

波形拟合反演震源机制的定权研究及误差评定

邓东平 2013202140004

导师：朱良保教授



武汉大学测绘学院

概览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

理论实验

实例应用

总结和展望

预览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

理论实验

实例应用

总结和展望

研究意义

- 发震构造研究、灾害评估
- 区域应力、地震活动性
- 介质结构、海啸模拟等研究

预览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

理论实验

实例应用

总结和展望

研究现状

- 原理:

$$\begin{cases} U_z(r, \phi, 0, \omega) = Z_{SS} \cdot s_2 + Z_{DS} \cdot s_3 + Z_{DD} \cdot s_1 \\ U_r(r, \phi, 0, \omega) = R_{SS} \cdot s_2 + R_{DS} \cdot s_3 + R_{DD} \cdot s_1 \\ U_\phi(r, \phi, 0, \omega) = T_{SS} \cdot t_2 + T_{DS} \cdot t_1 \end{cases} \quad (1)$$

- 方法: 波形拟合 (波形数据), 格点搜索 (公式1非线性),
- 应用: CAP, CPS 等代表性方法 (程序) 广泛应用

研究现状

- 原理:

$$\begin{cases} U_z(r, \phi, 0, \omega) = Z_{SS} \cdot s_2 + Z_{DS} \cdot s_3 + Z_{DD} \cdot s_1 \\ U_r(r, \phi, 0, \omega) = R_{SS} \cdot s_2 + R_{DS} \cdot s_3 + R_{DD} \cdot s_1 \\ U_\phi(r, \phi, 0, \omega) = T_{SS} \cdot t_2 + T_{DS} \cdot t_1 \end{cases} \quad (1)$$

- 方法: 波形拟合 (波形数据), 格点搜索 (公式1非线性),
- 应用: CAP, CPS 等代表性方法 (程序) 广泛应用

研究现状

- 原理:

$$\begin{cases} U_z(r, \phi, 0, \omega) = Z_{SS} \cdot s_2 + Z_{DS} \cdot s_3 + Z_{DD} \cdot s_1 \\ U_r(r, \phi, 0, \omega) = R_{SS} \cdot s_2 + R_{DS} \cdot s_3 + R_{DD} \cdot s_1 \\ U_\phi(r, \phi, 0, \omega) = T_{SS} \cdot t_2 + T_{DS} \cdot t_1 \end{cases} \quad (1)$$

- 方法: 波形拟合 (波形数据), 格点搜索 (公式1非线性),
- 应用: CAP, CPS 等代表性方法 (程序) 广泛应用

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 无法直接给出误差评估, 无法有效利用拟合问题
2. CAP 和 CPS 的加权方案不一致, 数值相对大小冲突

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 震源机制解反演是解算震源参数和震源机制问题
2. CAP 和 CPS 的加权方案不一致, 数值相对大小冲突

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 无法直接给出误差评价, 无法有效识别病态问题
2. CAP 和 CMT 两种解法互斥, 且 CAP 对震源深度敏感

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 无法直接给出误差评价, 无法有效识别病态问题
2. CAP 和 CPS 的加权方案不一致, 数值相对大小冲突

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 无法直接给出误差评价, 无法有效识别病态问题
2. CAP 和 CPS 的加权方案不一致, 数值相对大小冲突

研究现状

- 优点:

1. 波形数据充分应用了地震波信息
2. 震源机制解空间较小, 且正演合成迅速, 格点搜索可快速反演

- 问题:

1. 无法直接给出误差评价, 无法有效识别病态问题
2. CAP 和 CPS 的加权方案不一致, 数值相对大小冲突

本文目标

- 统一优化定权
- 针对 CAP、CPS 给出结果误差评价

预览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

理论实验

实例应用

总结和展望

本文目标

- 优化定权
 1. 分析二者定权的理论依据, 联合定权解决差异
 2. 数值定量精化, 结果尽量客观
- 针对 CAP、CPS 给出结果误差评价
 1. 估计数据噪声
 2. 计算震源机制协方差矩阵

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 将震中距和振幅的平方差与震中距平方差之比作为权重, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 $(x/\mu)^p$ 中的参考参数 μ, p 只是经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 (6.6) 中的参考参数 α_0 只是经验判定, 主观性很强
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 (6.6) 中的参考参数 α_0 只是经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1$ 、 $W2$ 再取交集, 成为客观、数据直接定量的权重
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 (6.6.1) 中的参考参数 μ , 只是经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1, W2$ 均较粗糙, 改为由波形数据直接定量计算
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 (6.16) 中的参考参数 α 由经验值判定, 主观性较强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1, W2$ 均较粗糙, 改为由波形数据直接定量计算
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 $(r/r_0)^p$ 中的参考参数 r_0, p 只能经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1, W2$ 均较粗糙, 改为由波形数据直接定量计算
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 $(r/r_0)^p$ 中的参考参数 r_0, p 只能经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1, W2$ 均较粗糙, 改为由波形数据直接定量计算
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 $(r/r_0)^p$ 中的参考参数 r_0, p 只能经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

优化加权

■ 联合加权

1. CPS 加权 $W1$, 考虑信噪比, 权重随震中距单调递减
2. CAP 加权 $W2$, 考虑振幅调节, 权重随震中距单调递增
3. 信噪比和振幅调节均可提高数据质量, 应联合统一 $WT = W1 * W2$

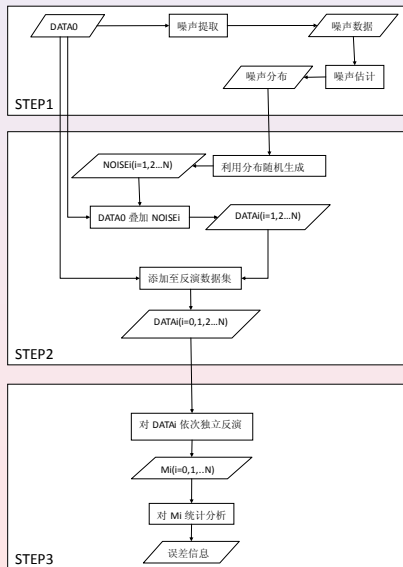
■ 定量精化

1. 利用震中距估计的 $W1, W2$ 均较粗糙, 改为由波形数据直接定量计算
2. CAP 加权估计 $W2$ 的公式 $(r/r_0)^p$ 中的参考参数 r_0, p 只能经验判定, 主观性很强

■ 本文最终权重

1. $WT = (1 - NoiseStd/WaveStd)/L2norm$

误差估计



STEP1 估计数据噪声

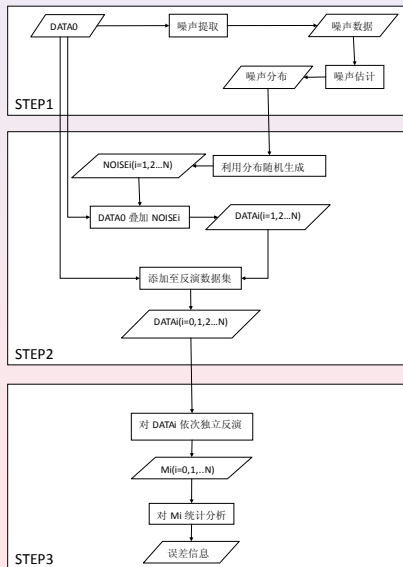
1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

STEP2 随机生成模拟数据集

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 构造“观测”数据独立反演，得到随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析，计算观测机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

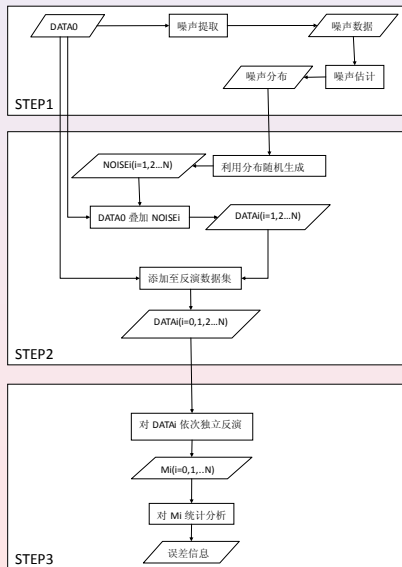
1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

STEP2 随机生成模拟数据集

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 对每个“震源”数据独立反演，得到随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震源机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

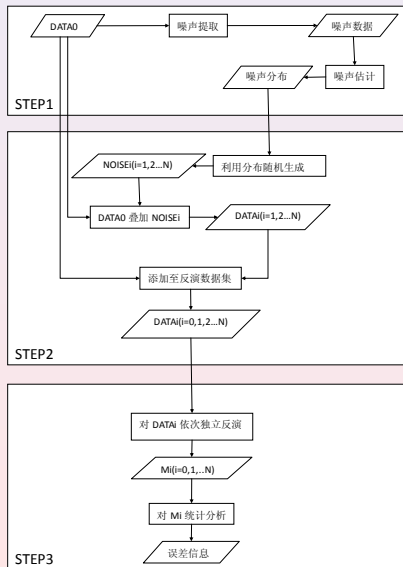
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 将噪声数据与震前数据叠加

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 对 $DATA_i$ 依次独立反演，得到模拟震前范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震前模拟震前参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

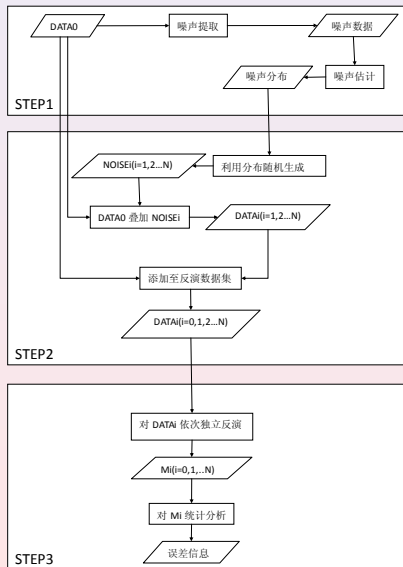
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加，生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 对 $DATA_i$ 数据独立反演，得到模拟震前范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震前模拟震前参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

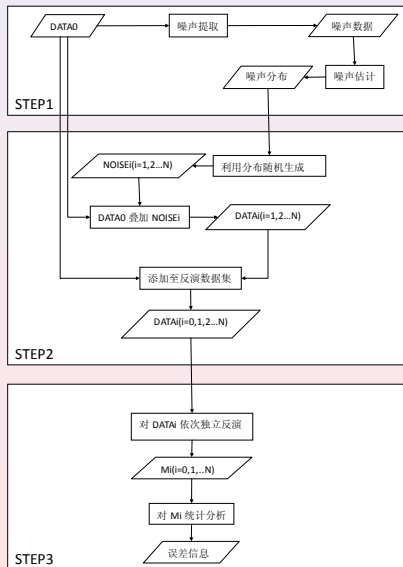
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加，生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 对数据反演，数据独立反演，得到模拟误差范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震源机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

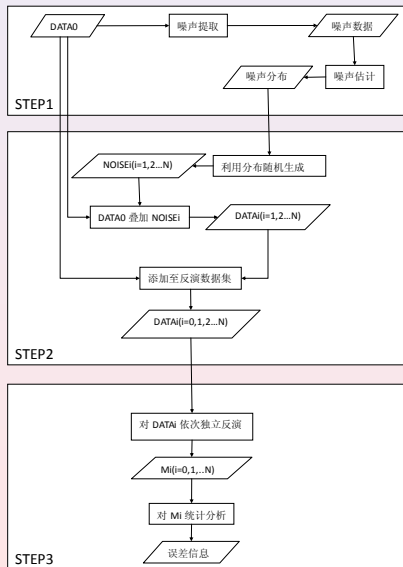
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加，生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 每组“观测”数据独立反演，得随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震源机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

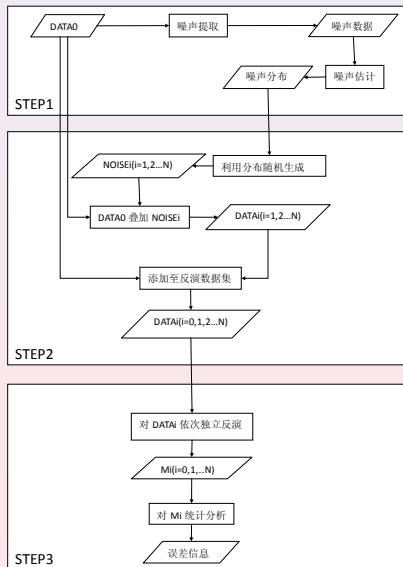
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加, 生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 每组“观测”数据独立反演, 得随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析, 计算震源机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

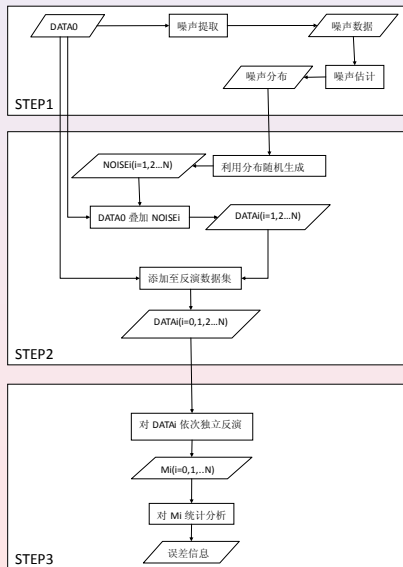
STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加, 生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 每组“观测”数据独立反演, 得随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析, 计算震源机制三参数协方差矩阵

误差估计



STEP1 估计数据噪声

1. 截取震前平静期数据样本
2. 参数估计得到噪声分布函数 (高斯)

STEP2 随机生成模拟数据集

1. 用噪声分布函数随机生成噪声数据
2. 噪声数据与原始观测数据叠加，生成多组模拟观测数据

STEP3 反演得解集并计算协方差矩阵

1. 每组“观测”数据独立反演，得随机误差范围内解集
2. 对解集统计分析，计算震源机制三参数协方差矩阵

预览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

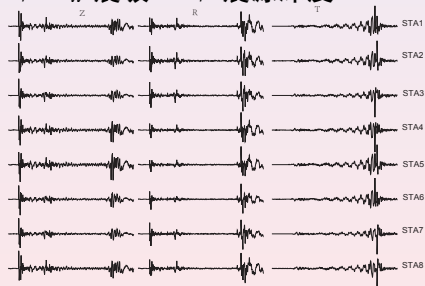
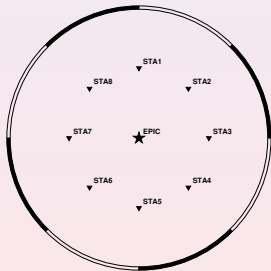
理论实验

实例应用

总结和展望

实验条件

走向 250° , 倾角 40° , 滑动角 82° , M_w 震级 6.5, 震源深度 17km



无噪实验

- 数据拟合度 100%，结果与理论设定一致
- 台站分布合理，满足反演要求
- 说明分辨核为单位矩阵
- 计算机数值计算引起的误差可忽略

无噪实验

- 数据拟合度 100%，结果与理论设定一致
- 台站分布合理，满足反演要求
- 说明分辨核为单位矩阵
- 计算机数值计算引起的误差可忽略

无噪实验

- 数据拟合度 100%，结果与理论设定一致
- 台站分布合理，满足反演要求
- 说明分辨核为单位矩阵
- 计算机数值计算引起的误差可忽略

无噪实验

- 数据拟合度 100%，结果与理论设定一致
- 台站分布合理，满足反演要求
- 说明分辨核为单位矩阵
- 计算机数值计算引起的误差可忽略

权重对比实验

	走向/°	倾角/°	滑动角/°	深度/km	拟合度	震级
真值	250	40	82	17	1	6.50
W1	252	40	82	18	0.91	6.52
W2	245	39	78	17	0.75	6.47
WT	250	40	81	17	0.84	6.50

- W1 加权拟合度最高，但深度有偏差
- W2 加权深度无偏差，拟合度最低
- 本文联合加权深度无偏，拟合度较高，综合效果最优

噪声强度对比实验

加噪强度	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$	拟合度
无噪声	250	40	82	1
低噪声 ($1.0 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 3	40 ± 3	82 ± 3	0.99
中等噪声 ($2.5 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 8	40 ± 3	83 ± 7	0.94
高噪声 ($5.0 \cdot 10^{-6}$)	246 ± 18	40 ± 6	78 ± 17	0.87
超高噪声 ($1.0 \cdot 10^{-5}$)	245 ± 30	42 ± 14	84 ± 36	0.65

- 局部线性近似下，理论误差大小与噪声强度成正比，与结果吻合
- 拟合度表征反演受噪声影响程度，结果表明拟合度低，误差大，稳定性差
- 各组反演结果均在误差范围内，证明了误差估计的准确性

噪声强度对比实验

加噪强度	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$	拟合度
无噪声	250	40	82	1
低噪声 ($1.0 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 3	40 ± 3	82 ± 3	0.99
中等噪声 ($2.5 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 8	40 ± 3	83 ± 7	0.94
高噪声 ($5.0 \cdot 10^{-6}$)	246 ± 18	40 ± 6	78 ± 17	0.87
超高噪声 ($1.0 \cdot 10^{-5}$)	245 ± 30	42 ± 14	84 ± 36	0.65

- 局部线性近似下，理论误差大小与噪声强度成正比，与结果吻合
- 拟合度表征反演受噪声影响程度，结果表明拟合度低，误差大，稳定性差
- 各组反演结果均在误差范围内，证明了误差估计的准确性

噪声强度对比实验

加噪强度	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$	拟合度
无噪声	250	40	82	1
低噪声 ($1.0 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 3	40 ± 3	82 ± 3	0.99
中等噪声 ($2.5 \cdot 10^{-6}$)	250 ± 8	40 ± 3	83 ± 7	0.94
高噪声 ($5.0 \cdot 10^{-6}$)	246 ± 18	40 ± 6	78 ± 17	0.87
超高噪声 ($1.0 \cdot 10^{-5}$)	245 ± 30	42 ± 14	84 ± 36	0.65

- 局部线性近似下，理论误差大小与噪声强度成正比，与结果吻合
- 拟合度表征反演受噪声影响程度，结果表明拟合度低，误差大，稳定性差
- 各组反演结果均在误差范围内，证明了误差估计的准确性

实例应用

- Start here
- learn
- practise

实例应用

- Start here
- learn
- practise

实例应用

- Start here
- learn
- practise

预览

研究意义

研究现状和本文目标

研究现状

本文目标

解决方案

优化加权

误差估计

实践检验

理论实验

实例应用

总结和展望

secname

- Install
- learn
- practise

secname

- Install
- learn
- practise

secname

- Install
- learn
- practise