



十三陵地震中心台  
2018/9/25

# 岩石圈垂向构造应力场与水库地震预测

付广裕

地震形变研究室

**中国地震局地震预测研究所**

INSTITUTE OF EARTHQUAKE FORECASTING, CEA

Fu, G. and Y. She (2017), Gravity anomalies and isostasy deduced from new dense gravimetry around the Tsangpo Gorge, Tibet, Geophysical Research Letters, 44: 10233-10239.

# 目 录

---

1. 雅鲁藏布大峡谷周边地区岩石圈垂向构造应力场分布
2. 岩石圈垂向构造应力场与水库地震预测

# 研究区域



世界第15高峰：南迦巴瓦峰  
(7782 m)



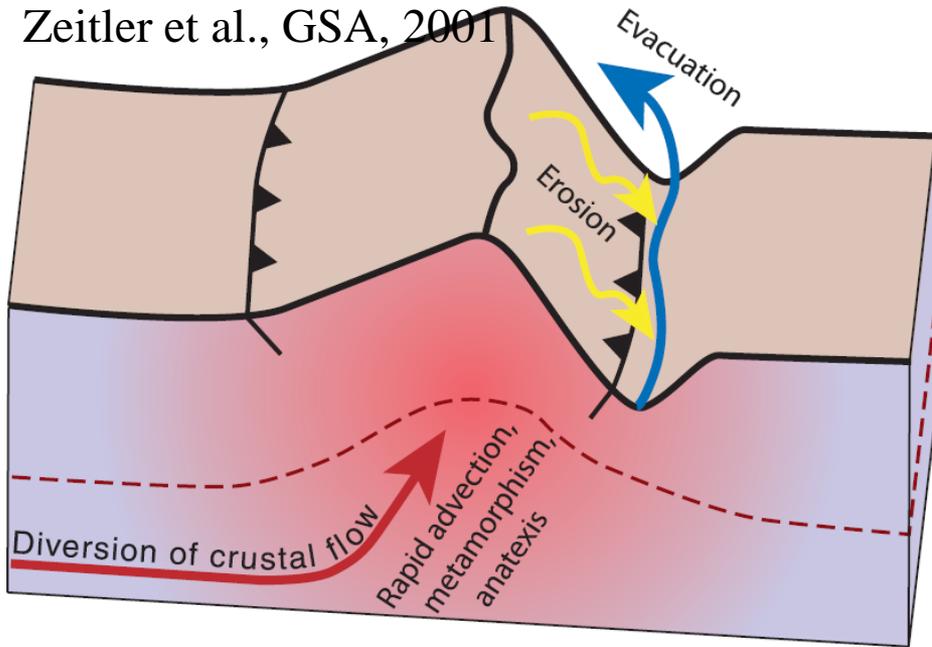
世界最深峡谷：雅鲁藏布江大峡谷



50公里范围内，6000米以上的高差！

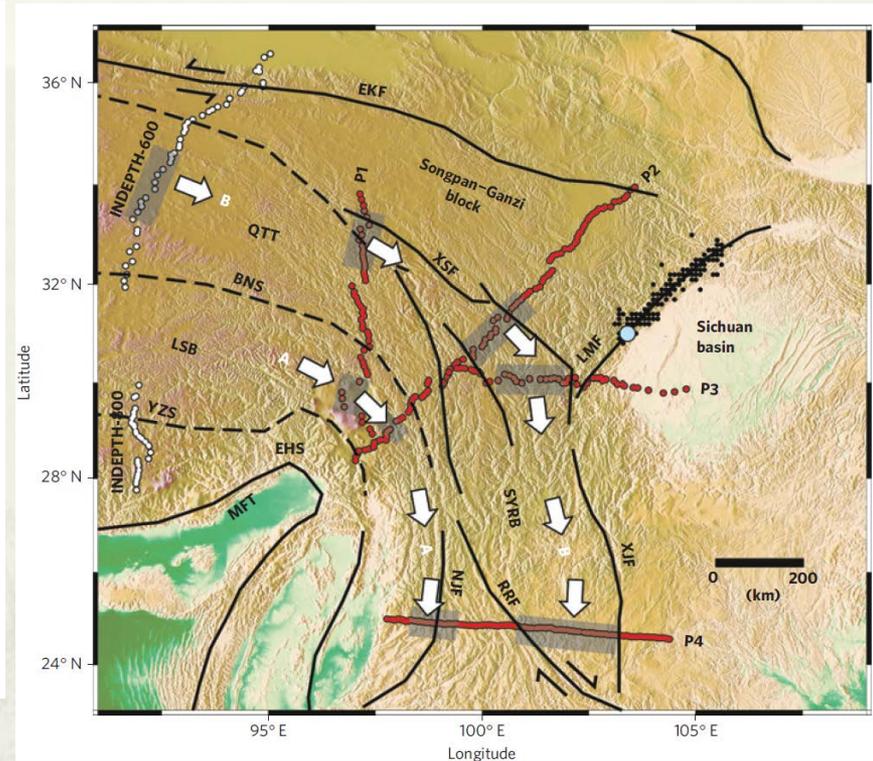
# 河流侵蚀模型

Zeitler et al., GSA, 2001

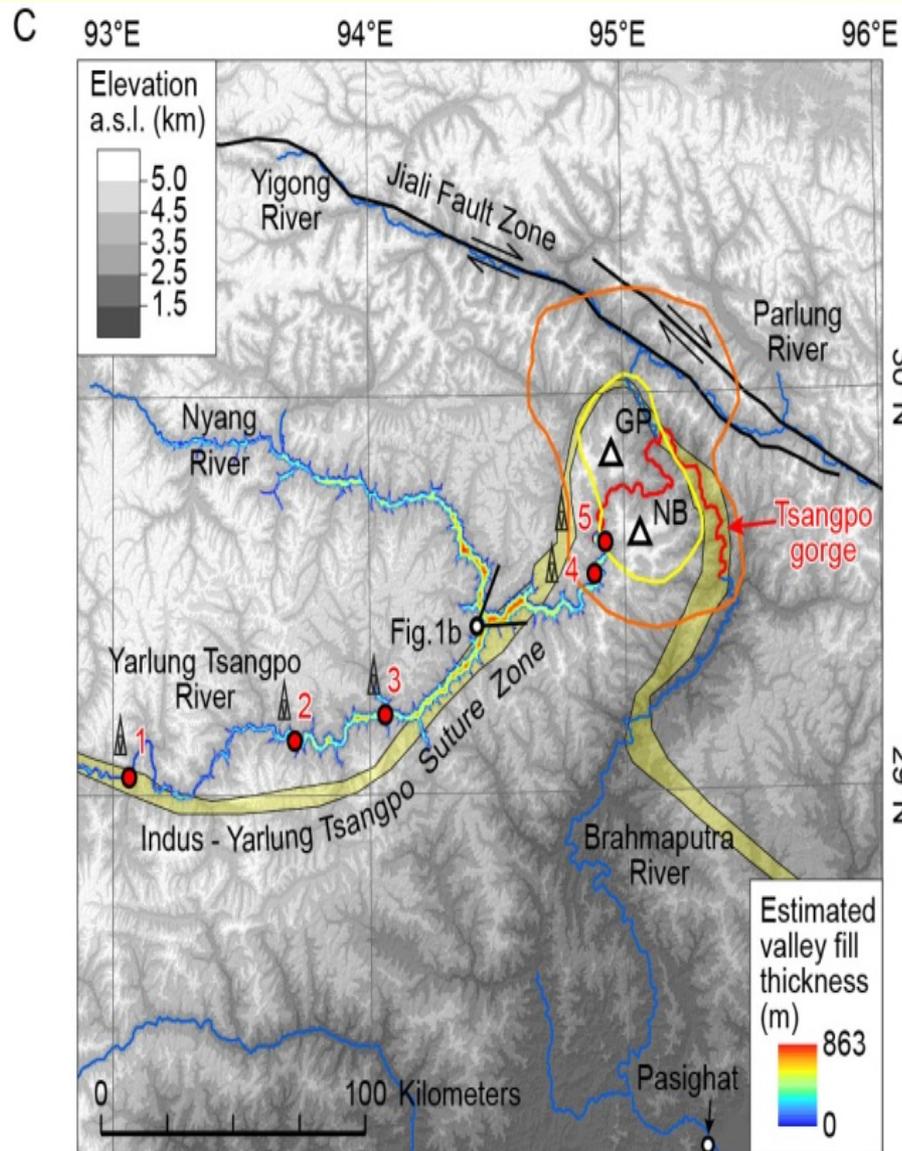
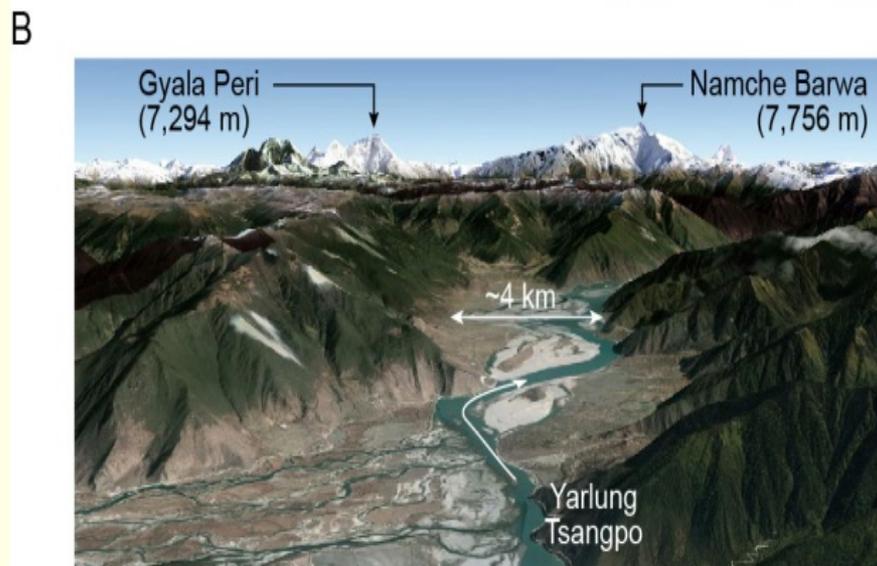
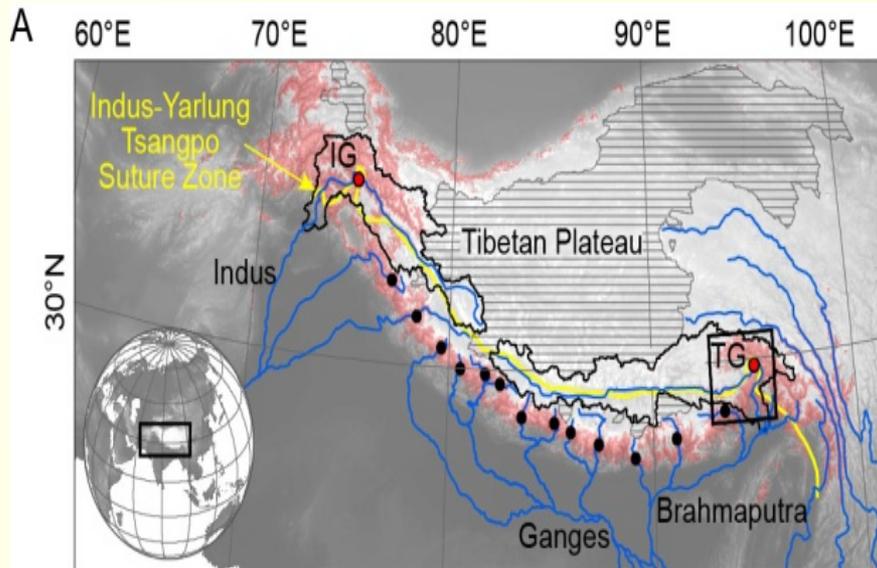


河流深切导致地壳弱化，在地下地壳流的作用下，南迦巴瓦地块隆升！

构造隆升是结果而不是原因

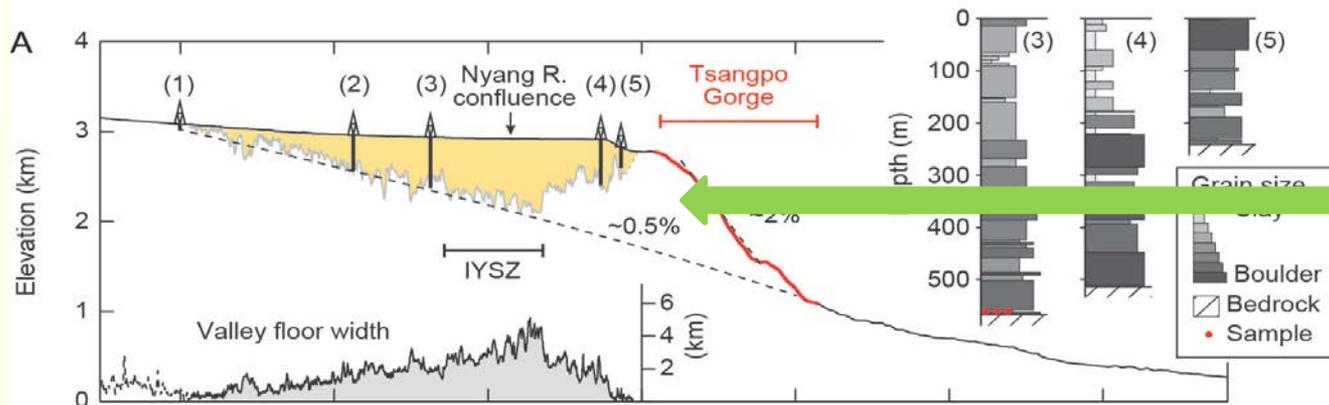


Bai et al., *NatureGeo.*, 2010

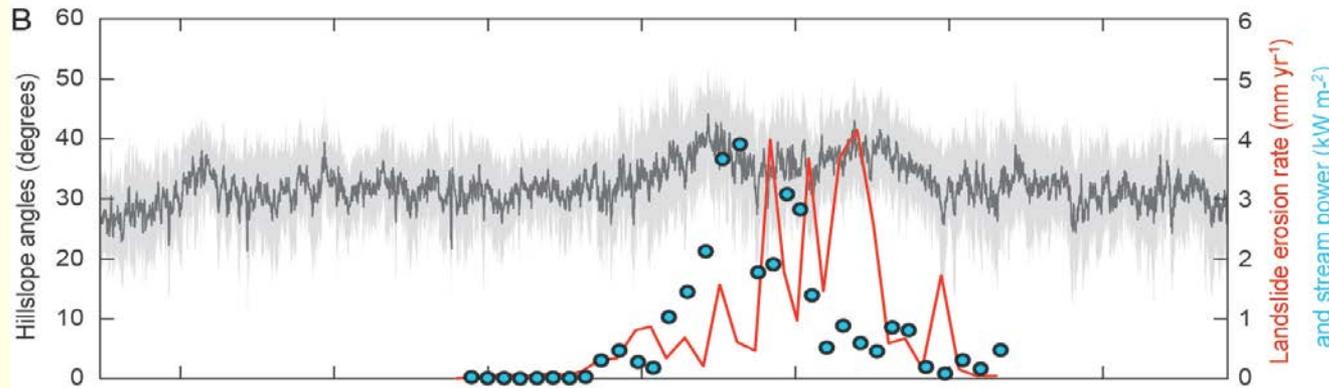


Wang et al., *Science*, 2014

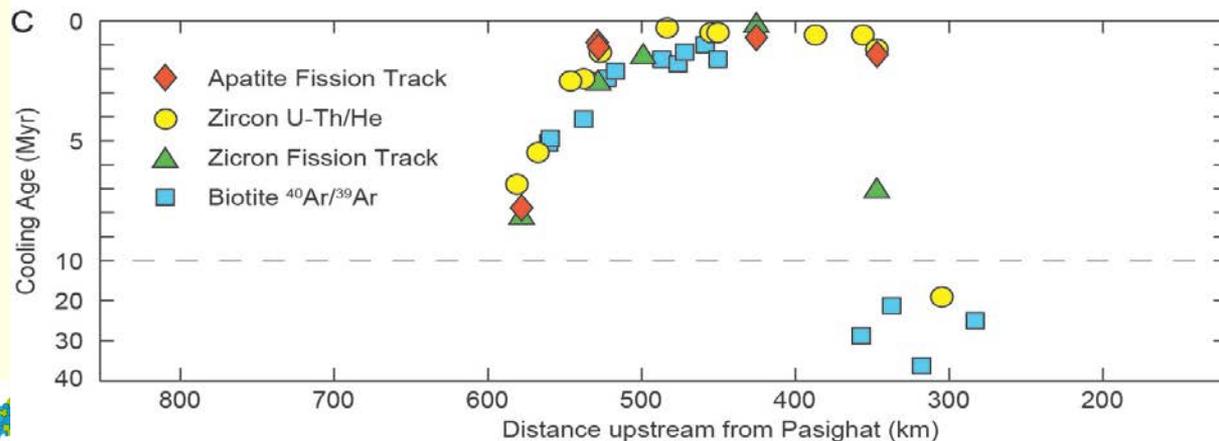
大峡谷上游河谷内挖五个探槽



地壳隆升



揭示了构造运动的主导作用!

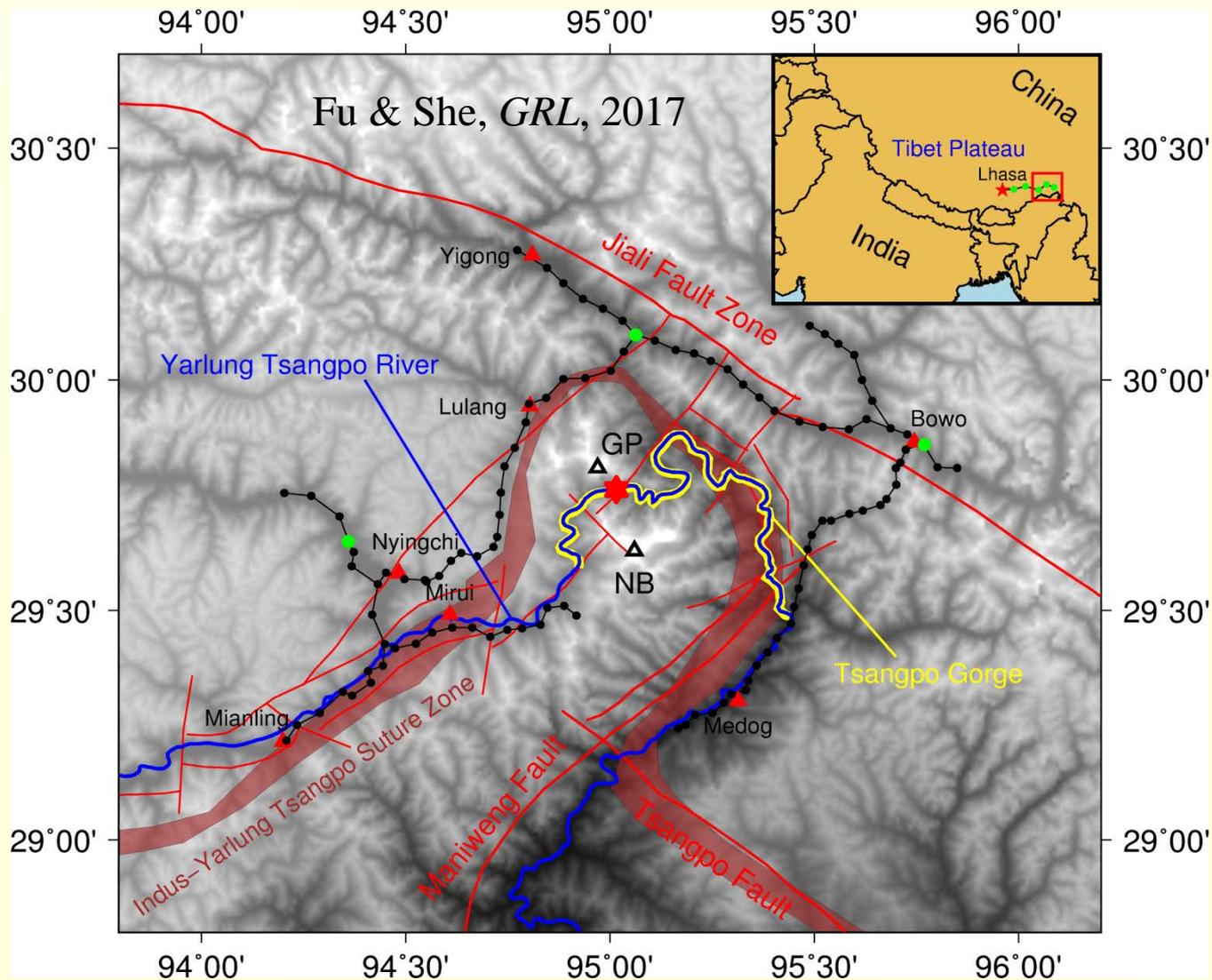


构造运动是原因而不是结果!

Wang et al., *Science*, 2014



# 重力观测网及周边地区构造



米林6.9级地震发生在我们测区中央



# 野外观测

## GPS观测



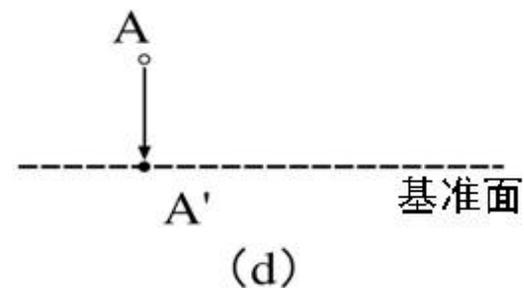
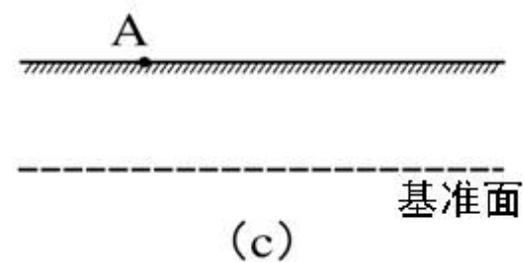
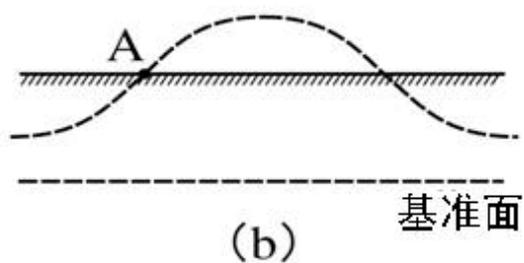
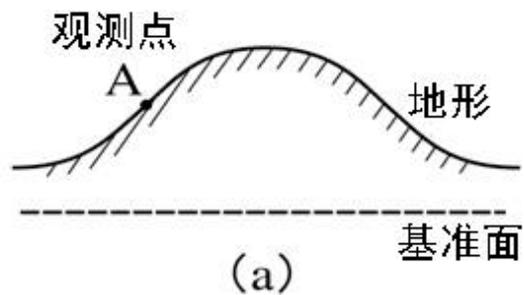
观测站数：107个  
观测仪器：Leica GX1230双频GPS  
接收机  
观测时间：40分钟以上/站

## 重力观测



观测站数：107个  
观测仪器：Burris相对重力仪  
联测方式：A→B→C→.....→C→B→A  
串式对称观测

# 重力观测数据及改正



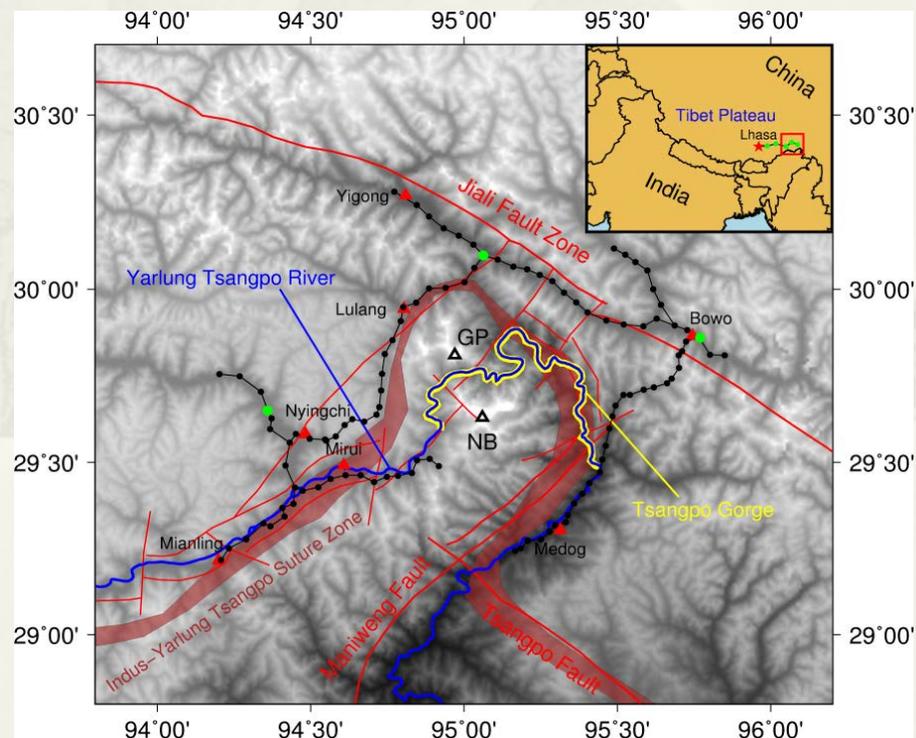
地形改正

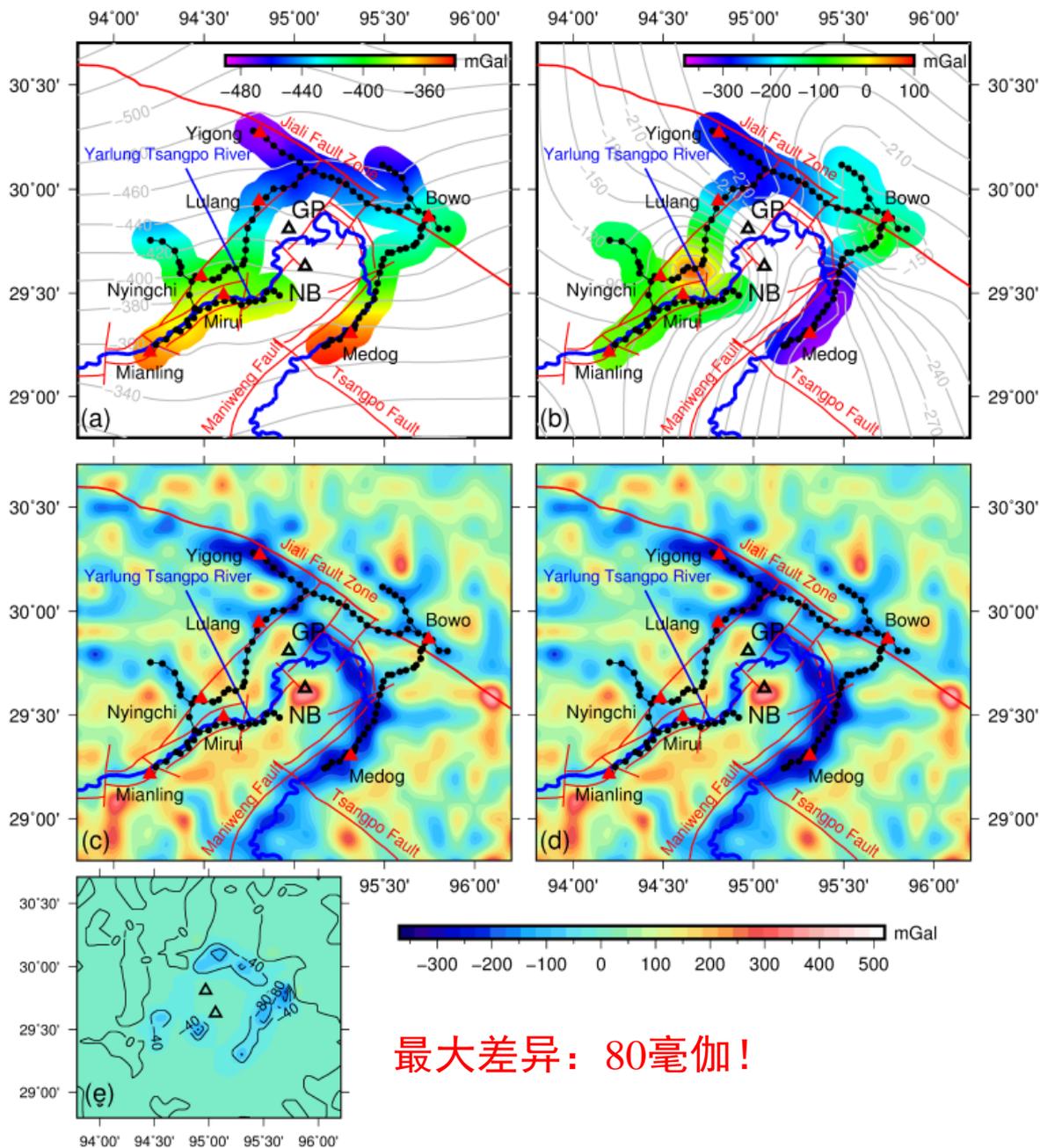
中间层改正

高度改正

重力数据:

- 1、2016年藏南重力网观测数据
- 2、2013年观测的陆态网络观测数据
- 3、2014年拉萨站绝对重力观测数据





a: 地表观测揭示的布格重力异常

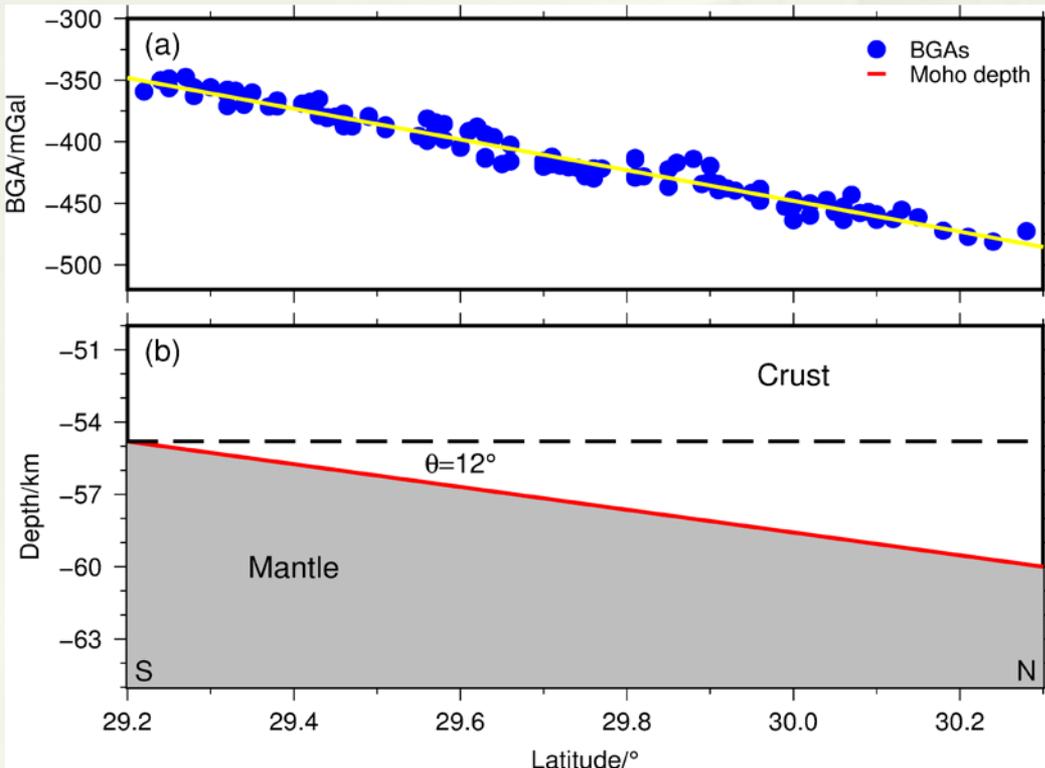
b: 地表观测揭示的自由空气重力异常

c: 基于EIGEN-6C4 模型的自由空气重力异常

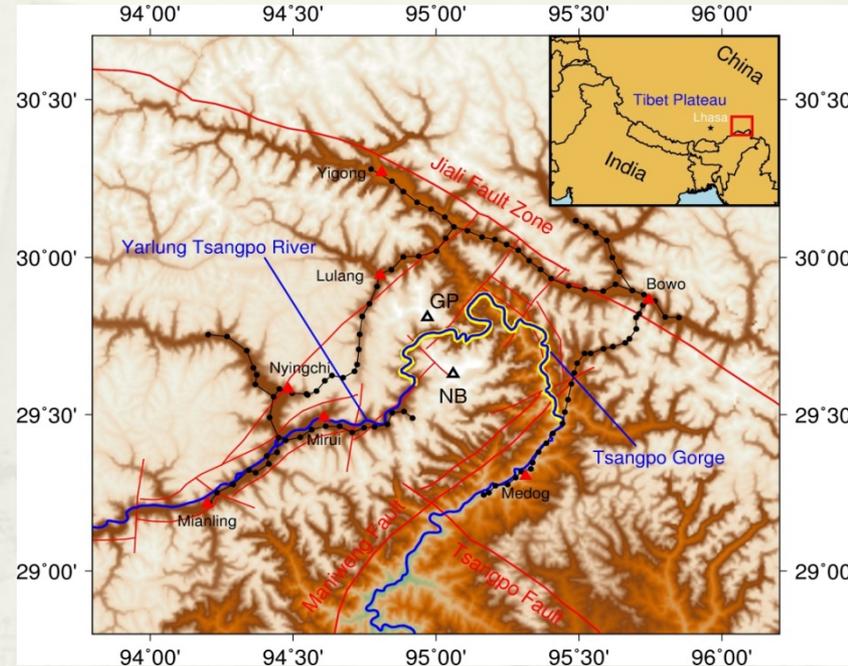
d: 地表观测与模型数据融合得到的自由空气重力异常场

e: (c) 与 (d) 的差异

# 大峡谷周边地区总体莫霍面变化



莫霍面从南到北以12度角平直俯冲！



为印度板块刚性下  
插提供了证据！

高尚华, 余雅文, 付广裕. 2016. 利用重力/GPS 联合观测数据计算地壳垂向构造应力的新方法. 地球物理学报, 59(6): - , doi:10. 6038/cjg20160601.

Gao S H, She Y W, Fu G Y. 2016. A new method for computing the vertical tectonic stress of the crust by use of hybrid gravity and GPS data. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 59(6): - , doi:10. 6038/cjg20160601.

## 利用重力/GPS 联合观测数据计算 地壳垂向构造应力的新方法

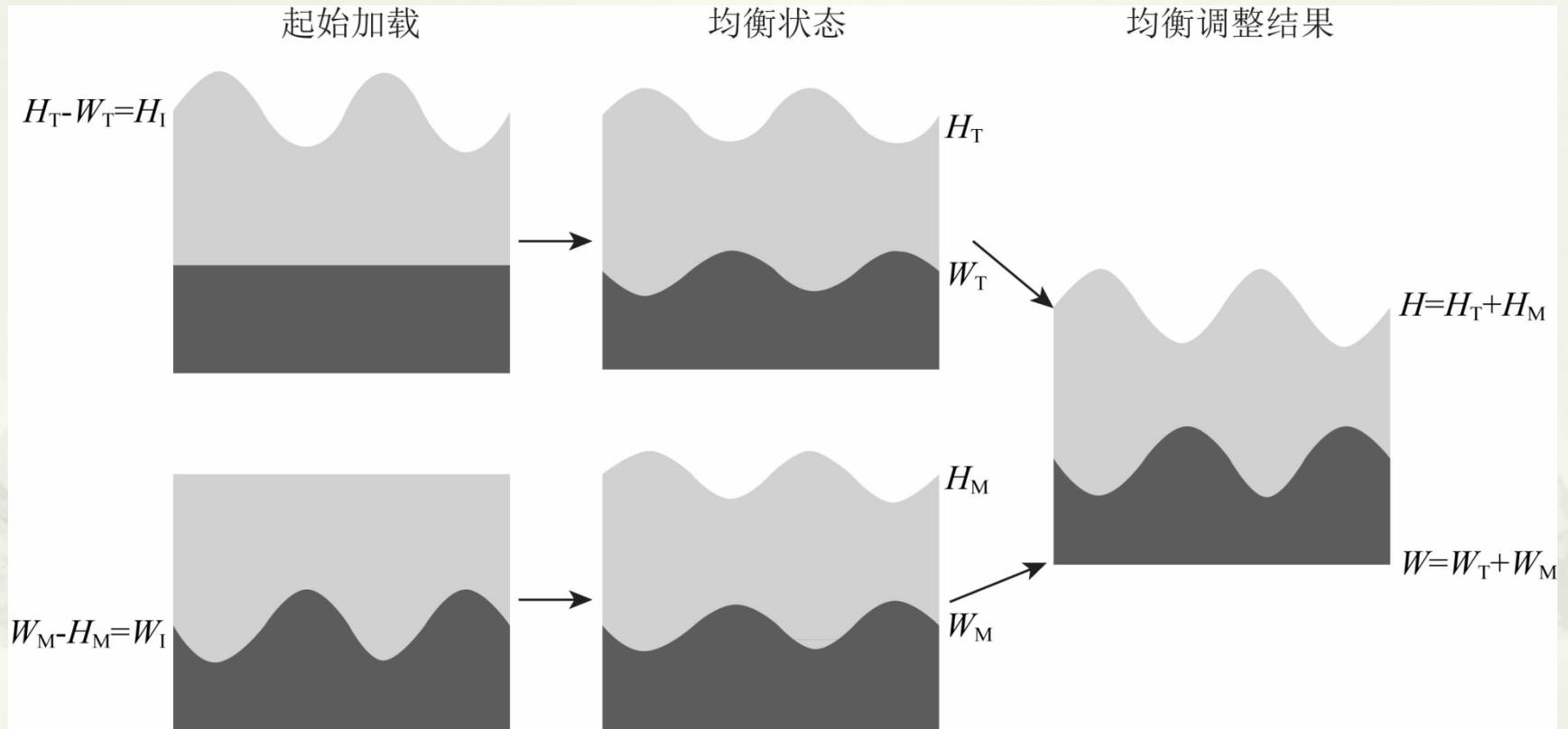
高尚华, 余雅文, 付广裕\*

中国地震局地震预测重点实验室(中国地震局地震预测研究所), 北京 100036

**摘要** 本文提出一种基于重力/GPS 联合观测数据计算垂向构造应力的新方法. 计算步骤如下: (1) 通过重力/GPS 联合观测数据计算布格重力异常; (2) 依据布格重力异常数据推算莫霍面深度; (3) 依据 GPS 观测数据, 通过均衡理论计算均衡面深度; (4) 依据莫霍面与均衡面之间剩余物质(壳幔物质密度差)所承受的附加浮力, 计算

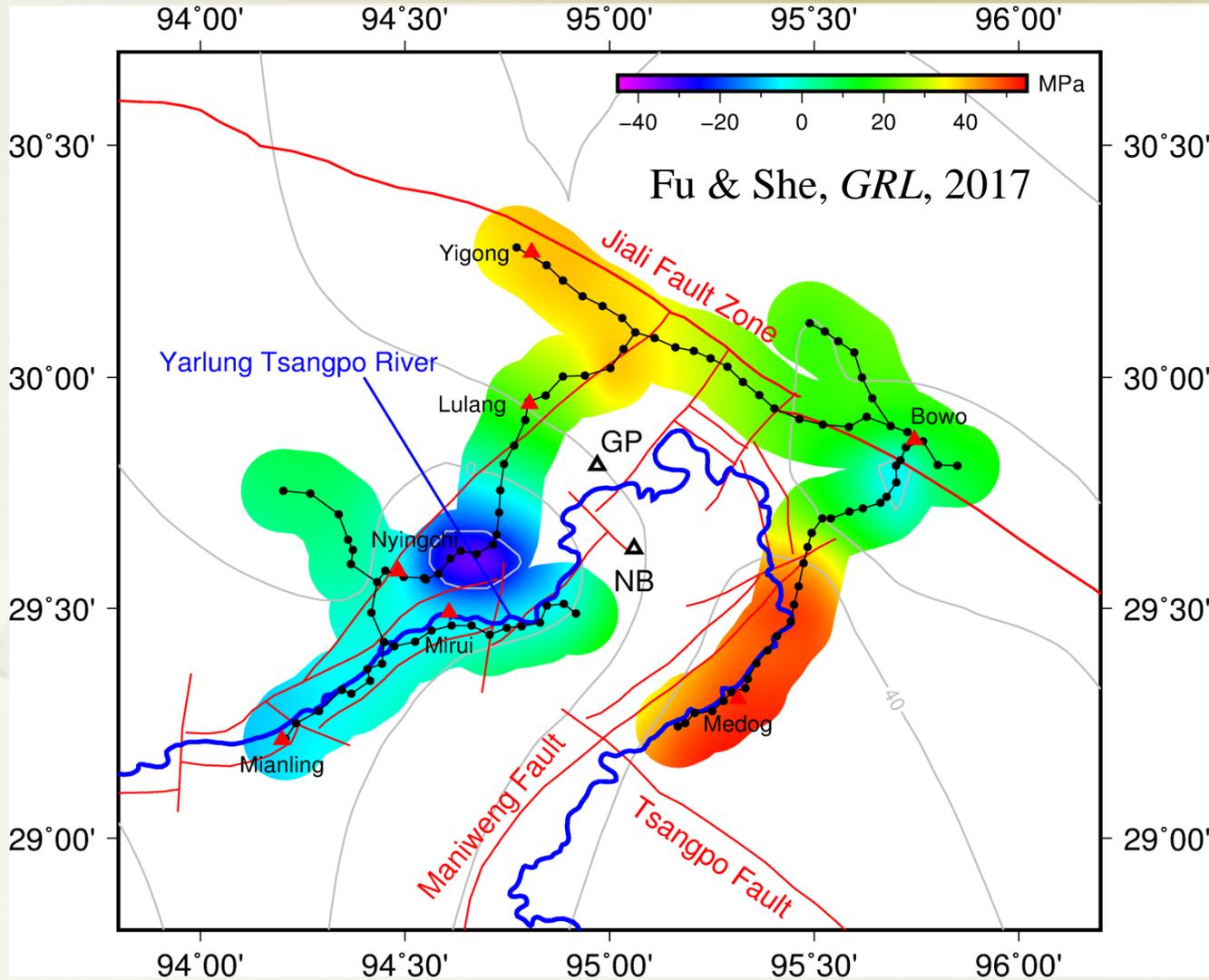
# 基于均衡调整的垂向构造应力计算方法

余雅文等, *地球物理学报*, 2017



基于调整前后岩石圈所承受的浮力差异, 可计算岩石圈  
承载的垂向构造应力

# 雅鲁藏布大峡谷地区垂向构造应力分布图



数据：  
布格重力数据  
GPS高程数据

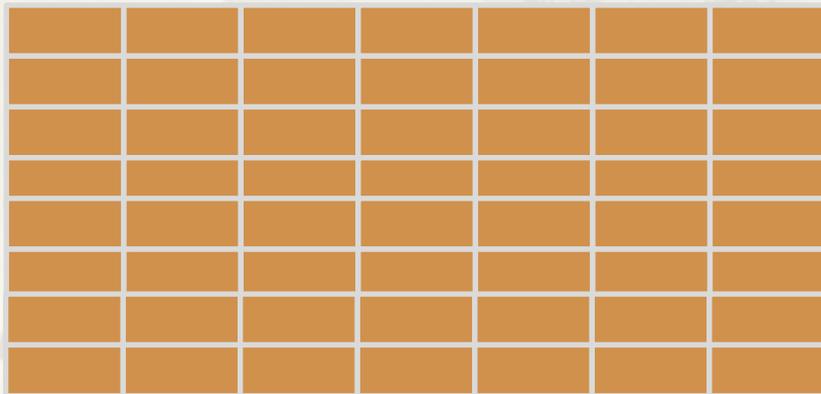
上游基本均衡

下游显著不均衡

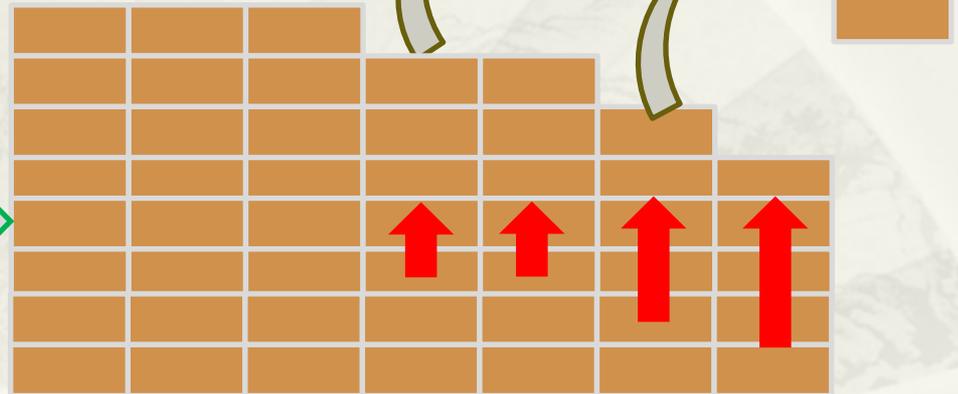
# 垂向构造应力产生的可能原因

地表剥蚀前

地表剥蚀后

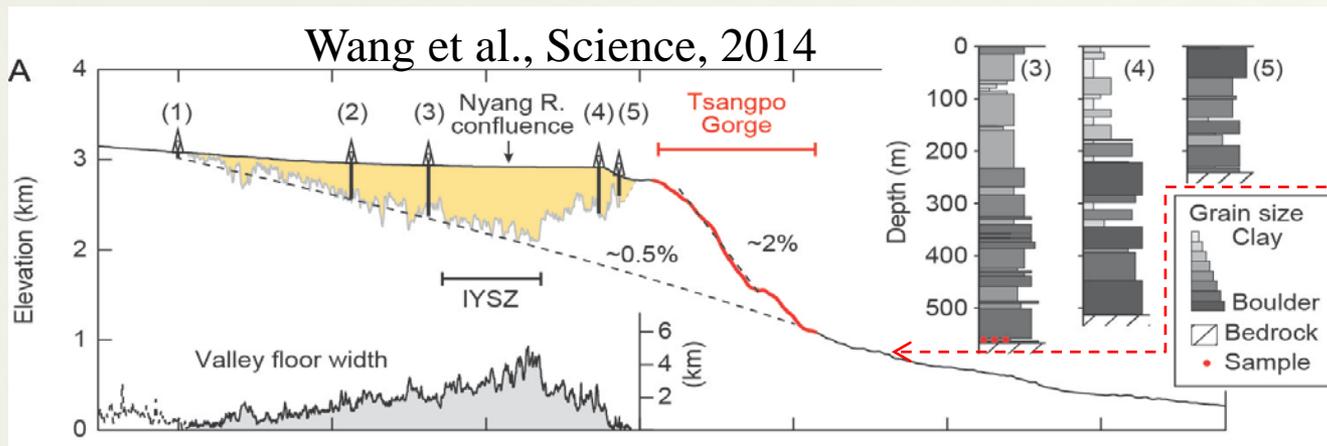


岩石圈均衡，无构造应力

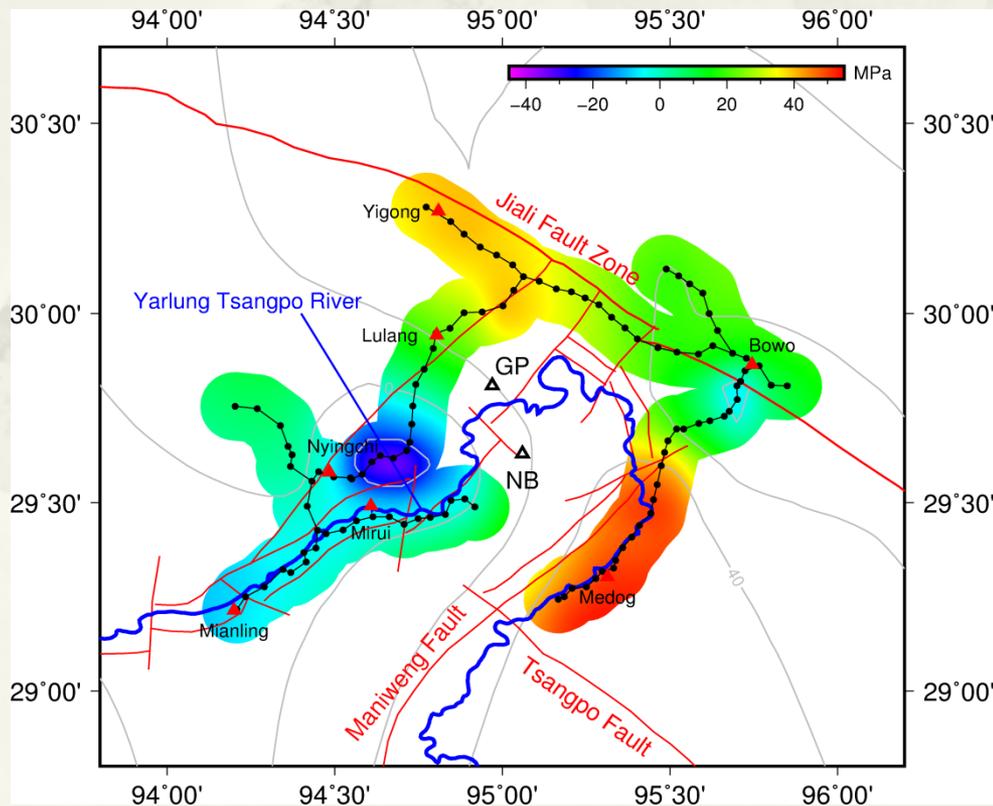


岩石圈不均衡，产生  
向上的构造应力

可以对岩石圈的剥蚀历史进行重构



假设有问题!



- 大峡谷下游不均衡
- 正向垂向构造应力表明地表物质大量被剥蚀

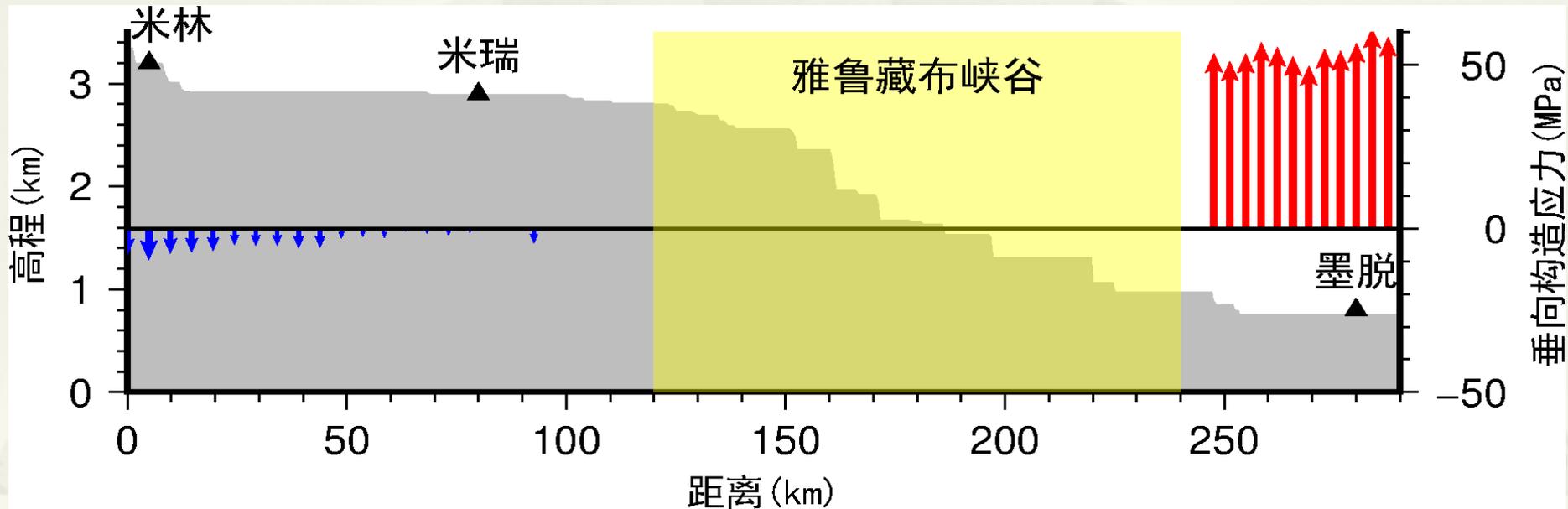
不支持Wang等 (2014) 对大峡谷底部隆升前位置的推测

# 目录

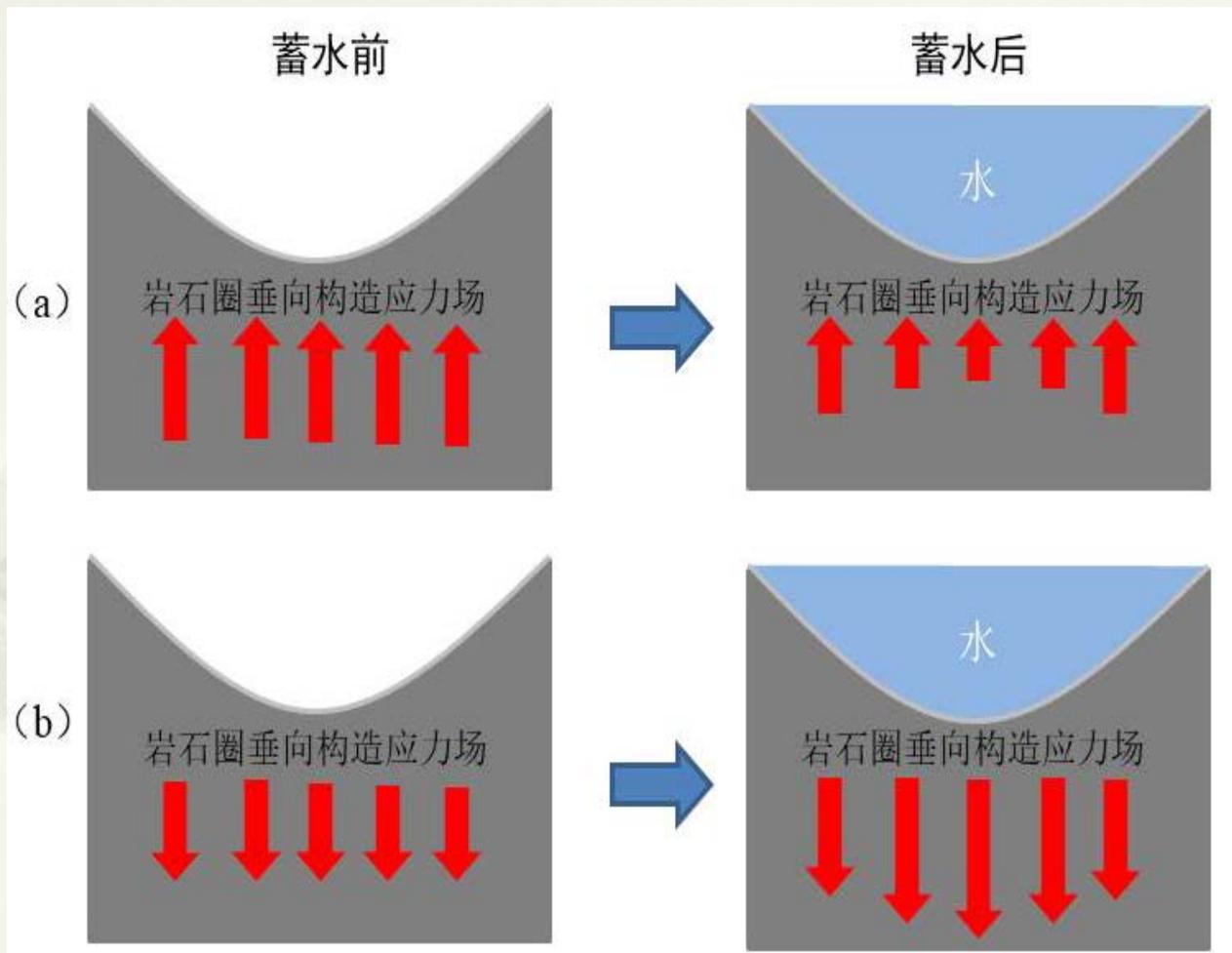
---

1. 雅鲁藏布大峡谷周边地区岩石圈垂向构造应力场分布
2. **岩石圈垂向构造应力场与水库地震预测**

# 雅鲁藏布大峡谷上下游河谷高程与岩石圈垂向构造应力场分布图



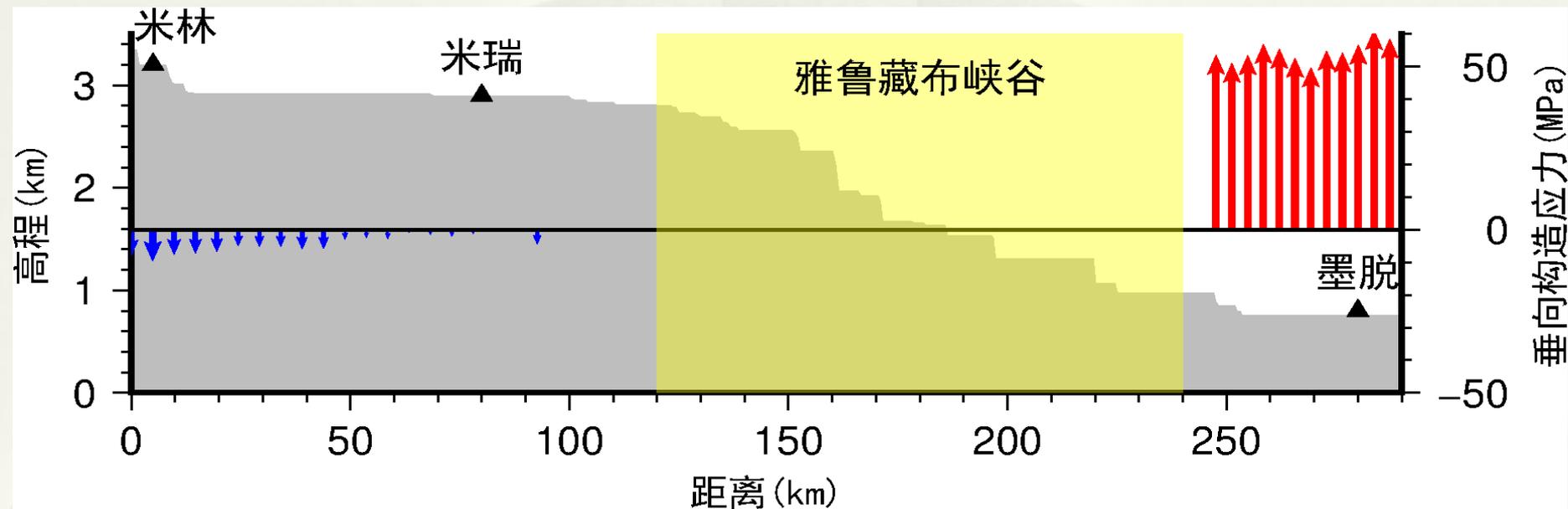
# 水库蓄水前后岩石圈垂向构造应力变化



不易触发强震

可能触发强震

# 雅鲁藏布大峡谷上下游河谷高程与岩石圈垂向构造应力场分布图



上游：可能触发强震

下游：不易触发强震

**建议：水库建设在下游地区**

# 水库地震的四种情况

1. 蓄水前没有历史地震记载，蓄水后出现明显的地震活动
  - 垂向构造应力较小的地区
2. 蓄水后发生的地震震级和频度高于历史地震
  - 岩石圈垂向构造应力向下的地区
3. 蓄水后地震的震级低于蓄水前的震级
  - 岩石圈垂向构造应力向上的地区
4. 蓄水后地震活动频度和震级没有明显的变化
  - 水库规模不大，水体自重对岩石圈的影响太低

**岩石圈垂向构造应力场可解释上述四种情况**

# 总结

1. 在雅鲁藏布大峡谷周边建设了一个由107个站组成的重力观测网，进行了重力/GPS联合观测，获取了区域布格和自由空气重力异常图
2. 布格重力异常显示，大峡谷周边地区莫霍面从南到北以12度角平直俯冲，为印度板块刚性下插提供了证据
3. 均衡结果显示，大峡谷上游岩石圈基本均衡，下游则处于显著不均衡状态，表明该地区地表物质被大量剥蚀
4. 基于岩石圈垂向构造应力场分布，初步探讨了水库地震预测的可能性



谢谢各位的聆听，  
敬请批评指正！