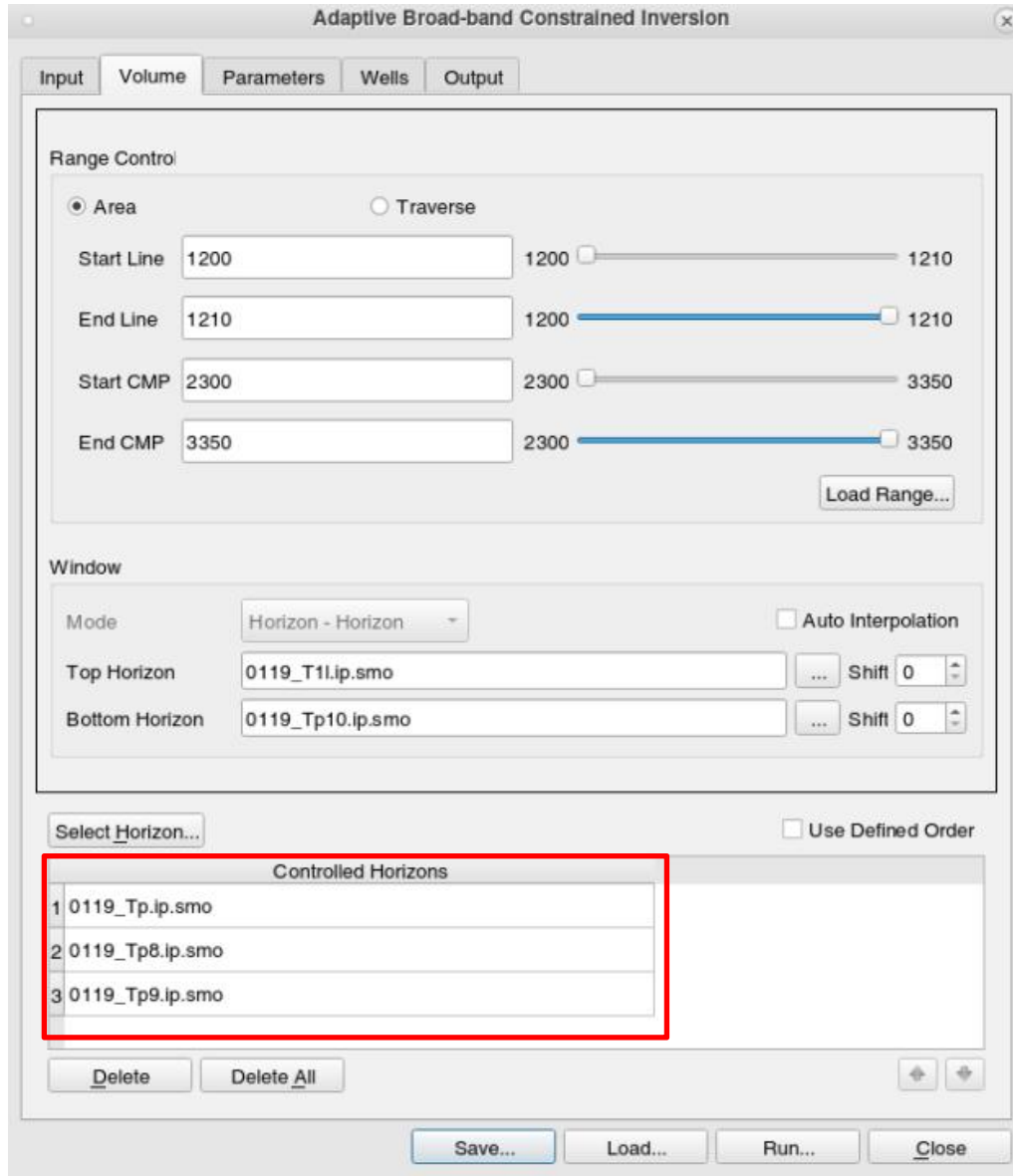
2.2、反演界面及参数



井约束参数对反演的影响：上图是井约束参数等于0.5，下图的井约束参数等于0。



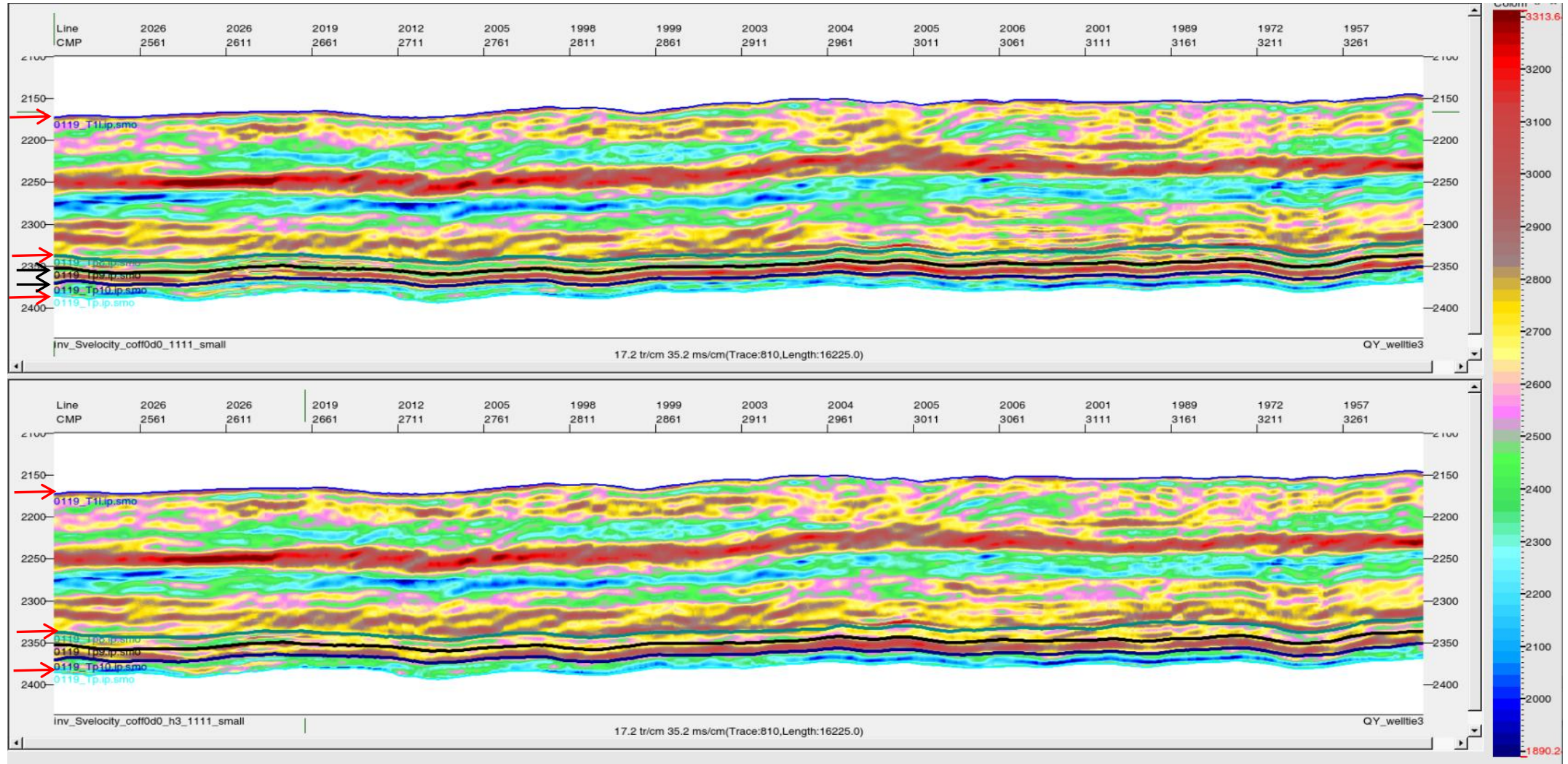
2.2、反演界面及参数



- 约束层位在外推反演中有重要作用：模块中对参与外推反演的所有井按照层位定义的每个地层统计均值和方差，所有动态模型都要进行相应的标准化校正。
- 如果层位约束比较细，目的层段的统计值就比较合理，动态模型也就更能揭示目的层段的目标岩性段，反演结果也就更合理。



2.2、反演界面及参数



约束层位对反演的影响：井约束参数都为0，上图采用5个约束层位，下图采用3个约束层位。



CONTENES
目录

01 研究背景

02 井震联合自适应外推反演技术

方法原理

反演界面及参数

应用案例

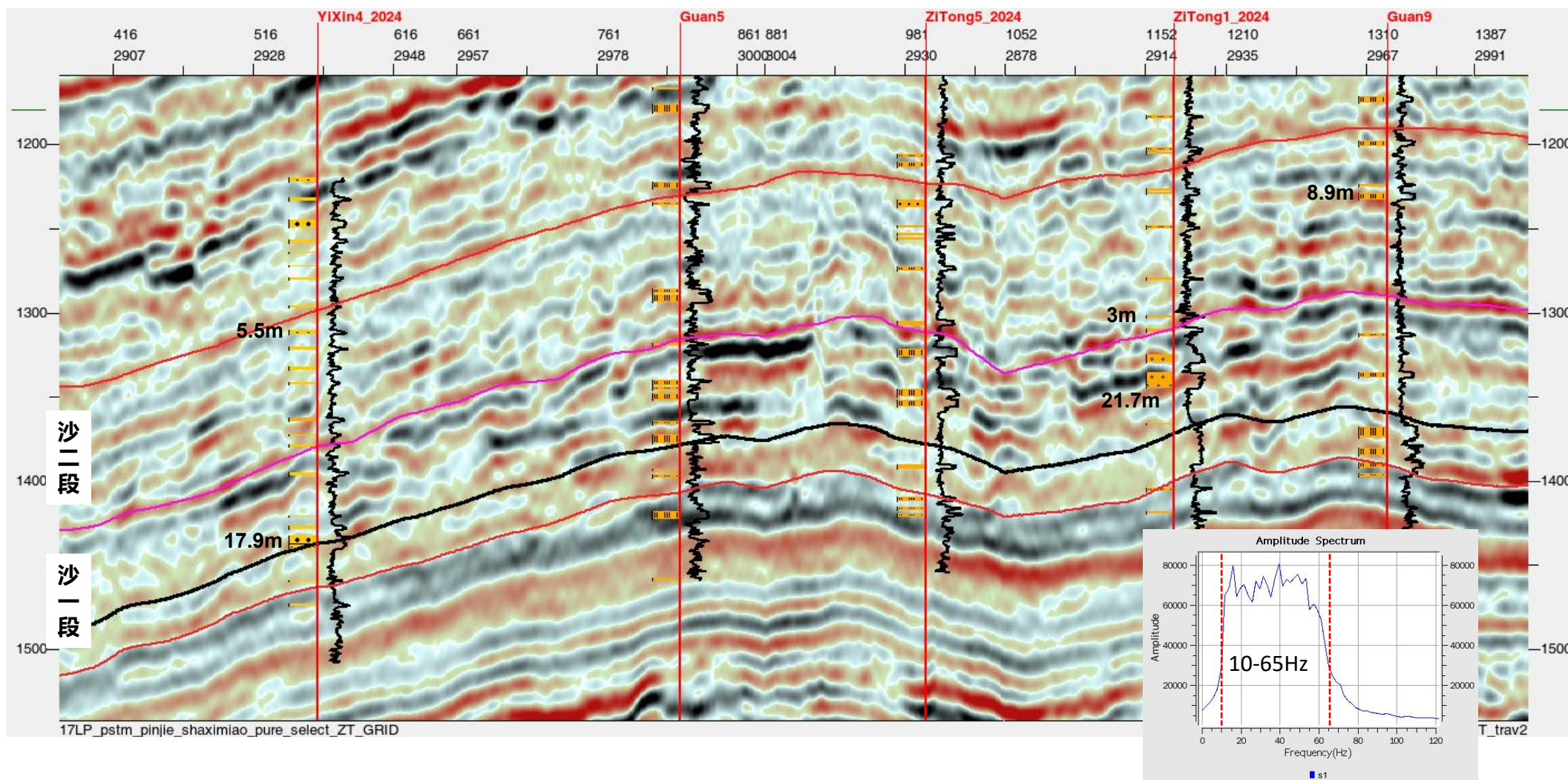
03 注意事项



2.3、应用案例-叠后自适应外推反演



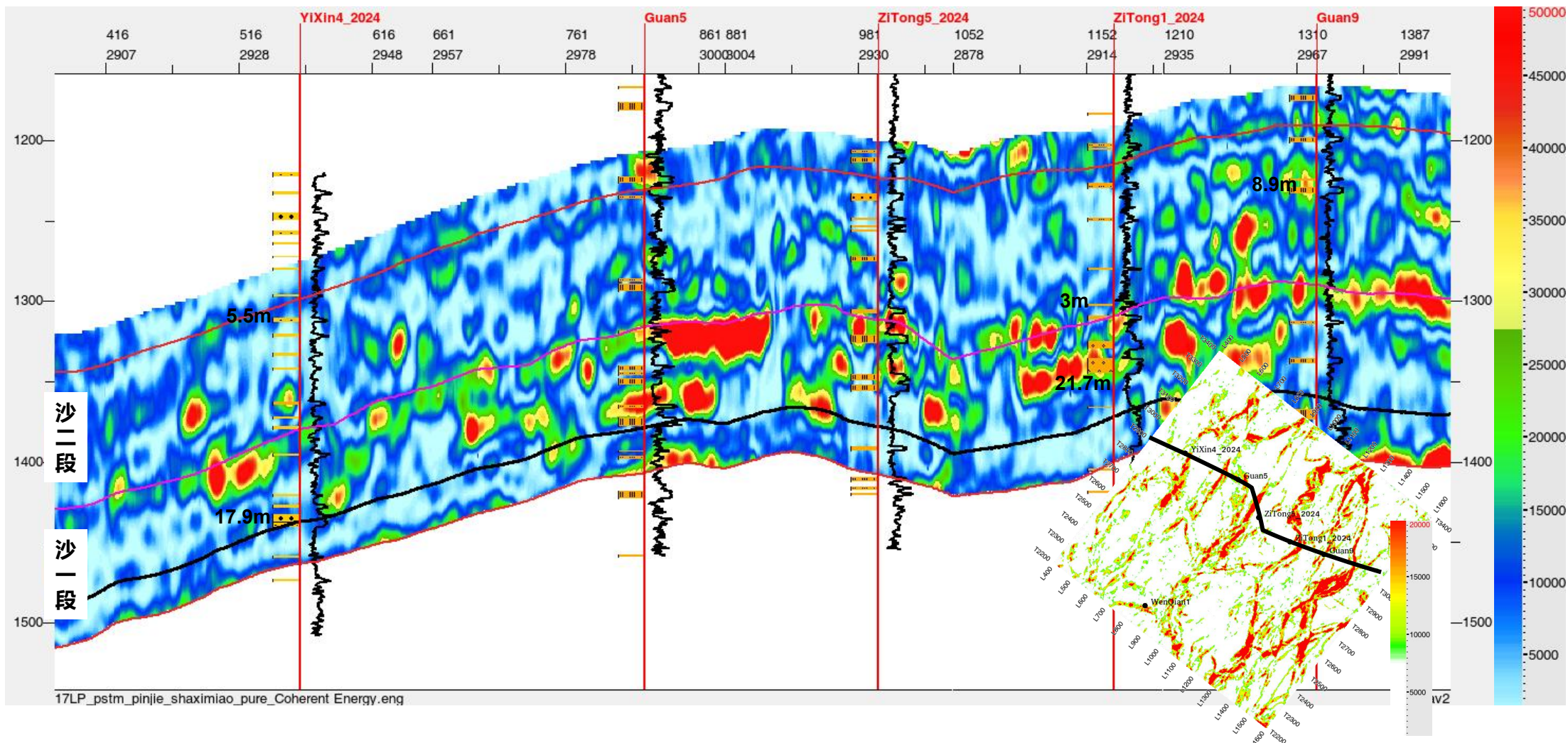
四川盆地沙溪庙组河道砂反演





2.3、应用案例-叠后自适应外推反演

相干能量属性：**只依赖地震数据**，具有较好的横向展布特征，但纵向分辨率低，只能反映河道整体趋势，无法识别小层砂体。

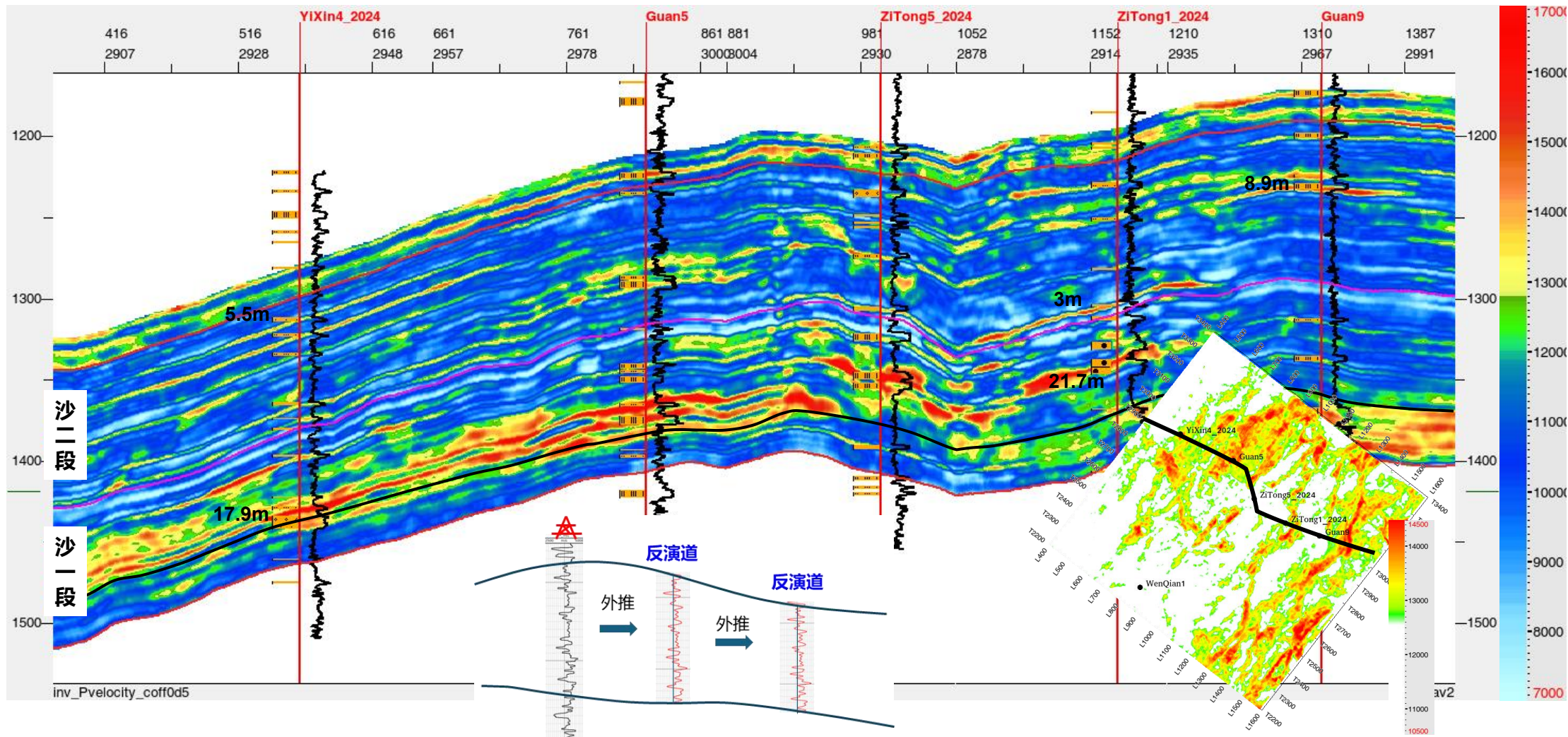




2.3、应用案例-叠后自适应外推反演



本研究多井递推动态建模自适应反演：**在地震数据的控制下将测井信息在道间传递，反演结果不仅具有高纵向分辨率，并且横向上具有清晰的河道特征。**

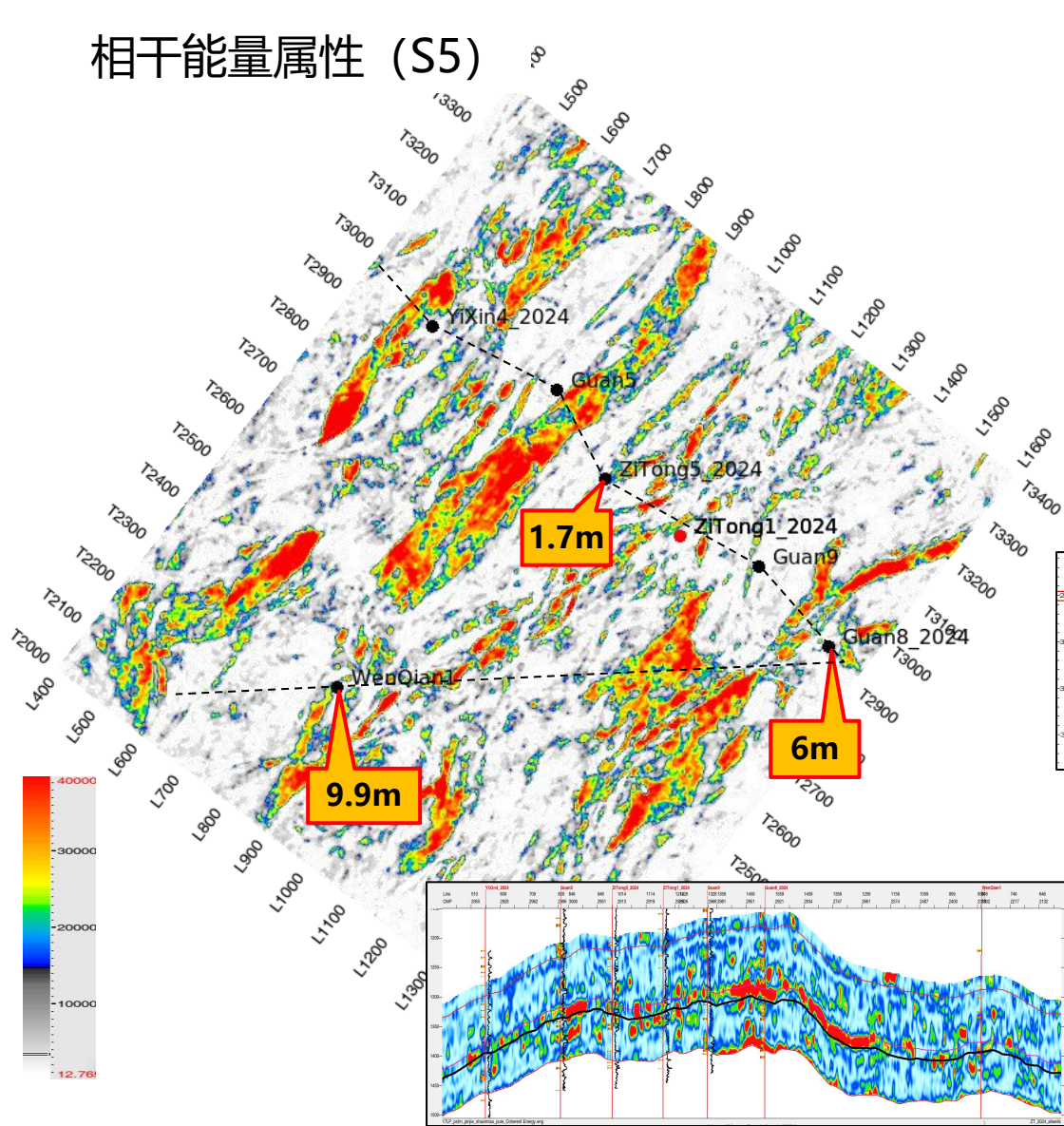




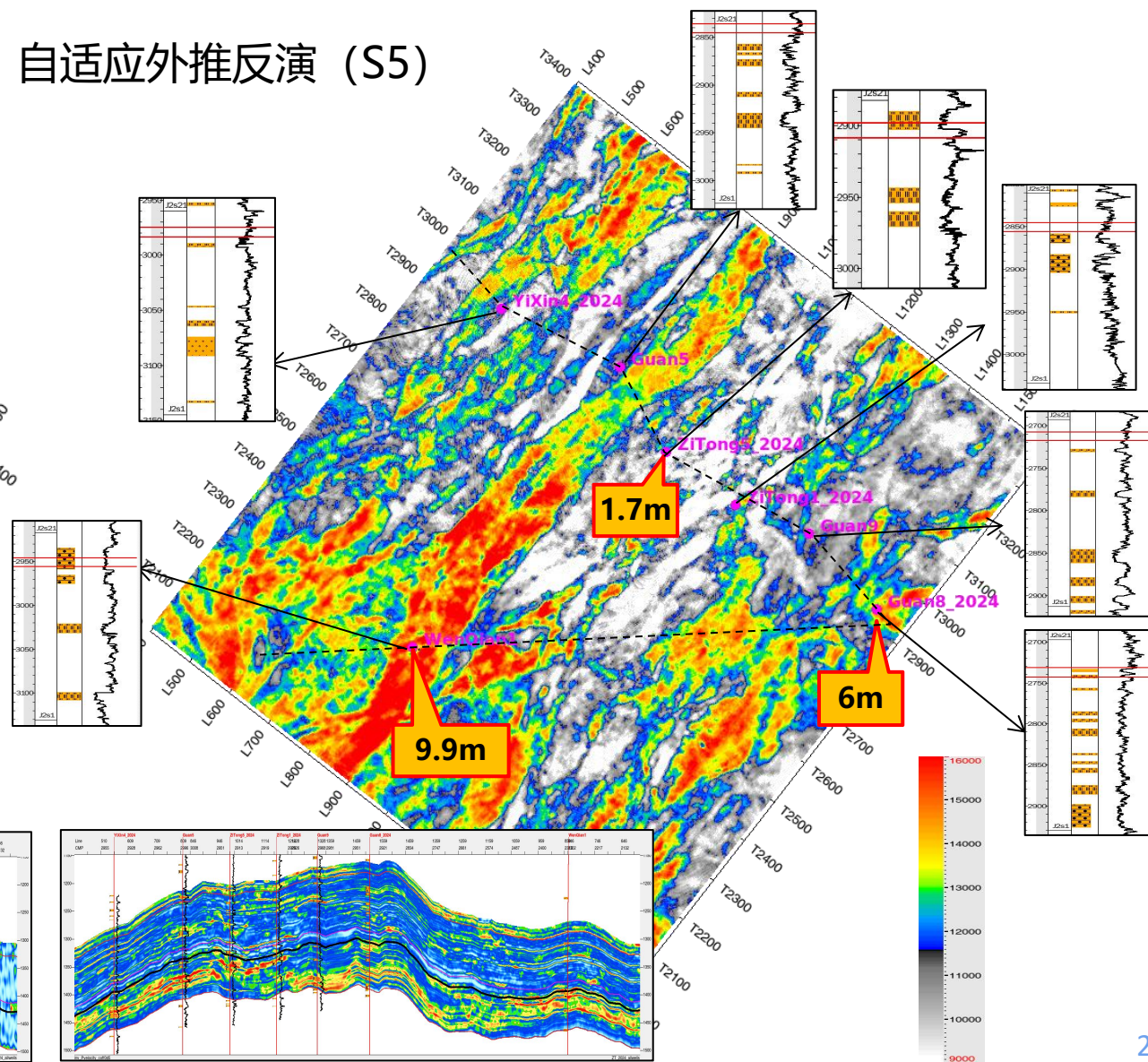
2.3、应用案例-叠后自适应外推反演



相干能量属性 (S5)

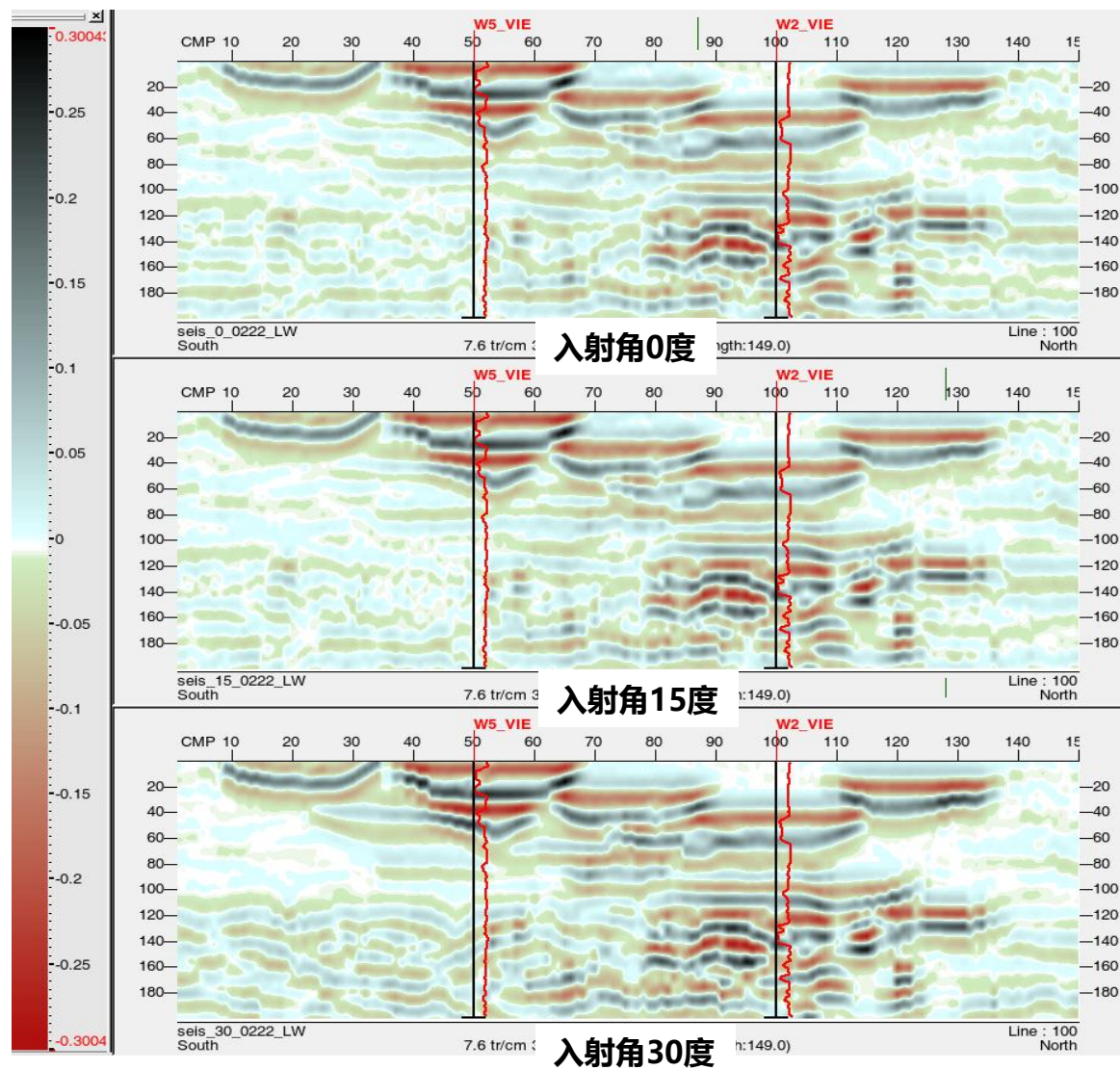


自适应外推反演 (S5)

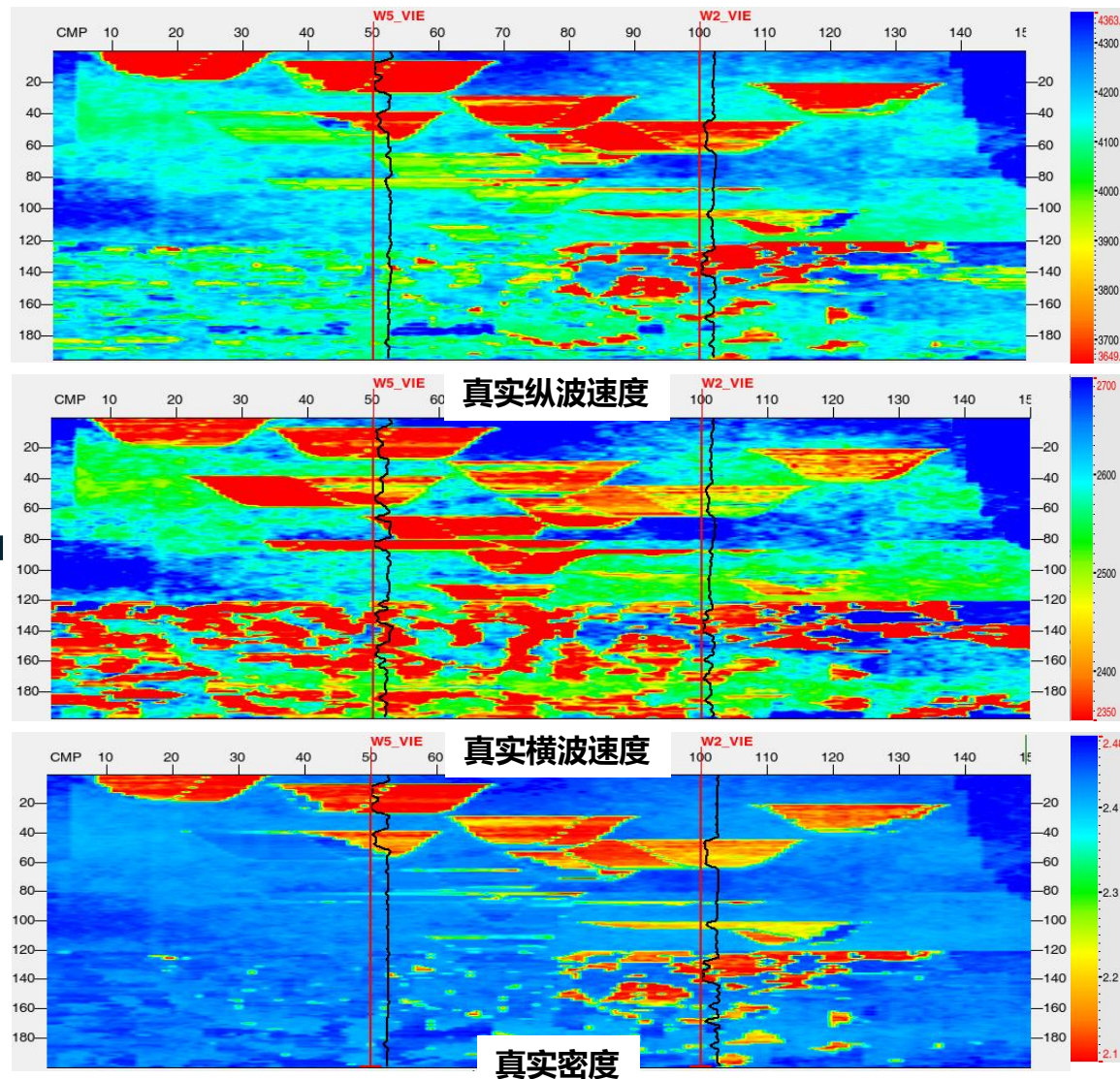




2.3、应用案例-叠前自适应外推反演



叠前地震正演

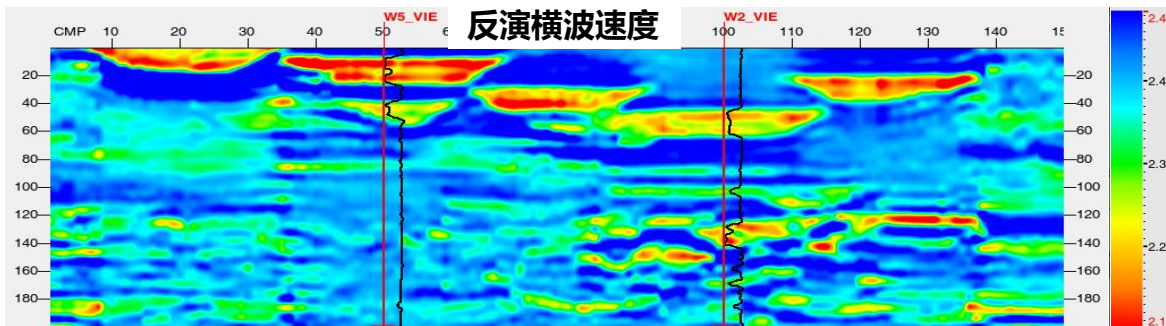
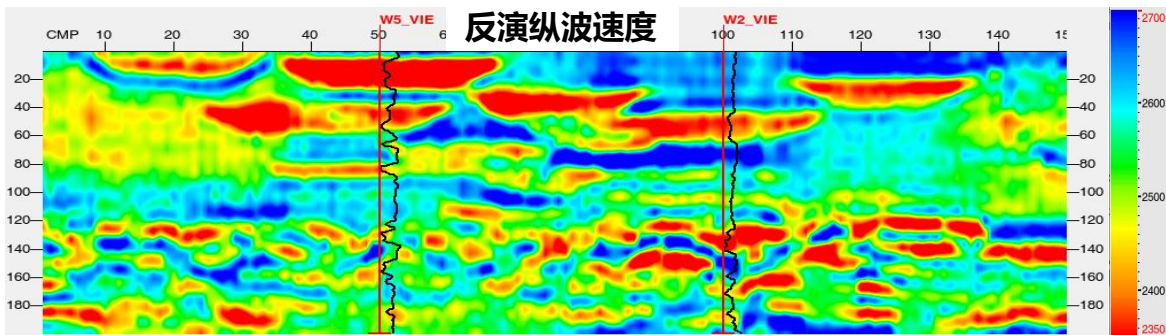
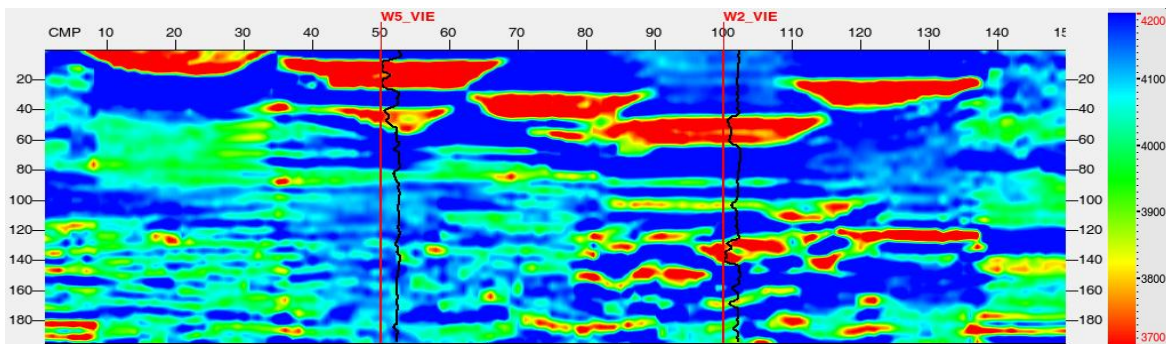




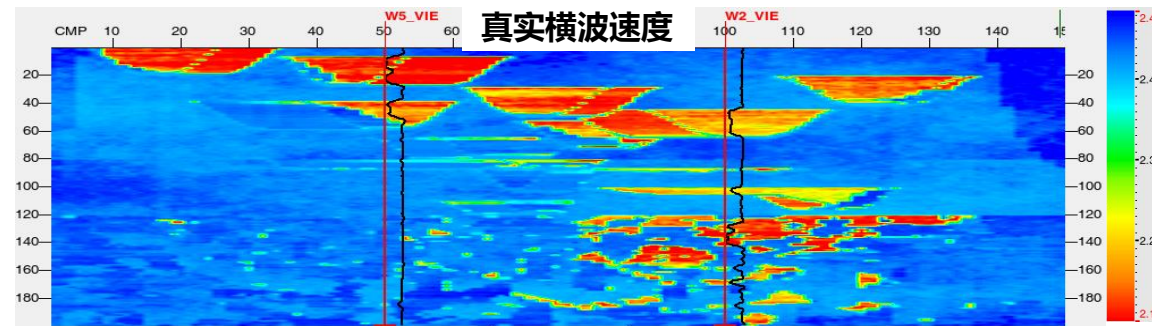
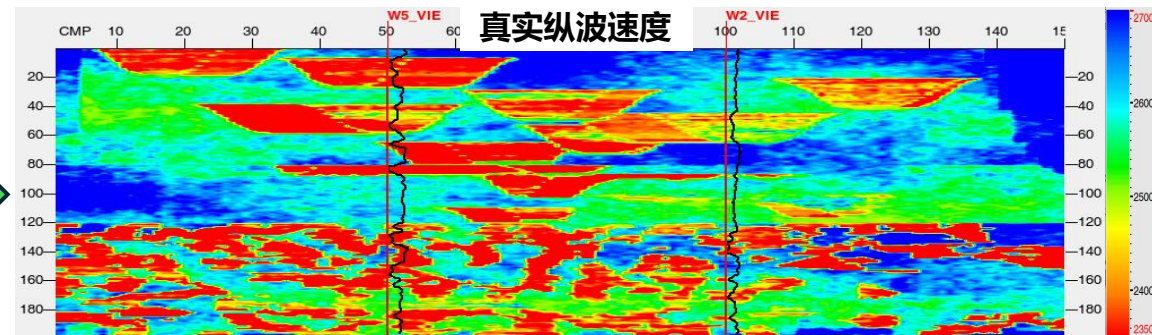
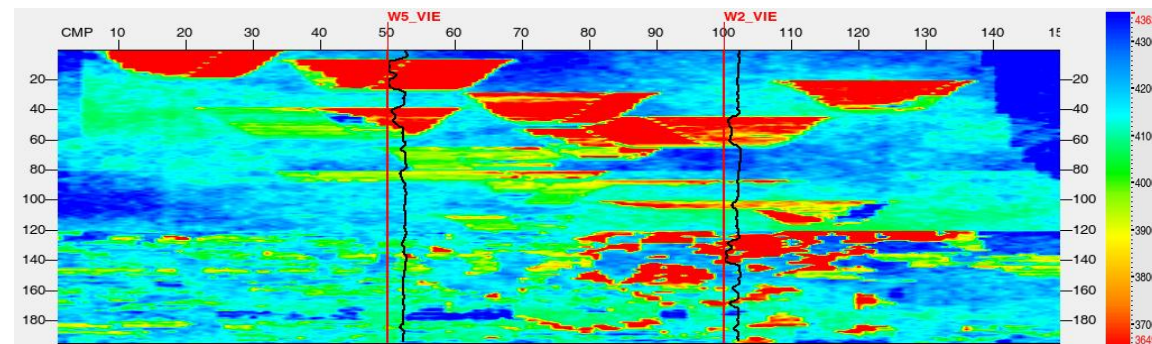
2.3、应用案例-叠前自适应外推反演



井外推叠前三参数反演结果与真实模型对比



反演密度



真实密度

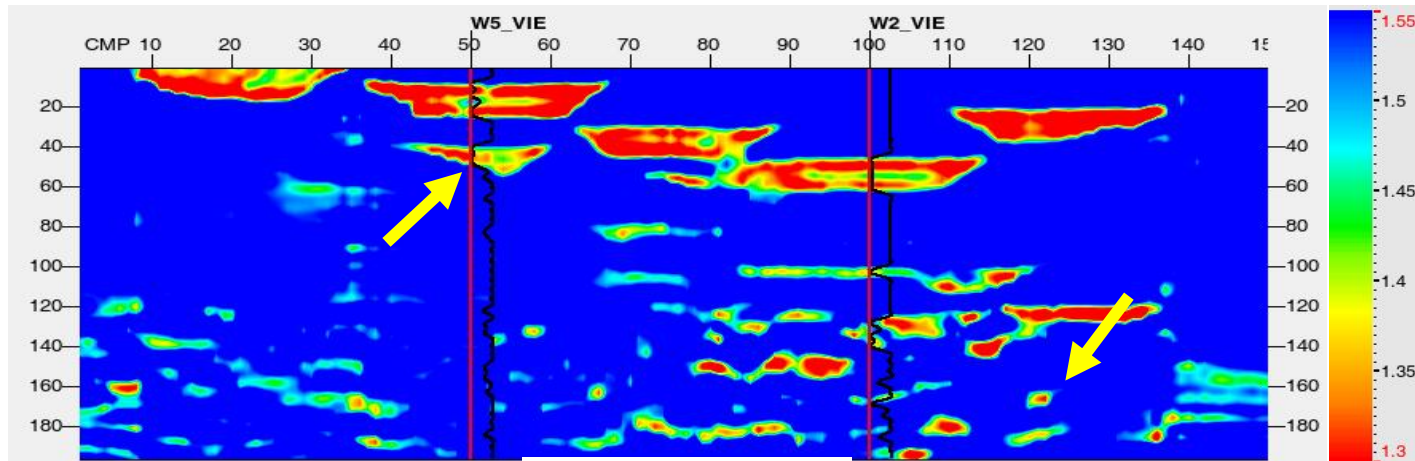




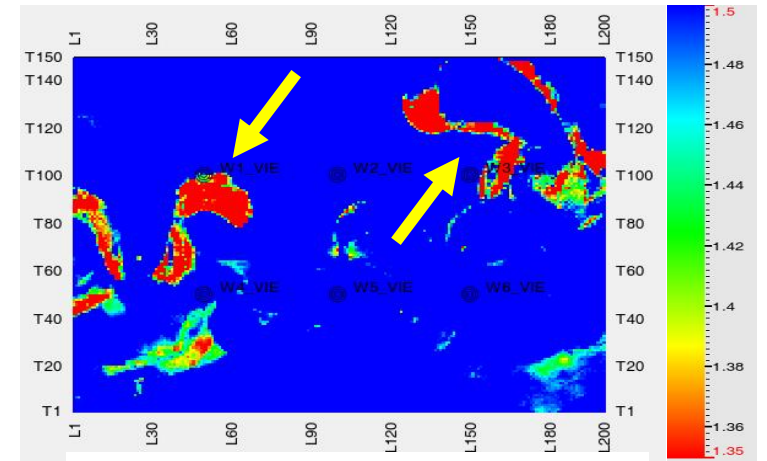
2.3、应用案例-叠前自适应外推反演



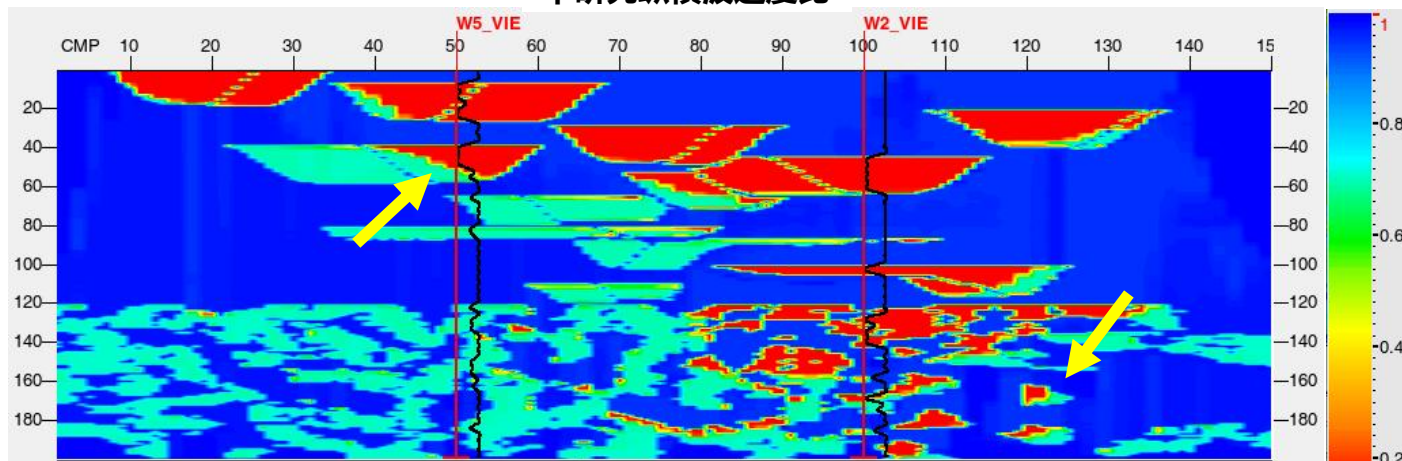
流体识别结果与真实模型对比



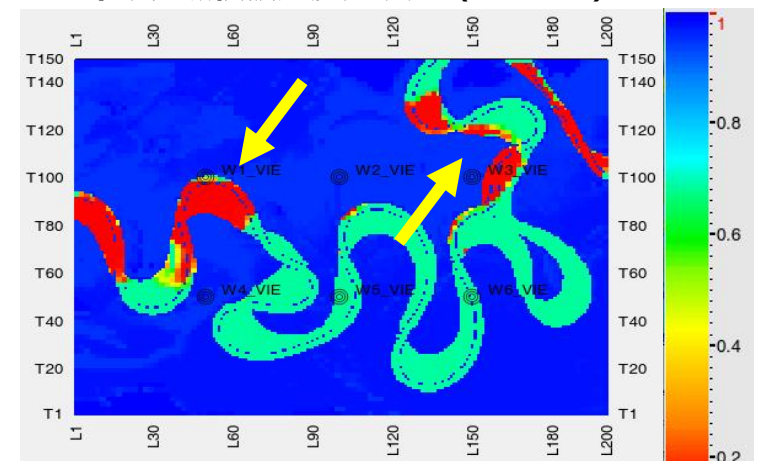
本研究纵横波速度比



本研究纵横波速度比切片 (Slice 84)



真实含水饱和度



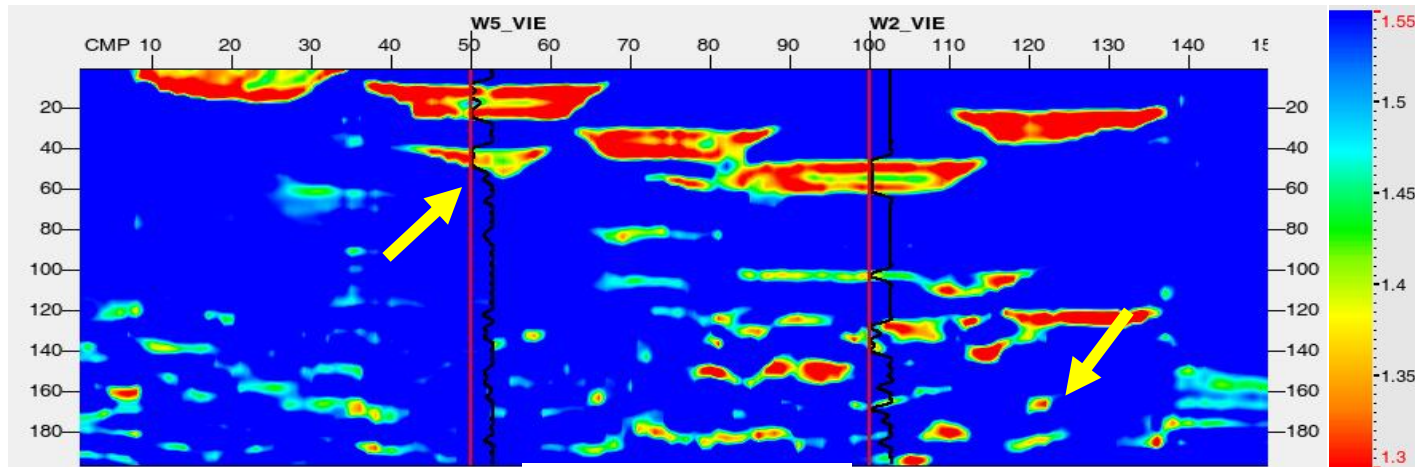
真实含水饱和度切片 (Slice 84)



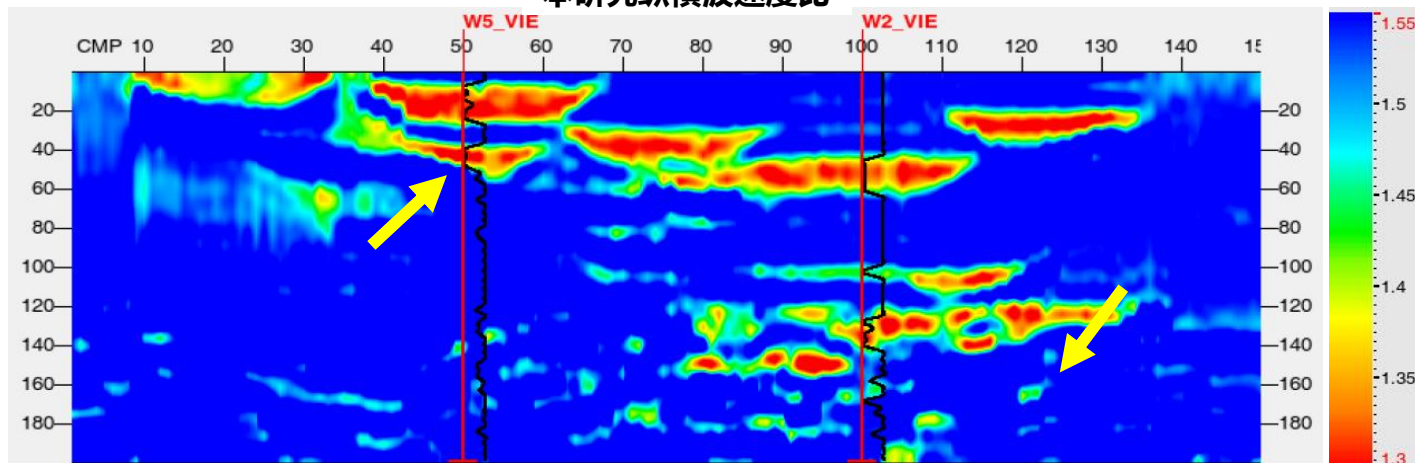
2.3、应用案例-叠前自适应外推反演



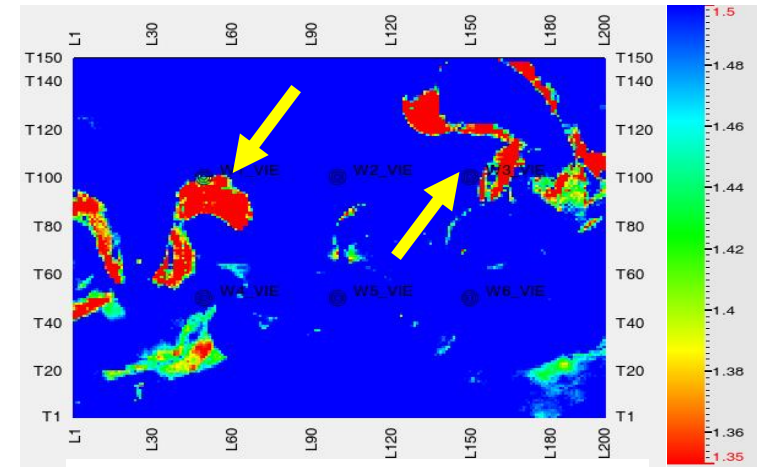
与国外主流商业软件对比：纵向趋势较一致，本研究对流体的横向刻画与真实模型更吻合。



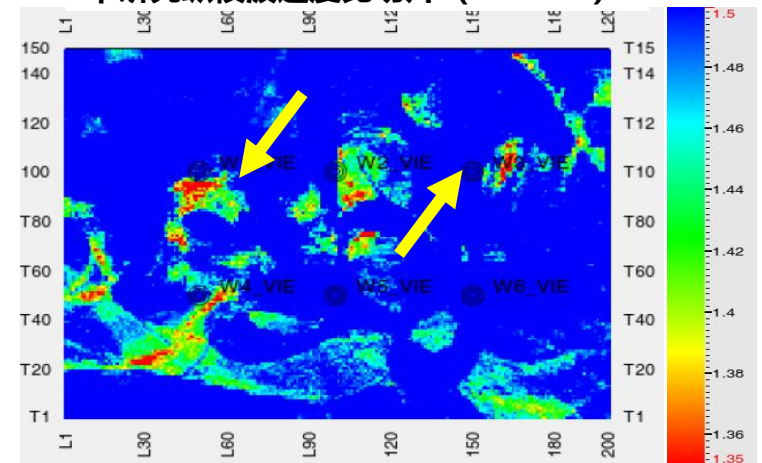
本研究纵横波速度比



商业软件纵横波速度比



本研究纵横波速度比切片 (Slice 84)



商业软件纵横波速度比切片 (Slice 84)





3、注意事项



- ① 井外推反演是从井出发外推迭代建模-反演的，井曲线的质量和井震匹配关系对反演结果影响较大。反演迭代总是使得反演结果与地震道更匹配，高质量的井曲线和井震匹配关系，不但可以提高反演计算速度，也大大提高反演结果的对井符合程度；
- ② 迭代反演总是多解的，外推反演中由于误差的逐道累积，距井越远，反演可靠性降低，反之亦然。因此，适当的井数及分布是一个区块反演成功的要素。必要的时候，可以设置虚拟井，提高井控数量；
- ③ 由于外推反演框架结构比较复杂，现在的反演只能在规则的三维区块内进行。对于地震资料缺道较多或者连片处理的区块，目前的模块还不支持（可以先对地震数据体中的空道进行插值，再执行反演）；
- ④ 复杂的外推反演框架同时也限制了多线程开发，反演效率低，目前正在进行反演控制框架的针对性改造，以适应非规则工区、多线程反演计算。

感谢大家对GeoEast软件的 信任和支持!

更多详情请关注



GeoEast微信公众号



解释技术支持QQ群



Bilibili视频教程

服务电话：（解释系统）0312-3824999 （市场销售）0312-3737213/0312-3824774

服务邮箱：geoeast@cnpc.com.cn 官网网址：<http://www.gs.com.cn>