

呼图壁地下储气库运行过程中的 地震活动迁移和震源机制反演

尹扶，冉晓艳，王宝善

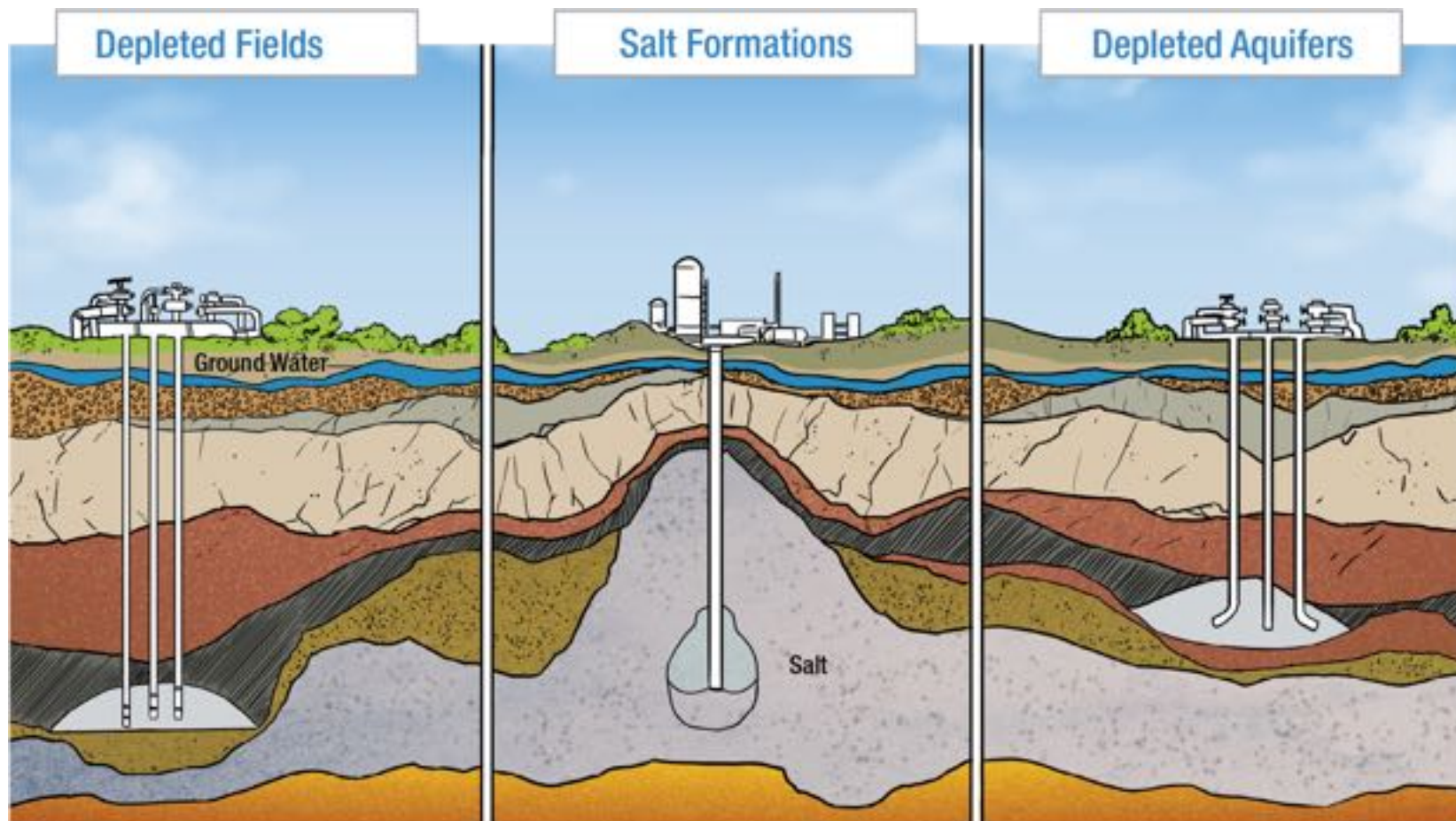
中国科学技术大学 地球和空间科学学院

张博，冀战波

中国地震局地球物理研究所

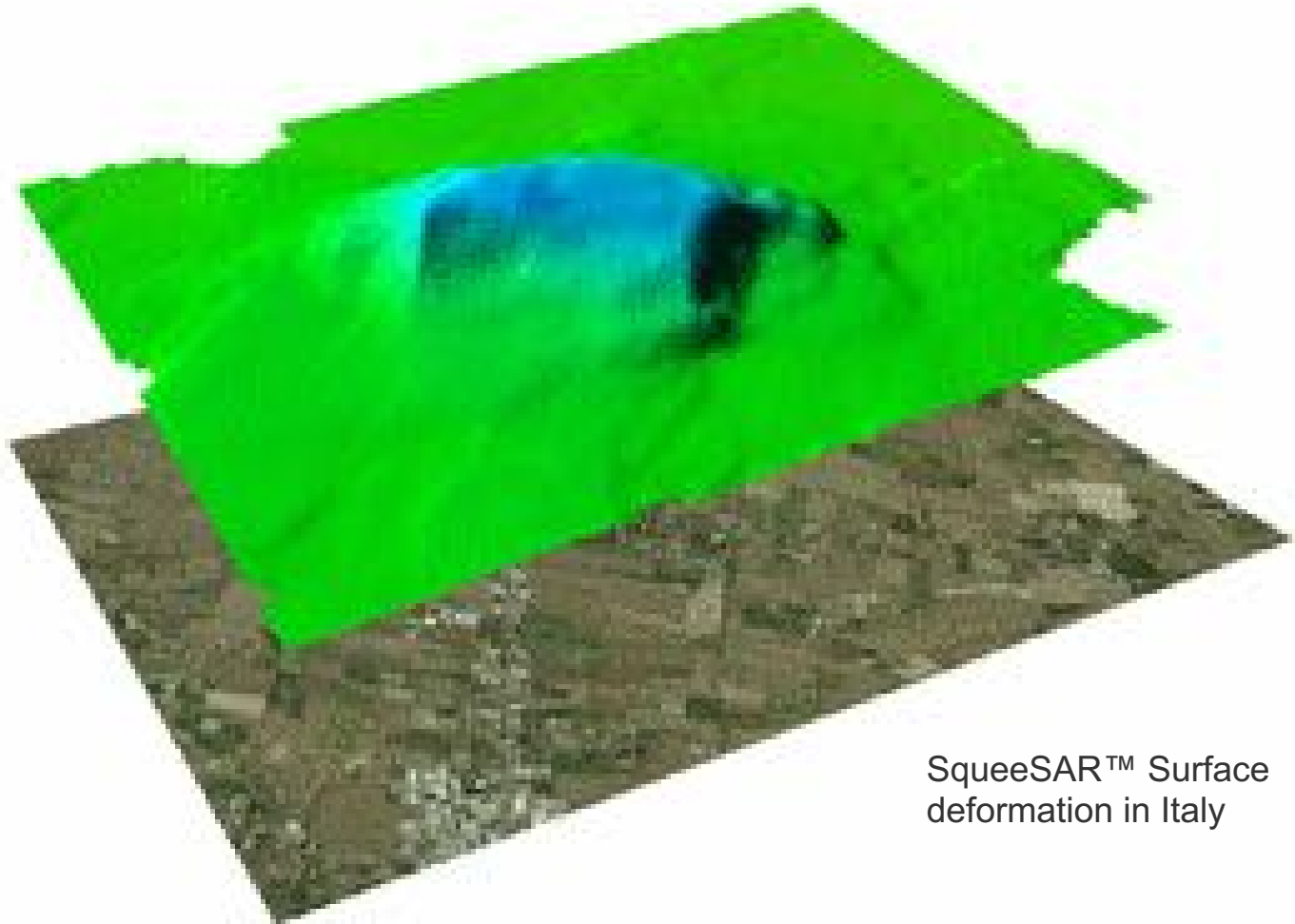


地下储气库类型





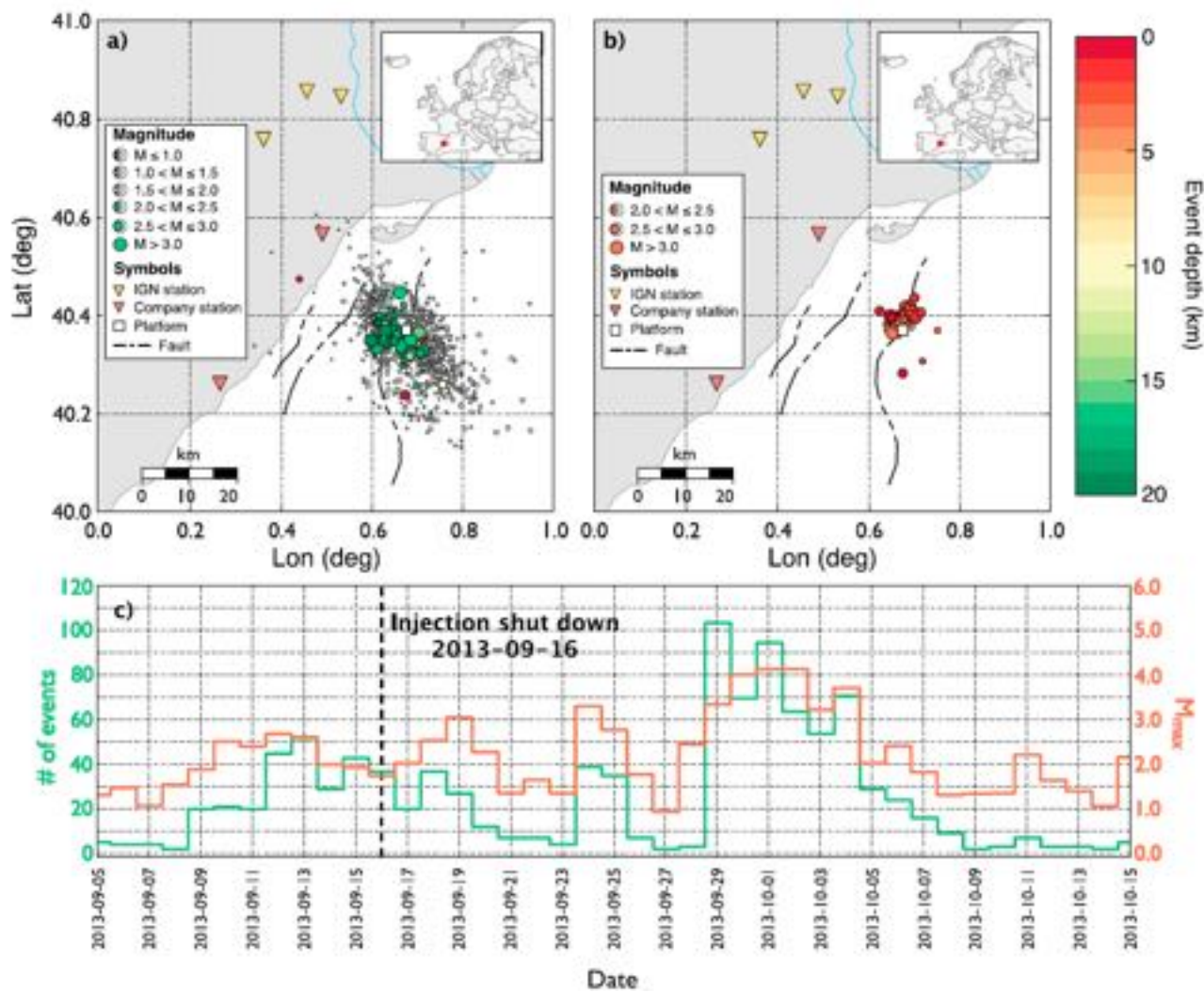
地下储气库造成地表形变



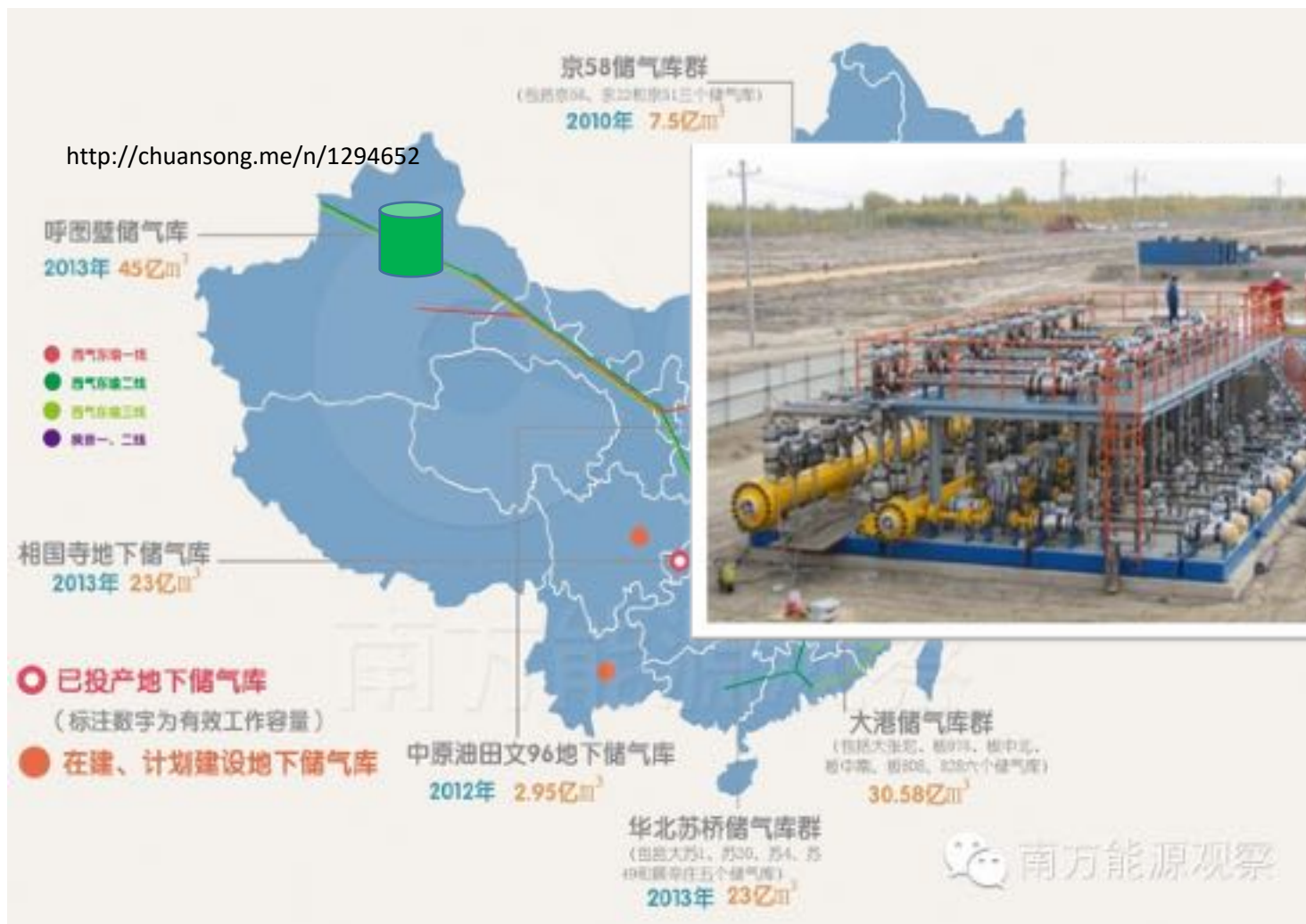
SqueeSAR™ Surface
deformation in Italy

<http://treuropa.com/oil-and-gas/underground-gas-storage/>

西班牙地下储气库案例



中国的地下储气库

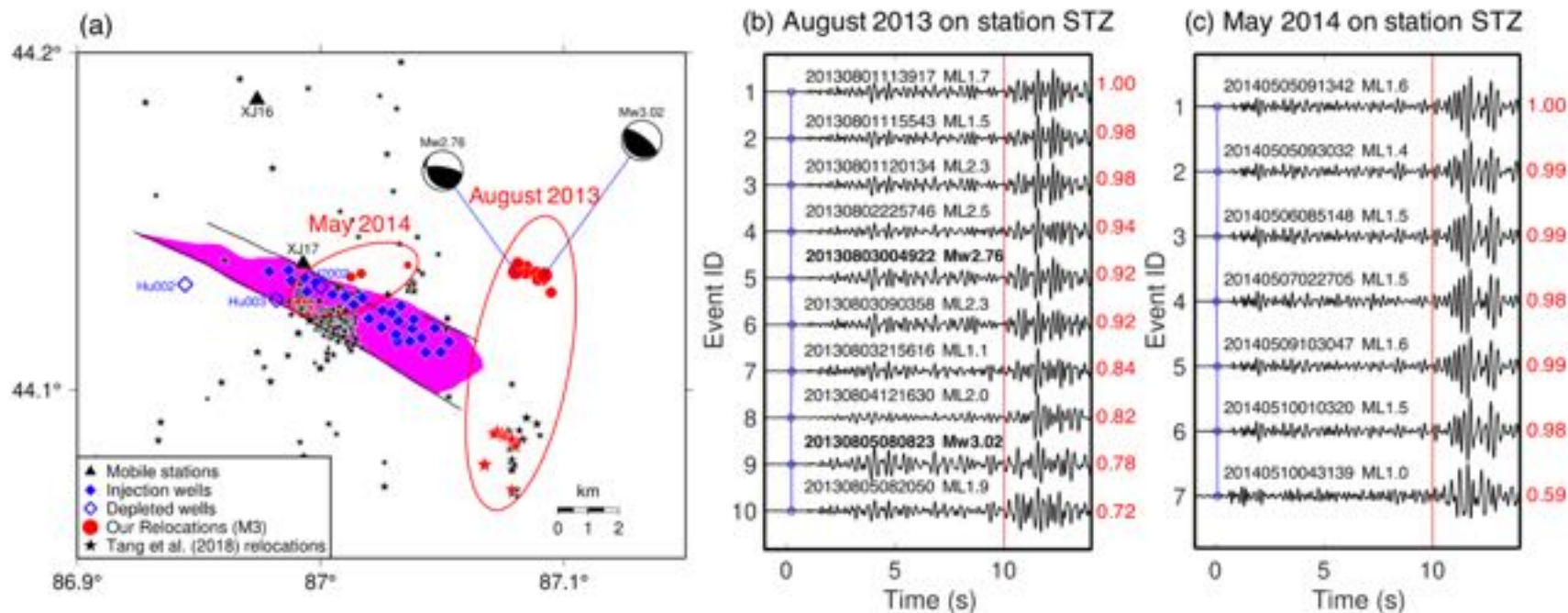




报告提纲

- ✓ 呼图壁储气库前人研究
- ✓ 地震定位与迁移结果
- ✓ 震源机制结果
- ✓ 横波分裂结果（poster）
- ✓ 总结

Tang 和 Zhou 的结果



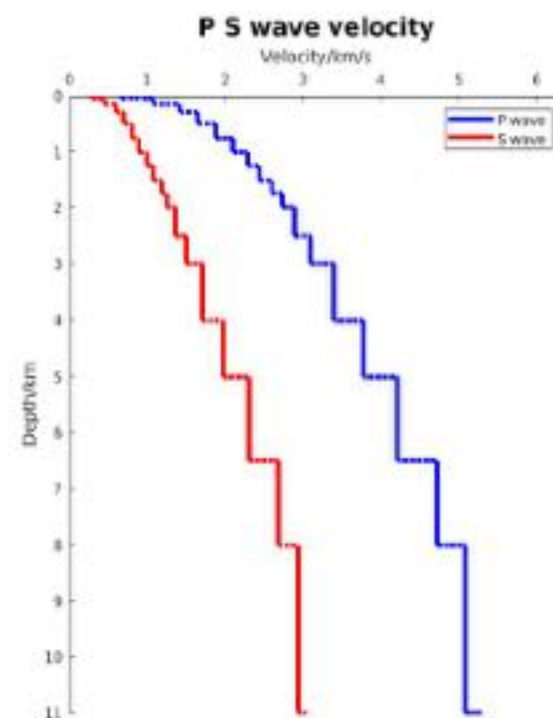
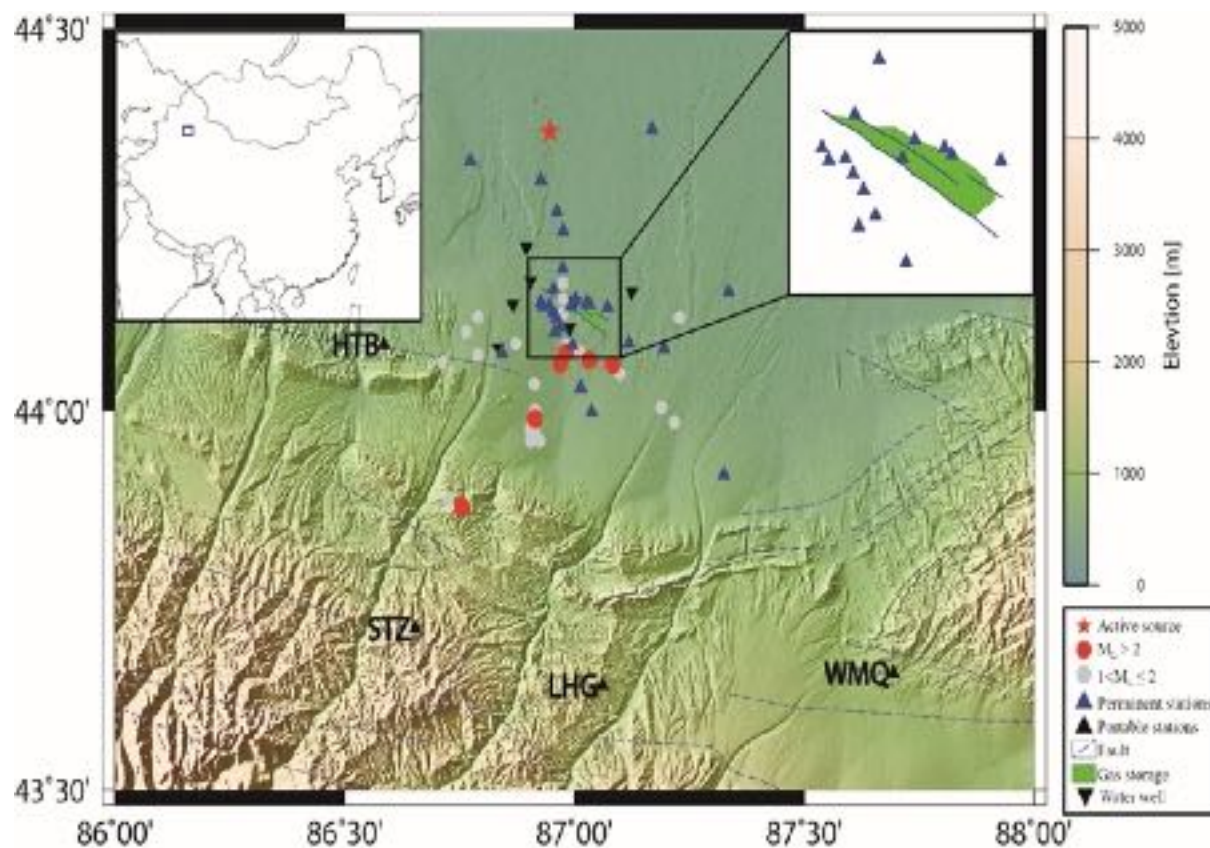
Tang: 流体的运移

Zhou: 孔隙压力

精确的定位结果与震源机制至关重要！！

地震检测台网

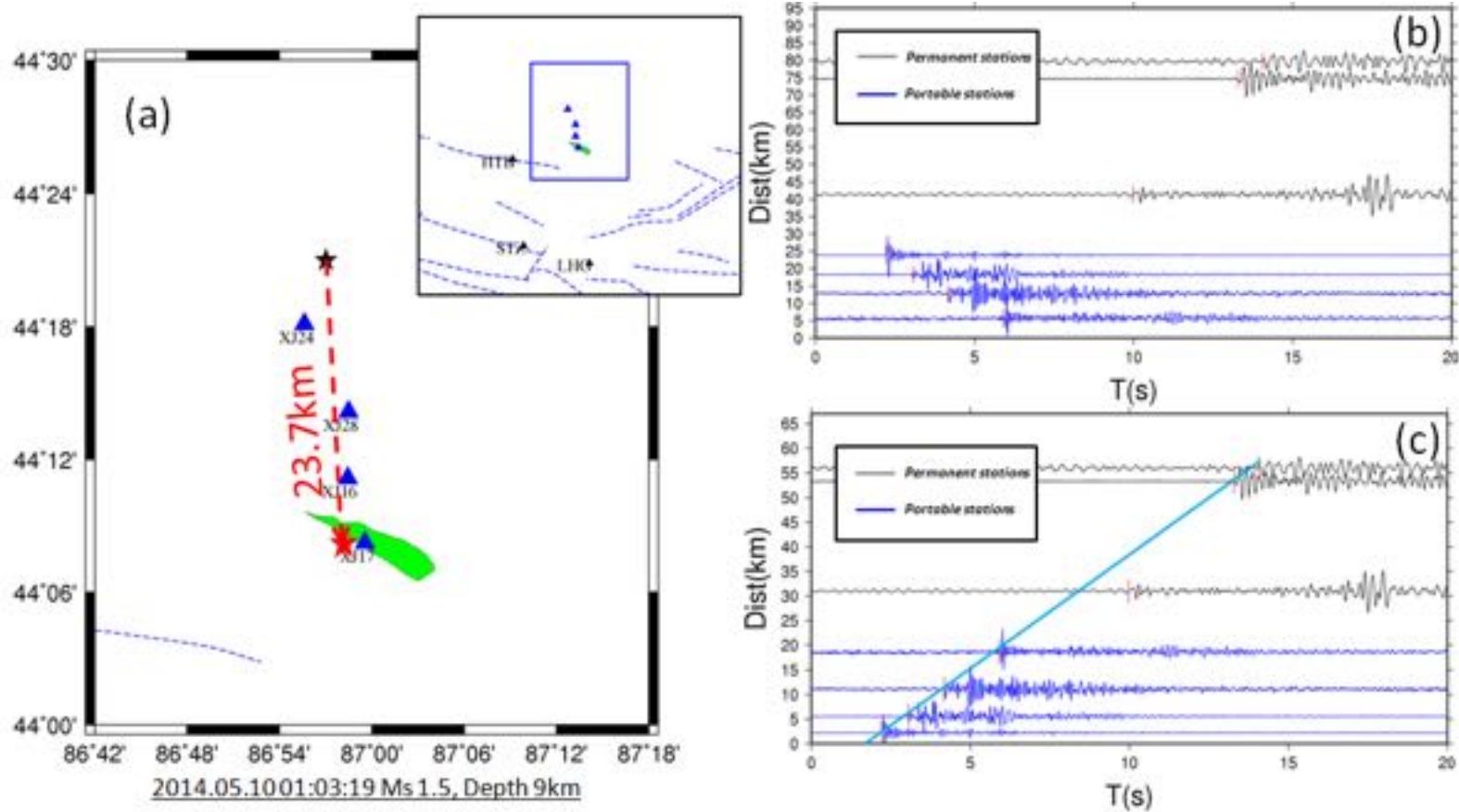
39 流动台 + 4 固定台



S wave model (Ji et al., 2017)

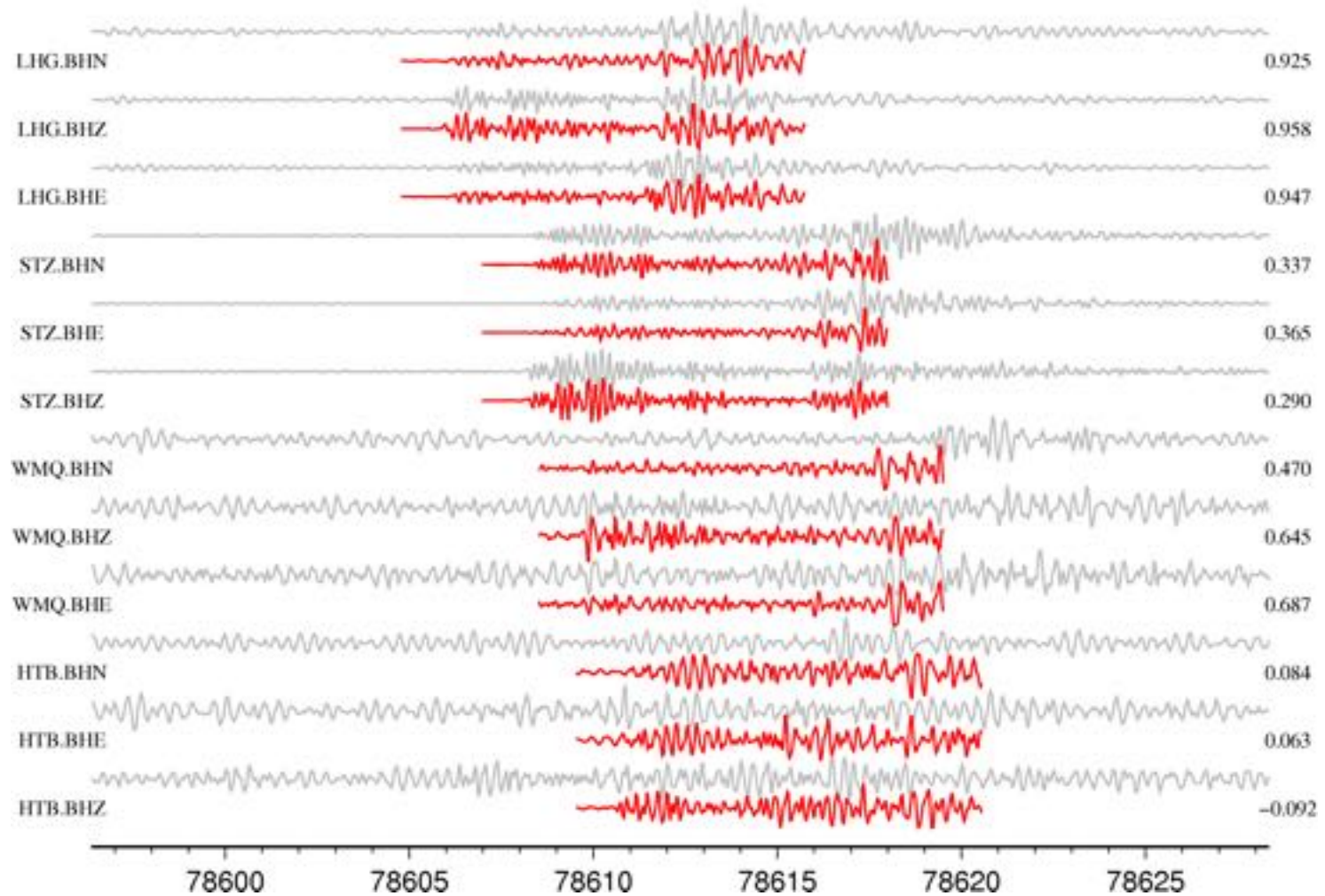
重定位模板事件

153个地震模板 $M_w=0.1-3.6$

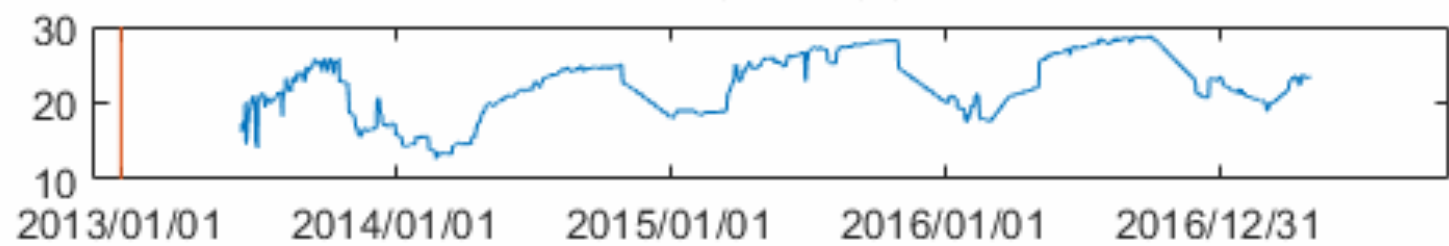
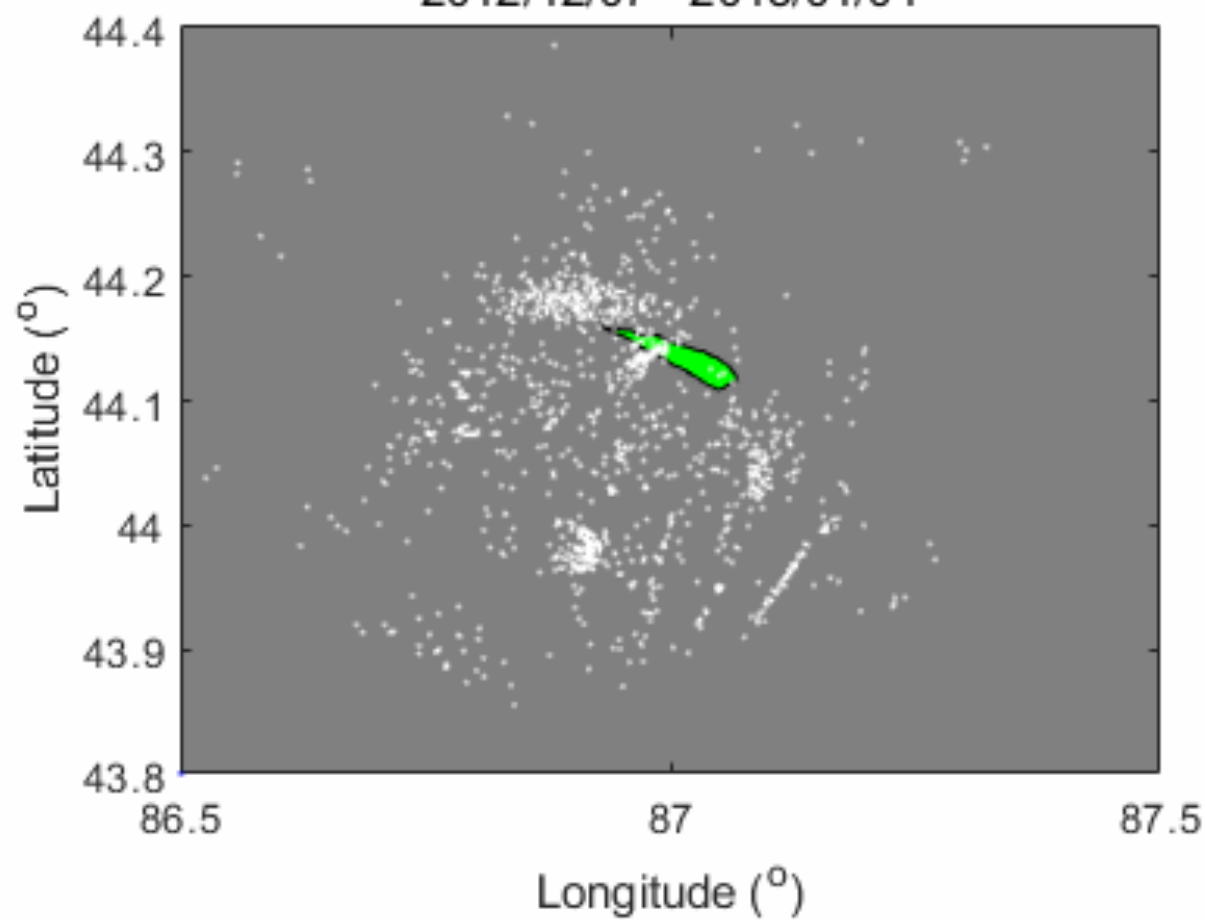


20141126214958.358 (M 0.39)

(Template event: 20140930205140.00; Mean CC = 0.6289; $R_l = 17.1745$, $R_r = 14.3476$)

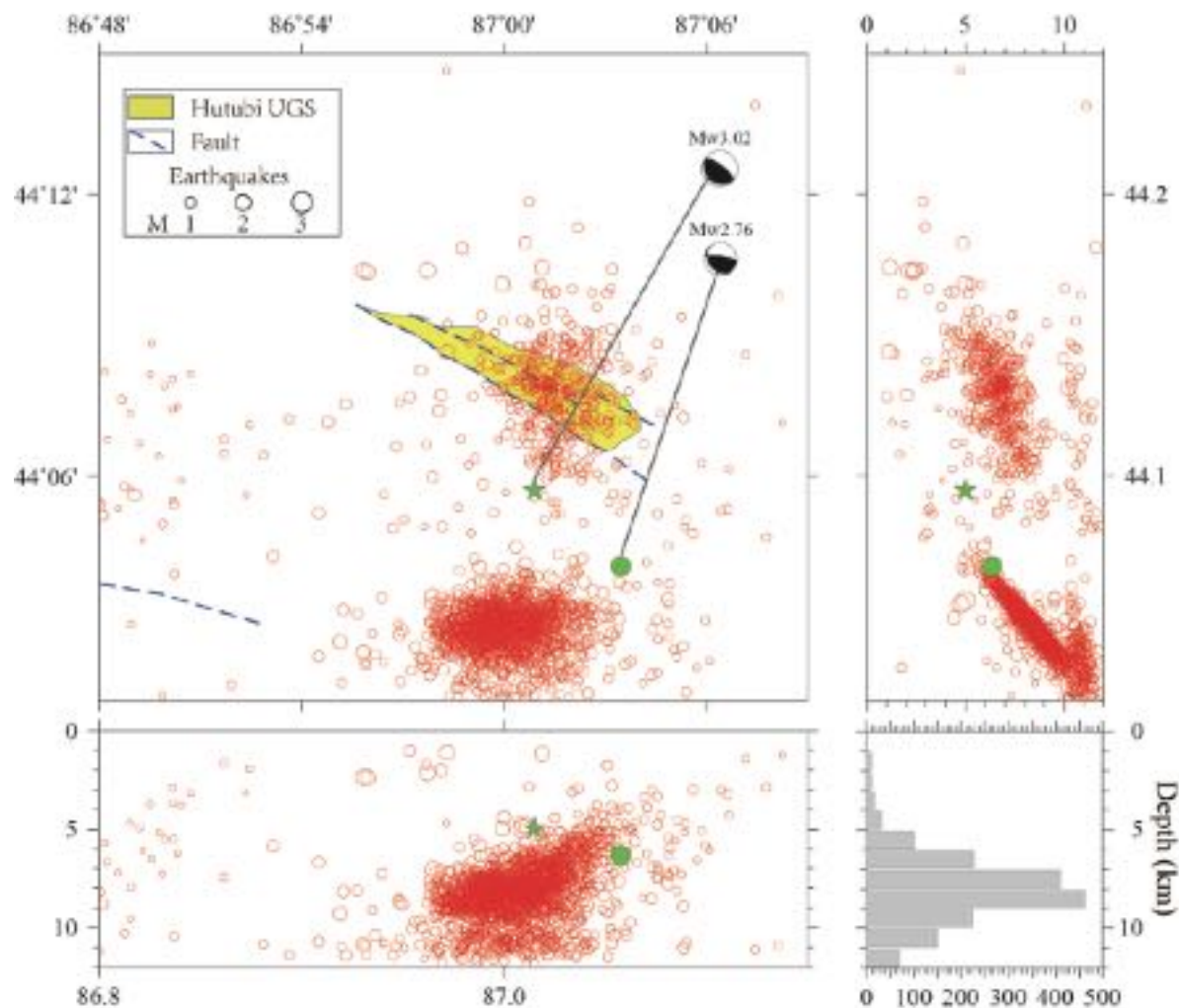


2012/12/07 - 2013/01/01





2013-2018年定位结果

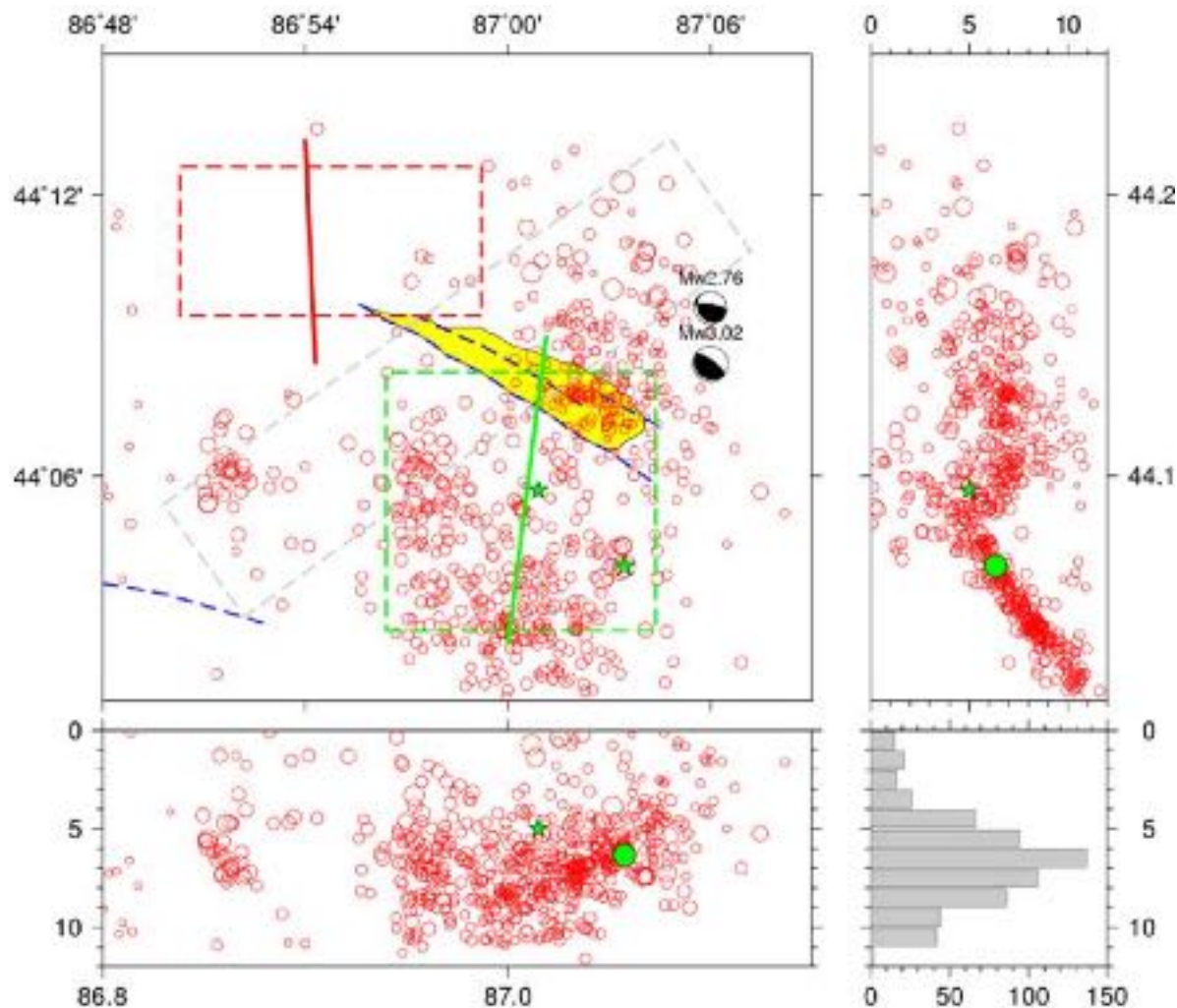


共检测出8000多次地震，其中7000多次地震位于UGS 20km之内

10倍多于之前目录



2013-2014年定位结果

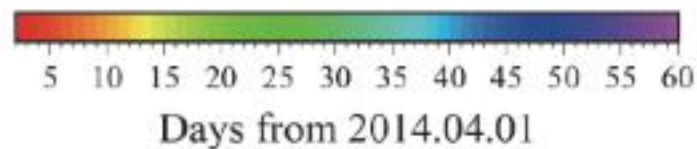
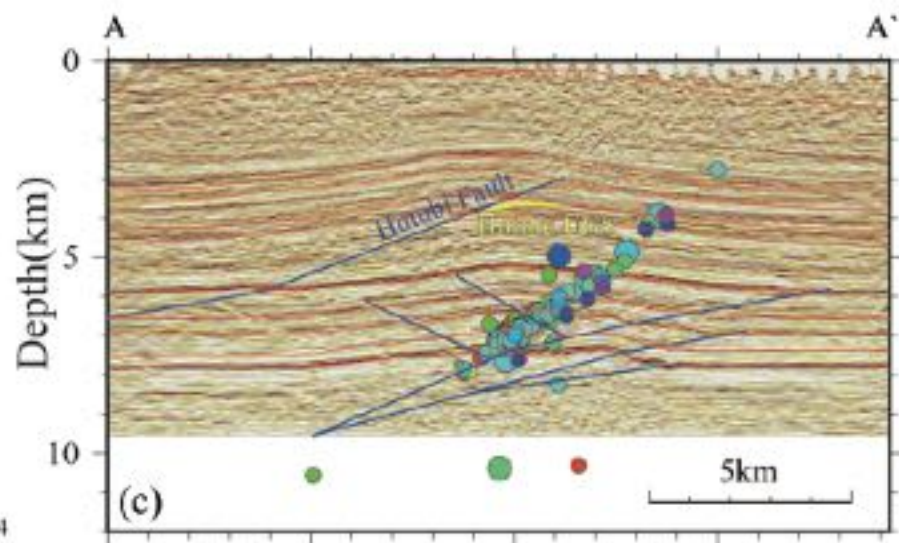
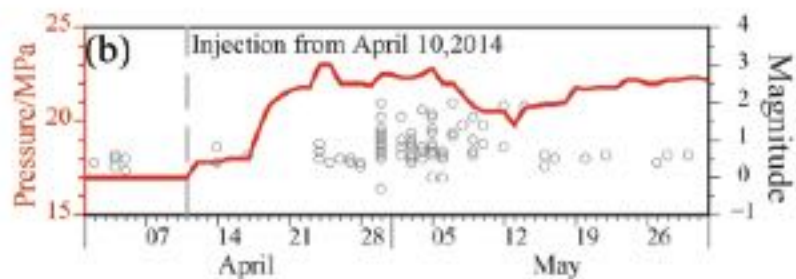
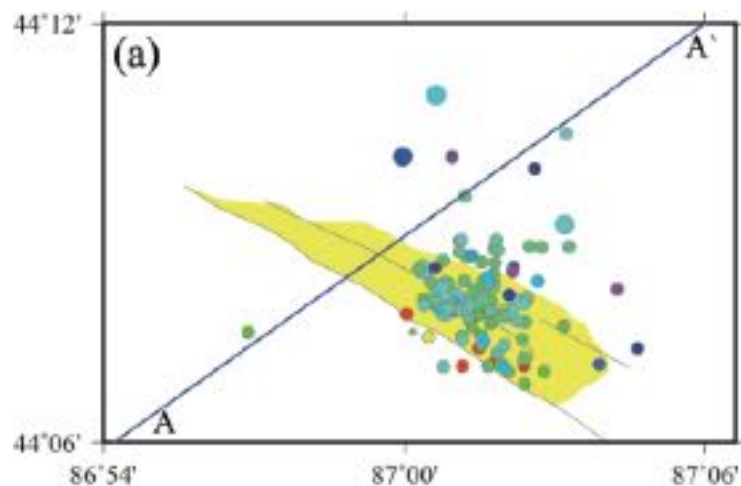


地震群注气后的8天内开始，最大的Mw2.3发生在注入开始20天之后

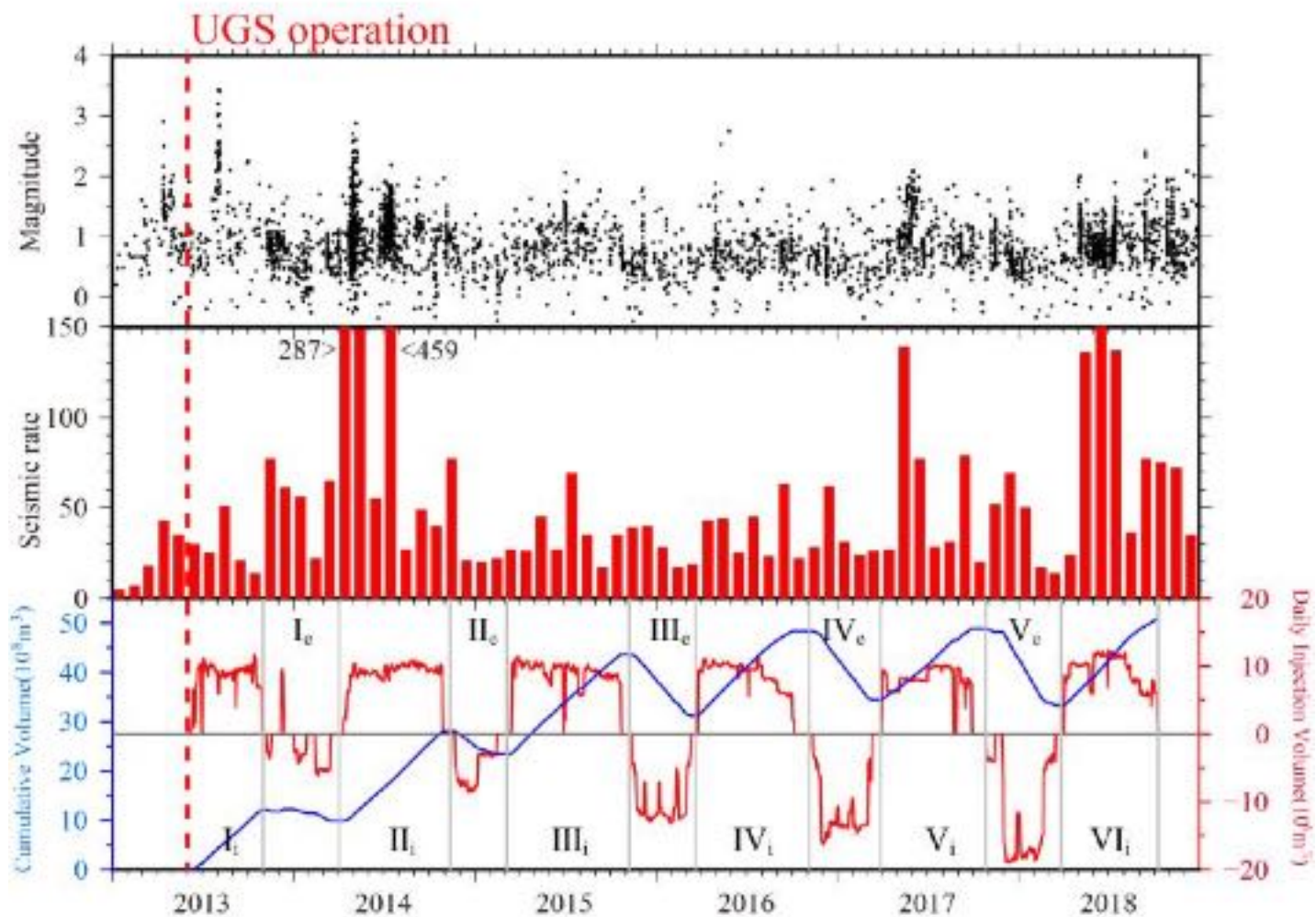
地震主要集中在5公里深度

逐渐迁移到深处

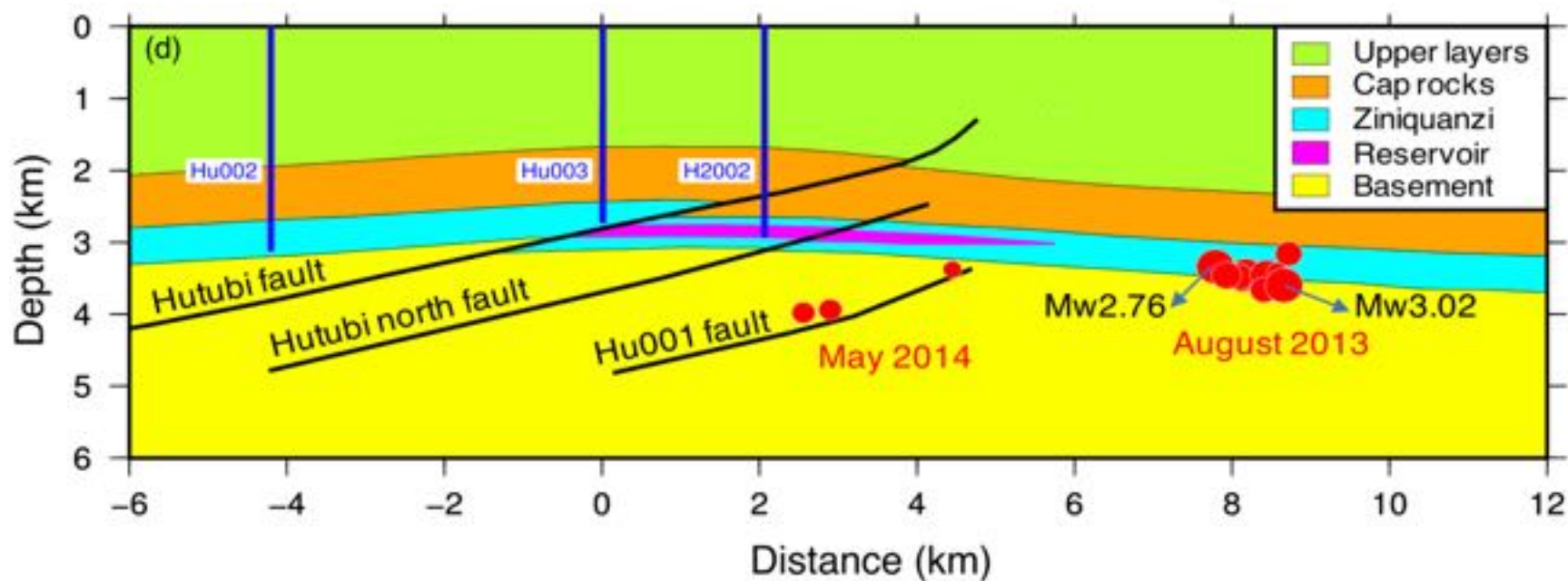
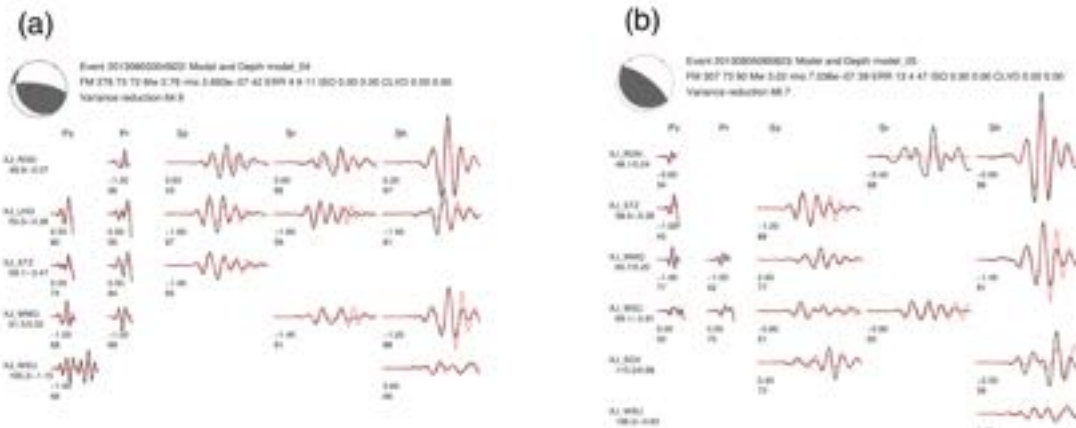
沿呼图壁断层切线剖面



M-T图



Zhou 震源机制解



多目标函数反演震源机制

① 波形相似性

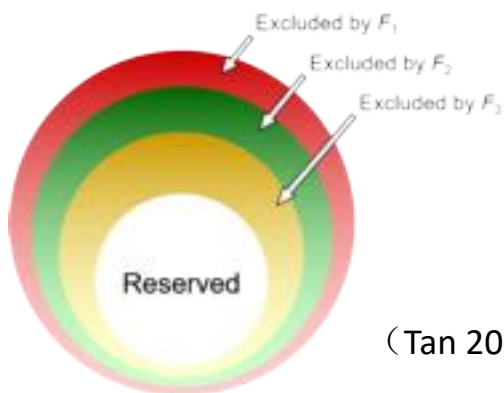
$$F_1 = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^3 (1 - cc_{\max}) \cdot \|\tilde{V}_i^n - \tilde{v}_i^n\|_2$$

② P波极性一致性

$$F_2 = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^3 S_i^n \cdot |P_i^n - p_i^n|$$

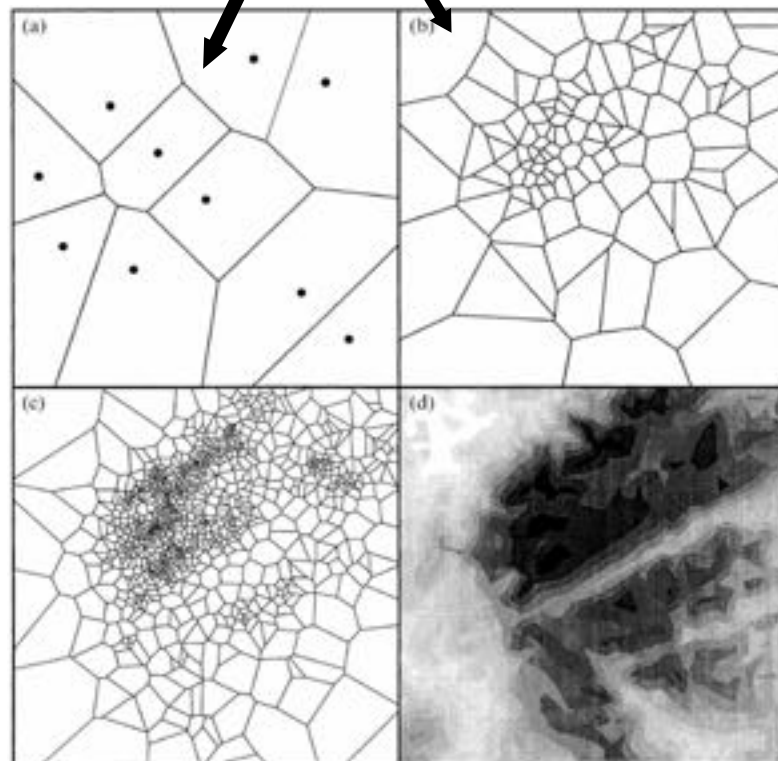
③ S/P振幅比一致性

$$F_3 = \sum_{n=1}^N \left| \log(A_s^n / A_p^n) - \log(a_s^n / a_p^n) \right|$$



(Tan 2018 GJI)

Voronoi单元



(Malcolm Sambridge 1999 GJI)



贝叶斯新方法

The flow chart

Algorithm 1. MCMC algorithm to sample $\pi_{post}(\mathbf{m}|\mathbf{d}_{obs})$

Choose initial \mathbf{m}_0

Compute $\pi_{post}(\mathbf{m}_0)$

for $k=0, \dots, N-1$ do

 Draw sample \mathbf{y}

 Compute $\pi_{post}(\mathbf{y})$

 Compute $\alpha(\mathbf{m}_k, \mathbf{y}) = \min(1, \frac{\pi_{post}(\mathbf{y})}{\pi_{post}(\mathbf{m}_k)})$

 Draw random number $u \sim \mathcal{U}([0, 1])$

 if $u < \alpha(\mathbf{m}_k, \mathbf{y})$ && $f_3 < F_3$

 Accept: Set $\mathbf{m}_{k+1} = \mathbf{y}$

 else

 Reject: Set $\mathbf{m}_{k+1} = \mathbf{m}_k$

 end if

end for

Posterior distribution:

$$\pi_{post}(\mathbf{m}|\mathbf{d}_{obs}) \propto \exp\left(-\frac{1}{2}((\mathbf{m} - \bar{\mathbf{m}})^T \Gamma_{prior}^{-1}(\mathbf{m} - \bar{\mathbf{m}}) + (\mathbf{d} - f(\mathbf{m}))^T \Gamma_{noise}^{-1}(\mathbf{d} - f(\mathbf{m})))\right),$$

Generate samples models:

Generate random models from gaussian functions
important parameter — appropriate variance

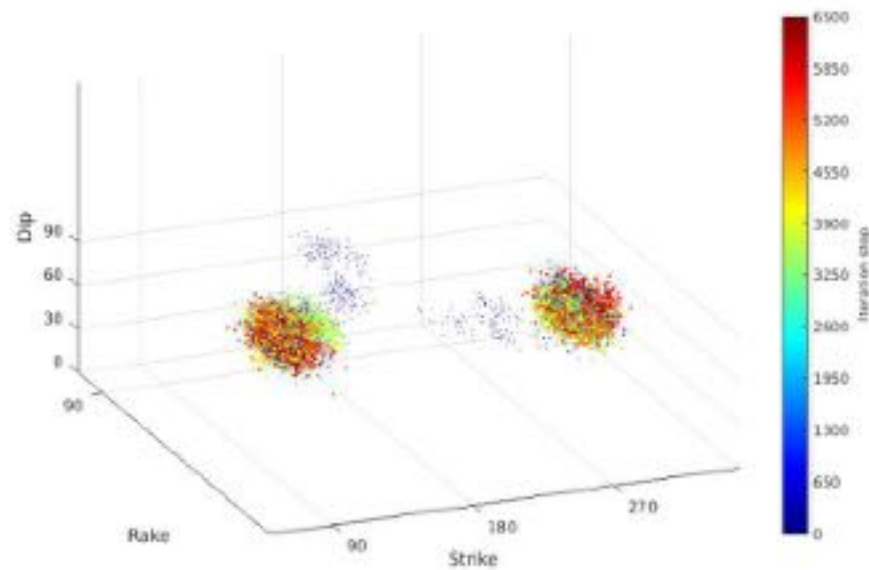
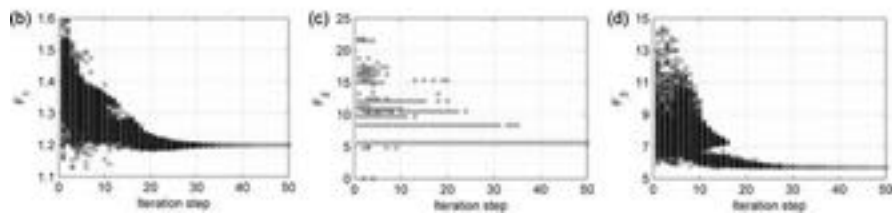
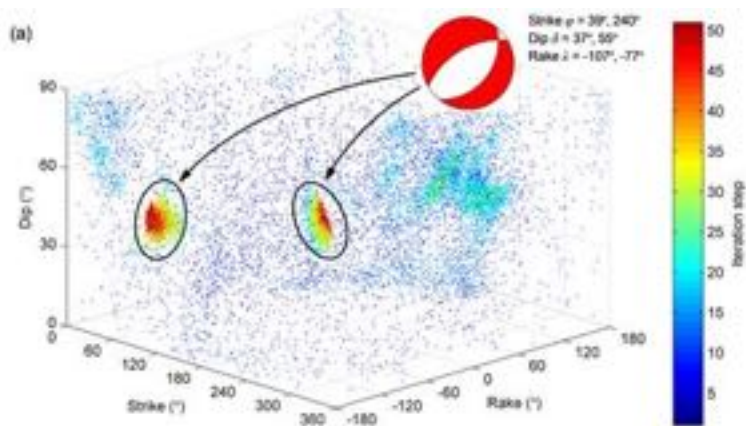
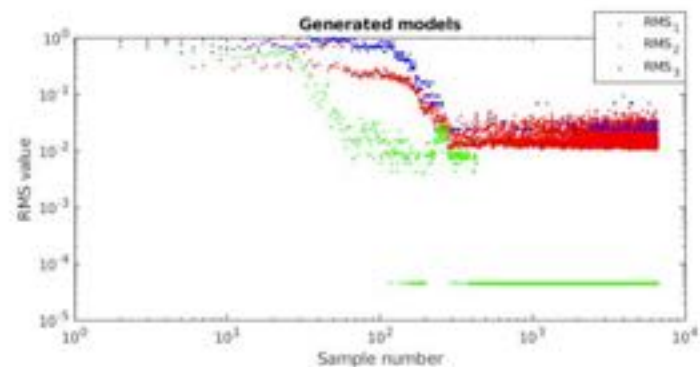
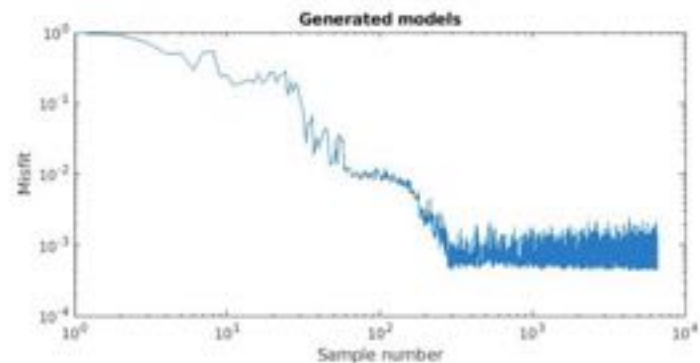
Misfit function:

$$E(\mathbf{m}) = \frac{1}{2}((\mathbf{m} - \bar{\mathbf{m}})^T \Gamma_{prior}^{-1}(\mathbf{m} - \bar{\mathbf{m}}) + (\mathbf{d} - f(\mathbf{m}))^T \Gamma_{noise}^{-1}(\mathbf{d} - f(\mathbf{m}))).$$

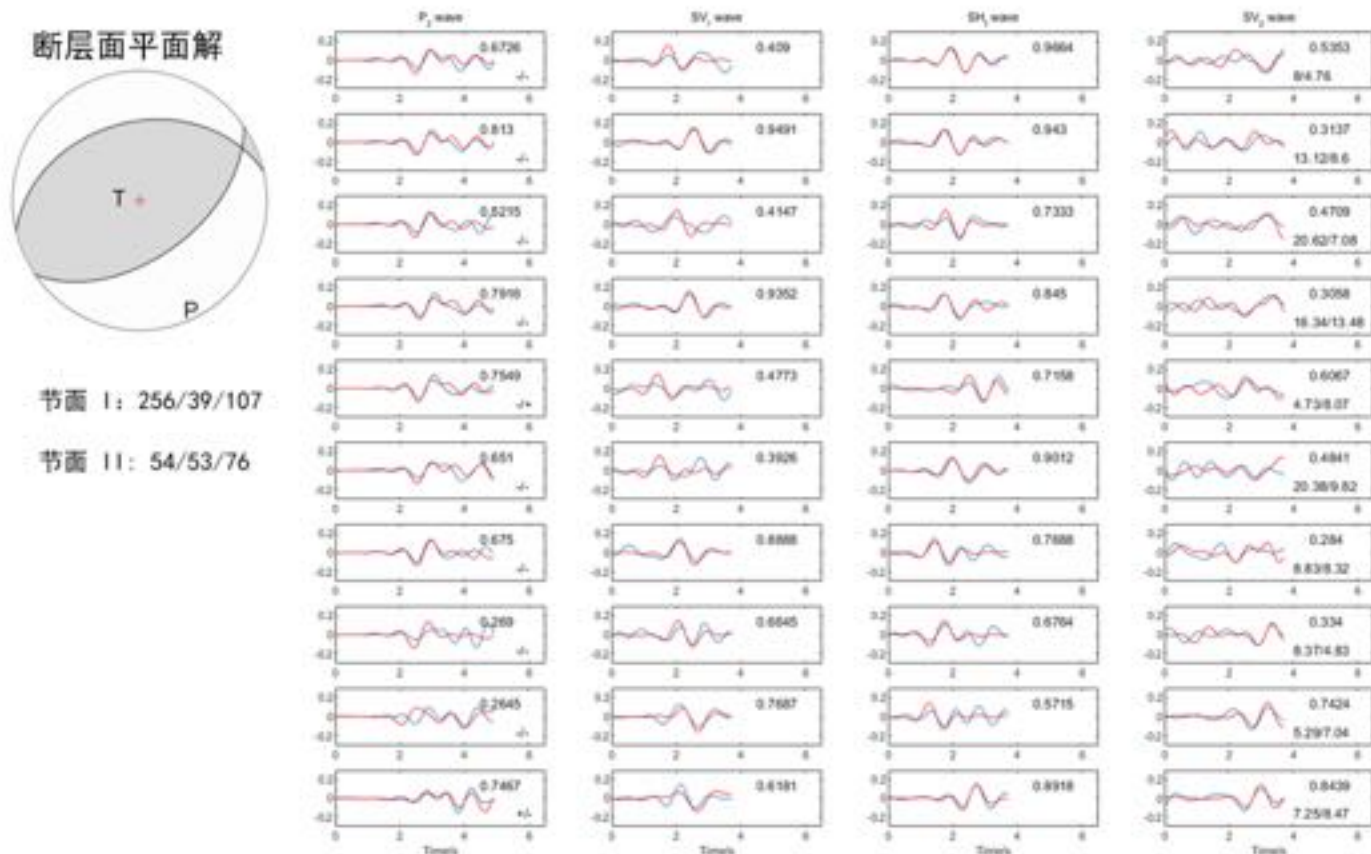
两种方法比较

Our new method

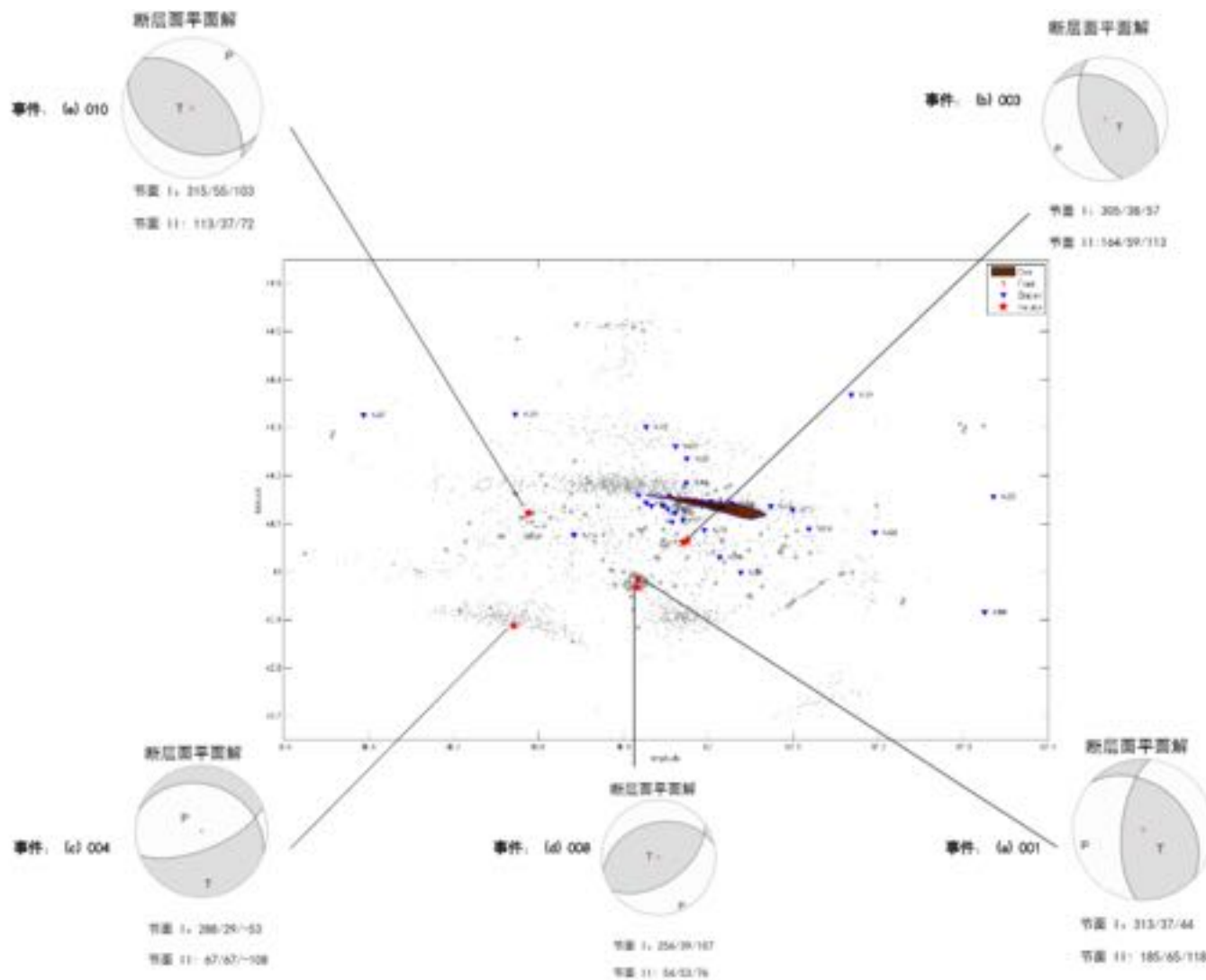
Tan 2018 GJI



事件20160922085344 震源机制 Mw=2.8

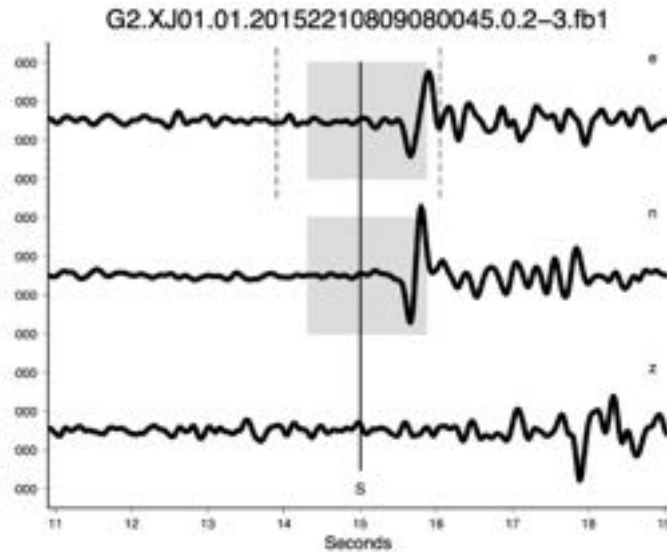


这些地震事件以逆断层为主，并具有一定的走滑成分

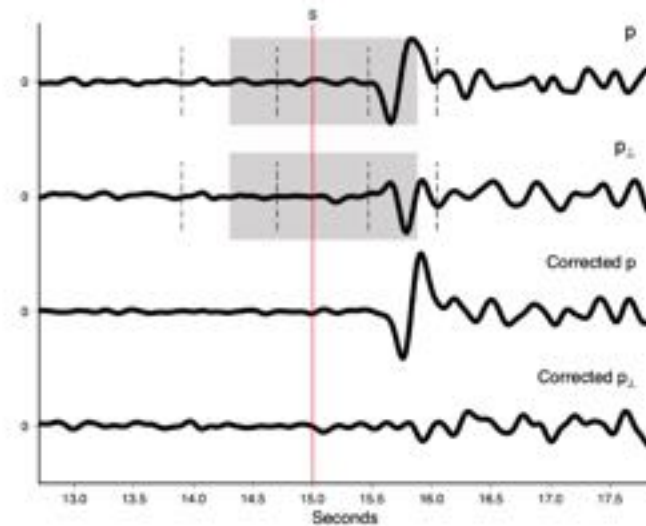




横波分裂现象 (poster 54-197)



A.



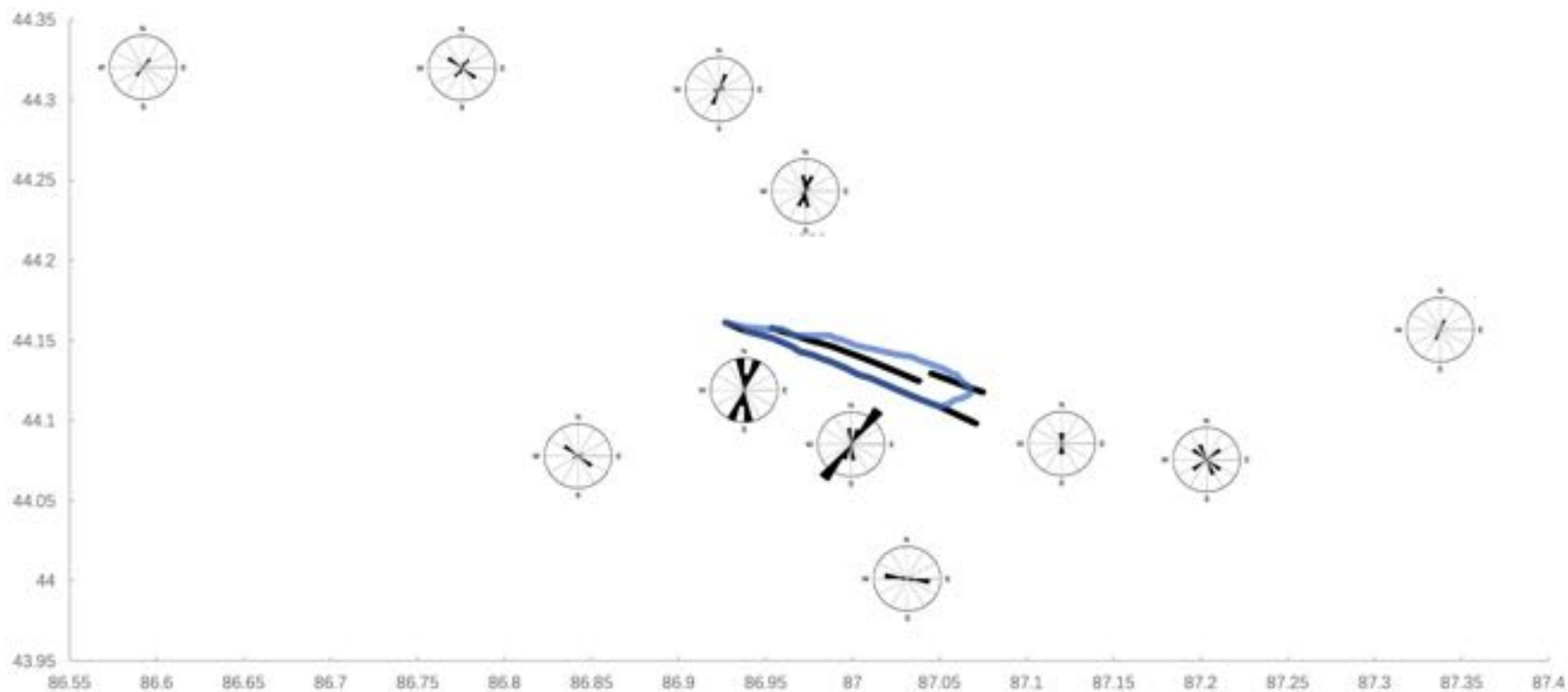
B.

单个事件记录计算结果

- A. 滤波后的三分量波形，实线为S到达，虚线为窗口的最小开始时间和最大结束时间；
B. 对于原始滤波波形旋转到其入射极化方向和其垂直值之后的波形，下方分别为其校正值。



储气库周边台站横波分裂玫瑰图





总结

- ✓ 我们利用模板匹配检测出**8000**多次地震，并进行重定位分析。
- ✓ 我们开发一种新的方法，能够同时确定地震位置与震源机制信息。
- ✓ 当储气能力达到最大，地震活动性的增加也达到高峰，并逐渐向外扩展。
- ✓ 注气引起孔隙应力的变化引起了地震活动性的增加。
- ✓ 在稳定运行阶段，储气库运行在最大库容范围内，区域地震活动性显著降低，并趋于向外扩散的趋势。
- ✓ 定位与震源及机制的结果分析工作，仍在进行中

Thanks !