



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY



结构控制的凹凸体对大地震孕育的重要作用

- 汇报：李景
- PPT制作：张翼
- 时间：2023/4/24
-



目录

01

研究背景

地震灾害、技术发展、目前解释、已有研究

02

研究方法及结果

大地震震源区结构研究；全球大地震结构研究

03

分析和讨论

结构控制的发震机制讨论，凹凸体对发震机制的启示

01

研究背景

地震灾害、技术发展、目前解释、已有研究

01

地震灾害

1976 年 MS7.8 唐山地震
2008 年 MS8.0 汶川地震
2010 年 MS7.1 玉树地震
2013 年 MS7.0 芦山地震

.....

02

技术发展

大地震震源区的精细
结构与发震机制联系

03

目前解释

普遍用凹凸体
(asperity) 模式解释
大地震的发震机制

04

已有研究

地震活动及其相关的发
震断层几何形态、断层
破裂位置及造成的灾害
等方面都显现出明显的
多样性 (Lay, 2015)

01

研究方向

从大地震震源区介质结构的角度，系统总结已有的观测结果，探讨结构特征与凹凸体的关系

02

研究分类

结构研究

震源破裂过程研究

03

研究范围

全球震级大于 6 级且震源区开展过凹凸体研究的地震事件

04

研究意义

识别潜在的大地震凹凸体、
评估断层的发展能力



什么是凹凸体？

1. 断裂带上或附近不均匀介质
2. 地震发生之前断层面上存在的强度相对较大、应力更为集中的区域

凹凸体模式

01

凹凸体与障碍体

凹凸体：

强度相对较大、
应力更为集中

障碍体： 高应力强度区

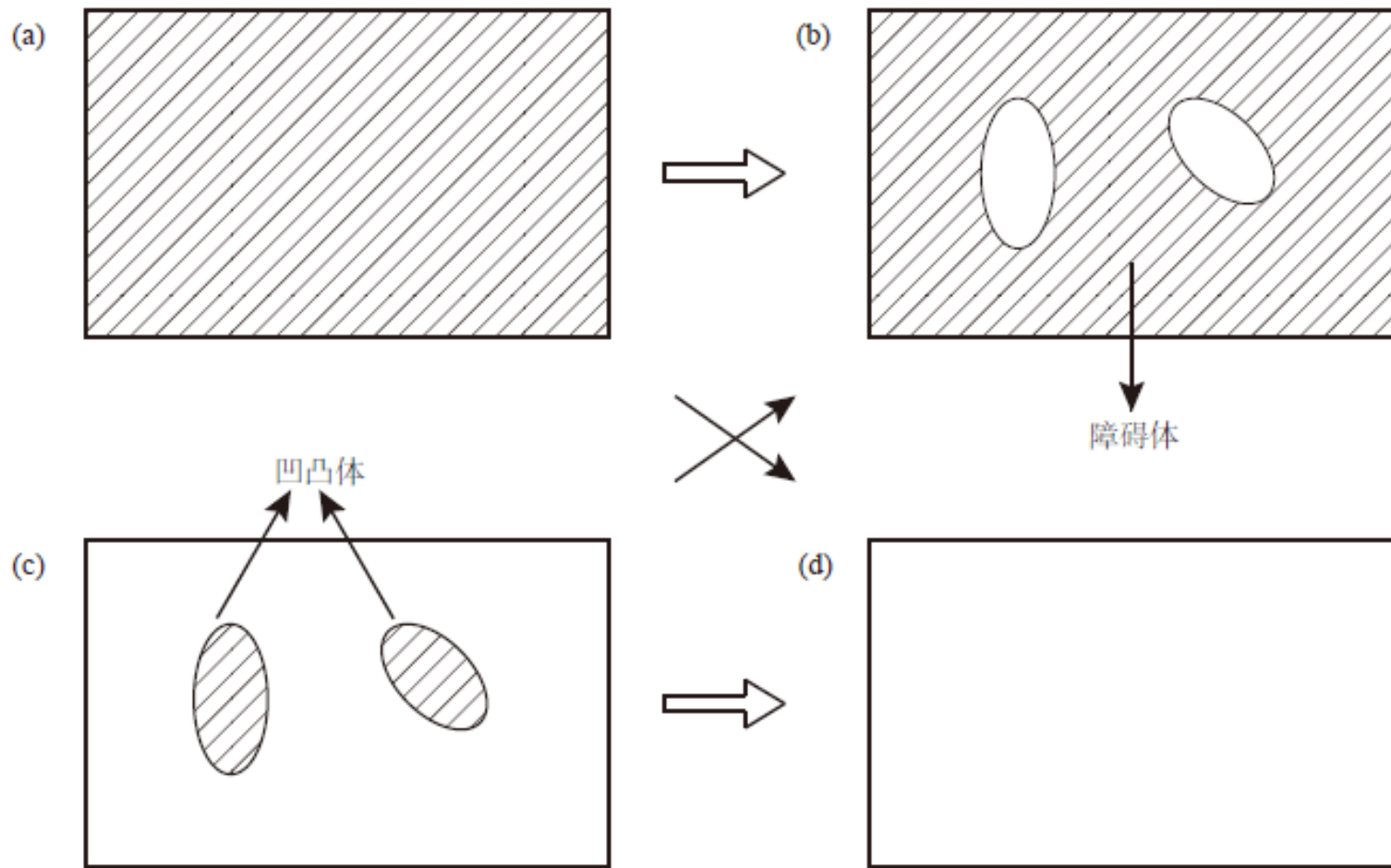


图 1 主震前后凹凸体与障碍体模式对比图（修改自 Aki, 1984）



凹凸体模式

02

大地震的孕育

存在凹凸体：

构造应力更容易积累

耦合强度更大

克服更大的剪切力

不存在凹凸体：

蠕动变形、

应力释放更容易

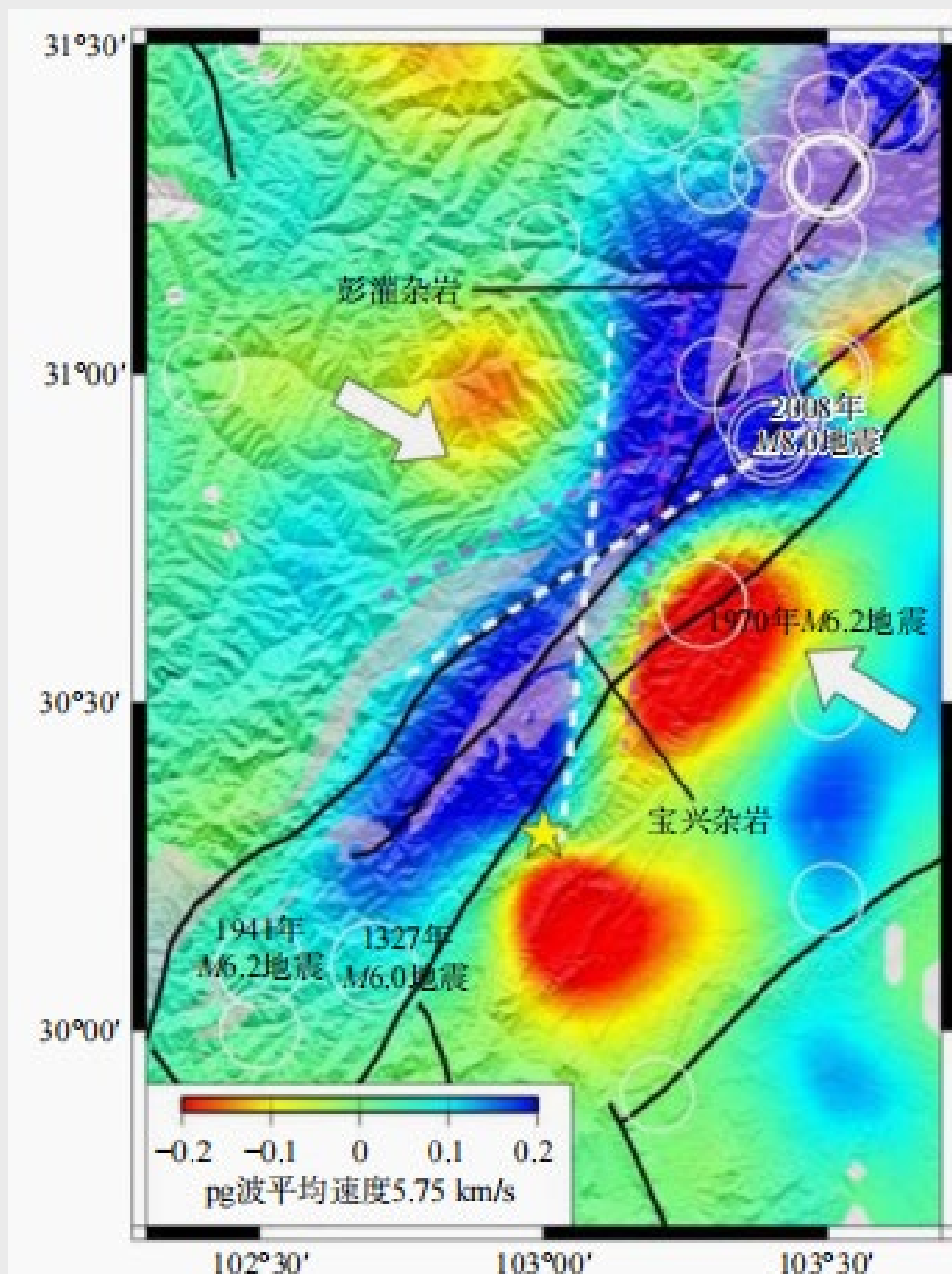


02

研究方法 与 结果

大地震震源区结构研究;
全球大地震结构研究

研究方法：大地震震源区结构研究

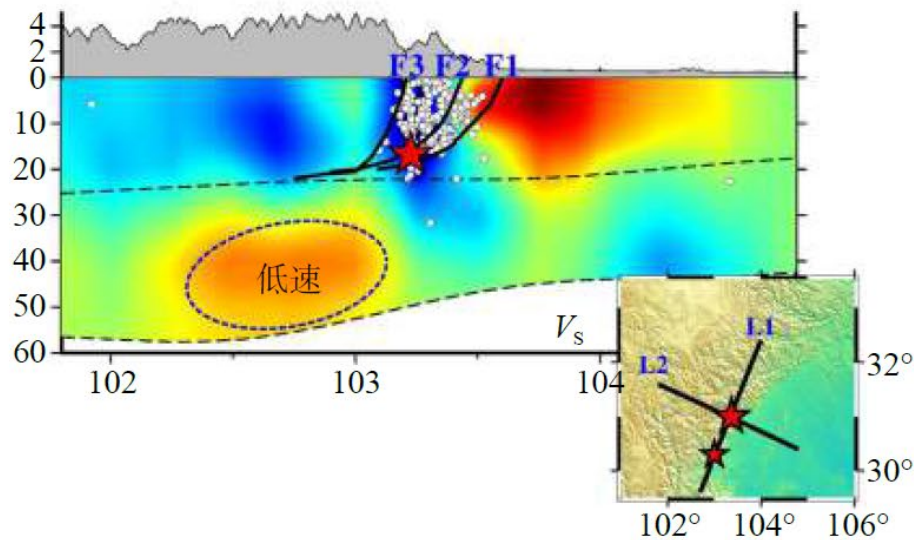
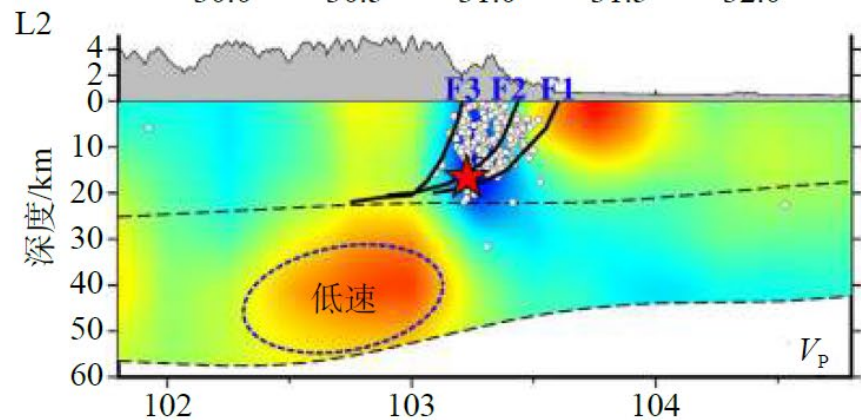
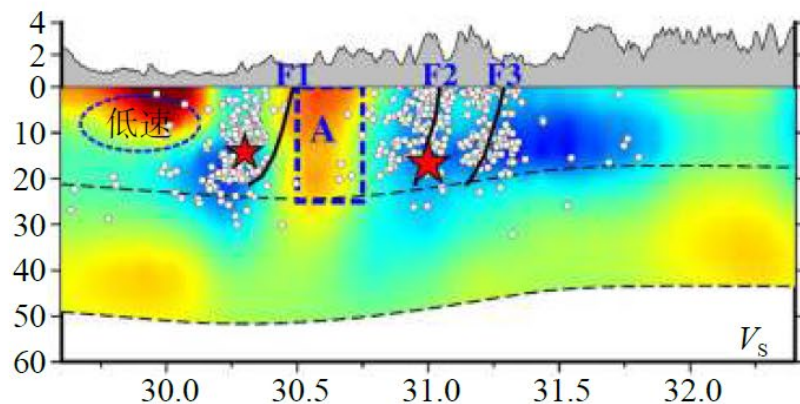
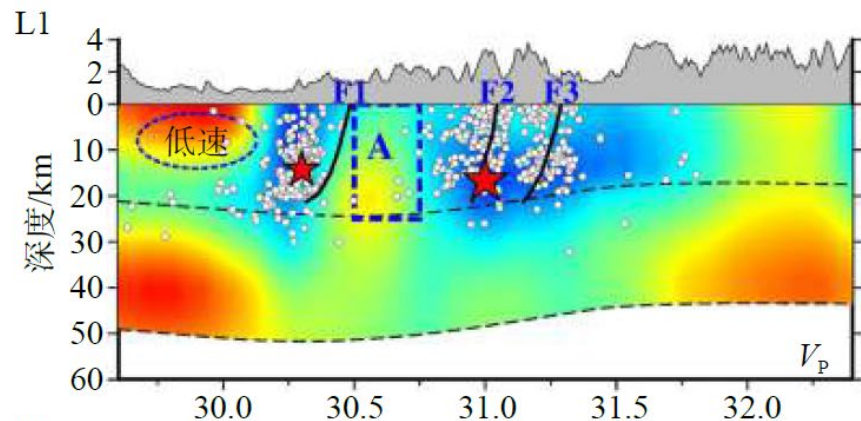


西侧：
高速异常

东侧：
低速异常

芦山Ms 7.0 地震区 Pg波速度横向分布图（改自 Pei et al, 2014）

研究方法：大地震震源区结构研究



高速异常

低速区、高波速比

流体、孔隙压力

大地电磁研究结果:

存在凹凸体

震源区附近:

低速、高波速比异常

研究结果：大地震震源区结构结果

01

速度异常

结构控制了断层面的
滑动和强余震的分布

震源区下方流体累积
会增加主震断层的发震可能

大地电磁

02



研究方法：全球大地震结构研究

震源区：

高速或高阻异常结构；

凹凸体模式→发震机制；

特例：

塑性下地壳横向侵出有关

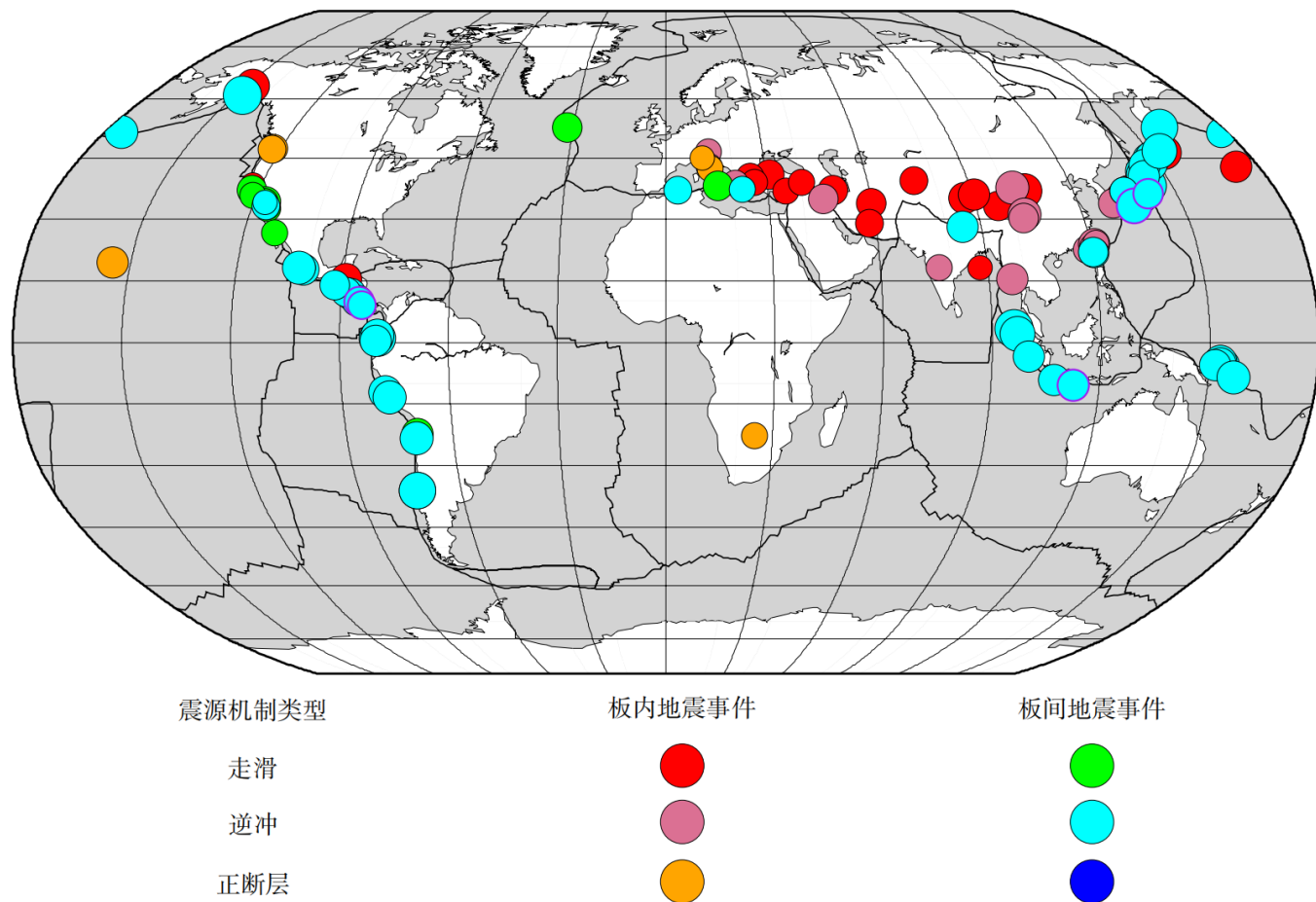
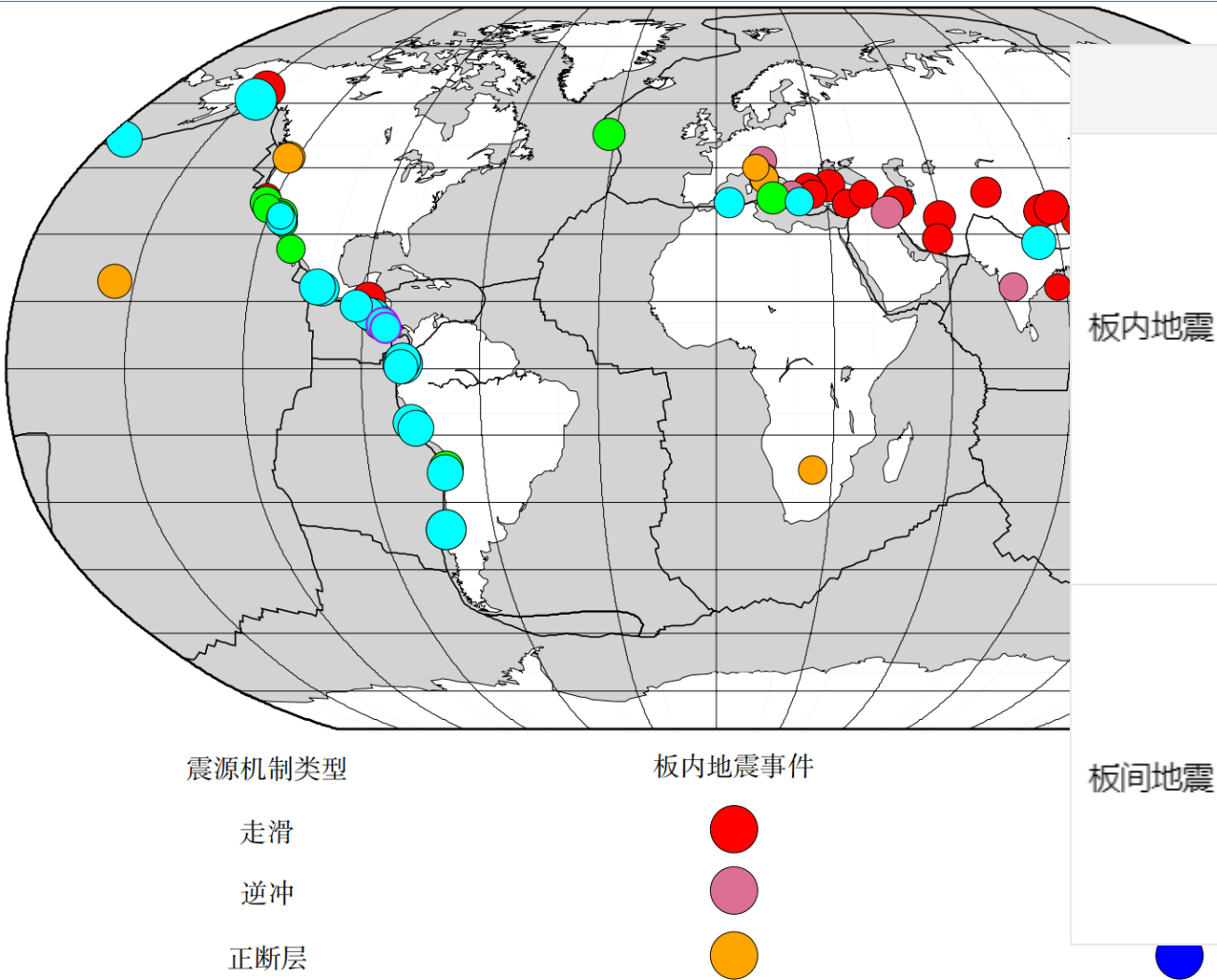


图4 全球6级以上大地震震源区凹凸体研究统计分布图. 紫色边框的圆圈代表了存在俯冲海山的地震事件

研究方法：全球大地震结构研究



	分类	数量	性质
板内地震	结构研究	17	均为高速or高阻
	破裂研究	37	单侧破裂
	逆冲性质	22	
	正断层	6	
	走滑	26	
板间地震	结构研究	14 (4个海山地震)	高速结构
	破裂过程研究	55 (1个海山地震)	单侧破裂
	逆冲	57	
	走滑	12	

图 4 全球 6 级以上大地震震源区凹凸体研究统计分布图. 紫色边框的圆圈代表了存在俯冲海山的地震事件

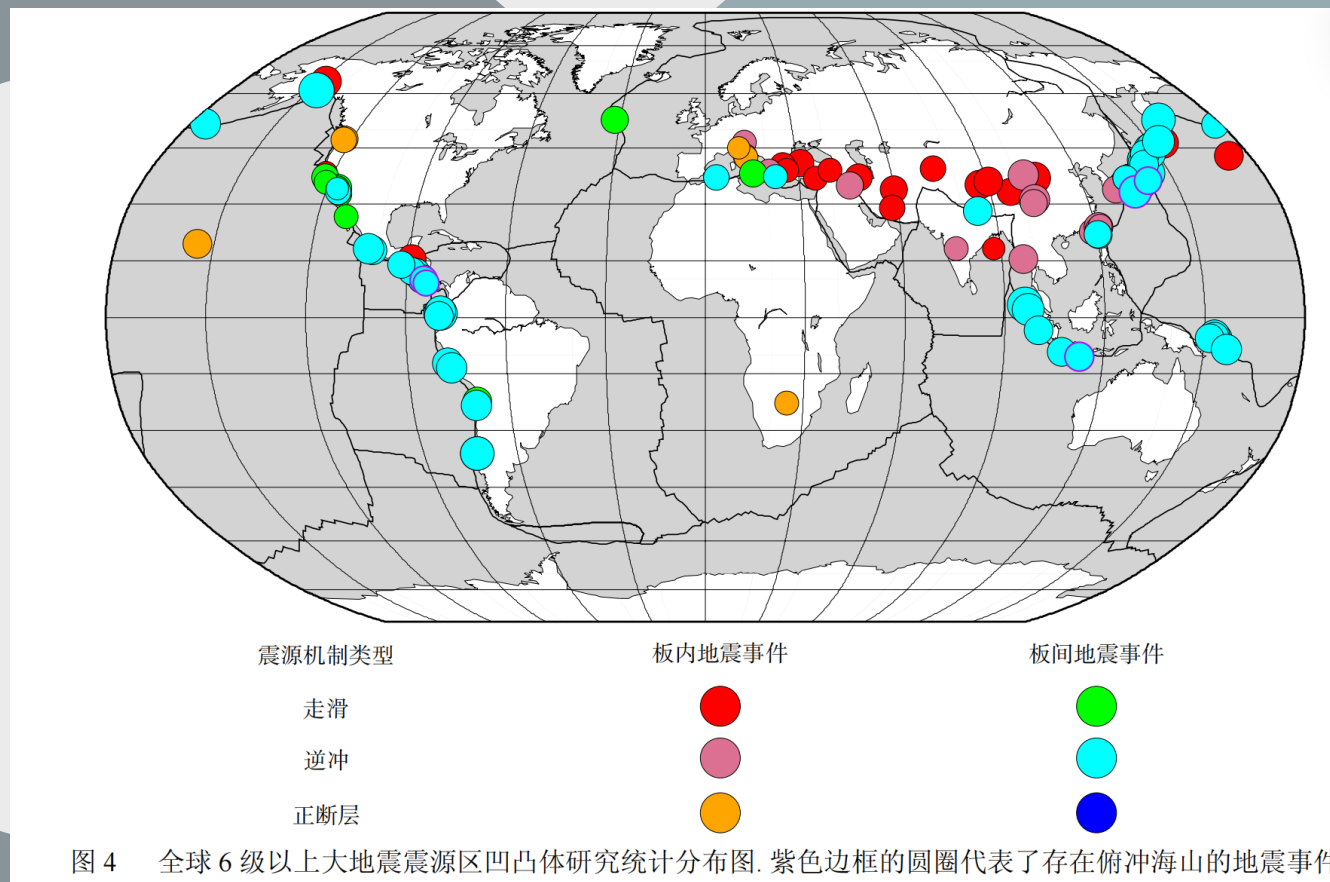
研究结果：全球大地震结构结果

海山地震

流体影响

俯冲海山

与震源机制
无关





03

分析和讨论

结构控制的发震机制讨论

凹凸体对发震机制的启示

分析和讨论：结构控制的发震机制讨论

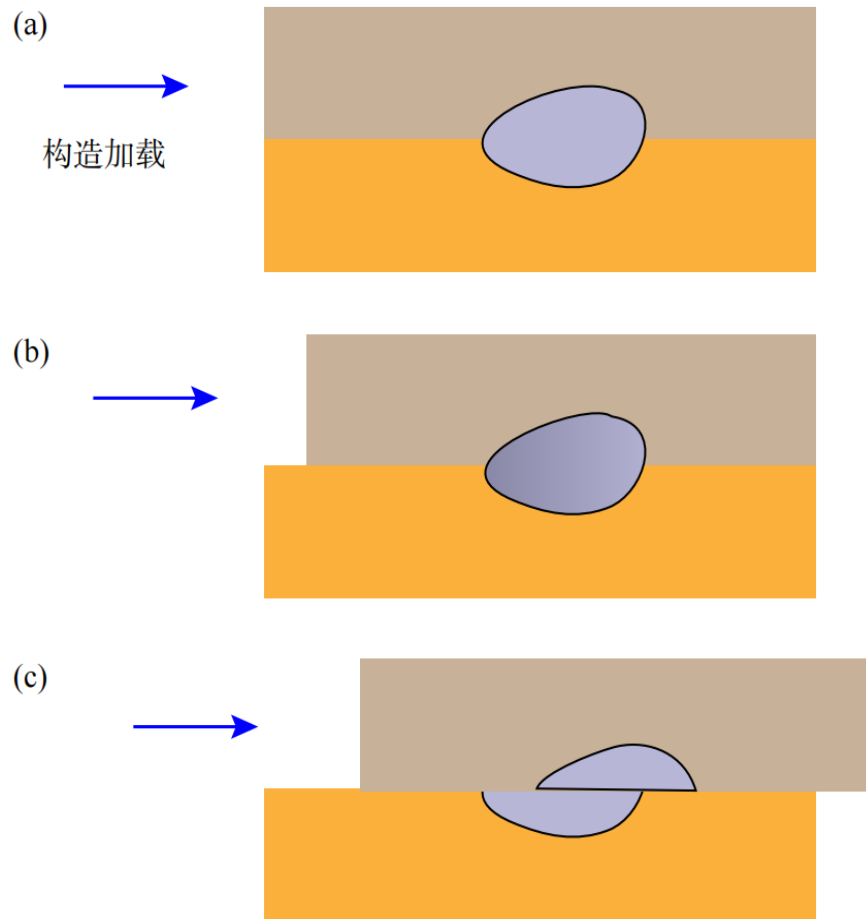


图5 大地震的孕育和发生机制示意图. (a) 初始阶段;
(b) 地震孕育阶段; (c) 地震发生之后 (修改自
[Sun et al., 2021](#))

深度
应力
强摩擦

凹凸体:
高阻结构
闭锁状态
力学性质越强
构造应力加载



应力积累

分析和讨论：结构控制的发震机制讨论

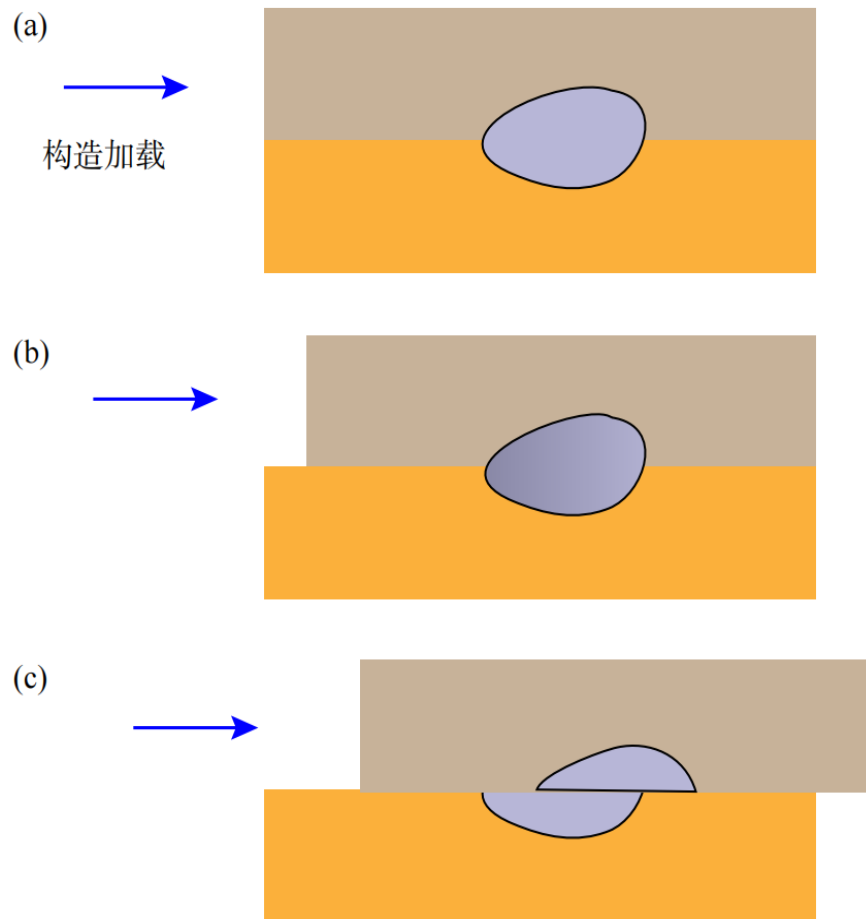


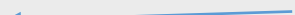
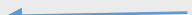
图5 大地震的孕育和发生机制示意图. (a) 初始阶段；
(b) 地震孕育阶段；(c) 地震发生之后（修改自
[Sun et al., 2021](#)）

由于低速、低阻结构与岩石性质弱、裂隙发育或局部有效应力水平低有关，其对应着较高的孔隙度、较低的岩石完整性和较弱的力学强度不利于较大应力或应变能的积累。并且流体可以降低局部岩石强度和断层的摩擦强度，从而触发地震。



应力积累

分析和讨论：凹凸体对发震机制的启示

- 1.凹凸体模式→大地震的孕育和发生过程  **高速
高阻**
- 2.流体→破裂阈值下降→触发地震  **活动断层切穿高强度结构
低速、高波速比、高导**
- 3.高分辨率层析成像、大地电磁



其他文献

1. Wesnousky, S. G. (2008). *Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture*. Bulletin of the Seismological Society of America, 98(4), 1609-1632.
2. Galvez, P., & Ampuero, J. P. (2015). Stress concentrations due to topography and stress shadows from coseismic slip. Geophysical Journal International, 203(2), 1020-1034.
3. Lasserre, C., & Avouac, J. P. (2017). *Interaction between large earthquakes and the megathrust in the Central Kuril Islands*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122(4), 2765-2783.
4. Stein, R. S., & King, G. C. (1984). *The role of shear stress in earthquakes*. Nature, 315(6016), 621-624.

相关概念

有效正应力：是指一个三维应力状态下，对于其中的某个面或某个点，对应于该面或该点上正向（即正常或法向）的最大应力值。在三维应力状态下，通常存在着三个互相垂直的应力分量，分别为 x 、 y 和 z 方向上的应力，其中最大的正应力即为有效正应力。有效正应力的大小和方向在岩石和土体力学中具有重要意义，对于岩石和土体的变形和破坏具有决定性作用。在地震学中，有效正应力也是研究地震预测、断层活动、地震危险性评估等方面的重要参数之一。

流体与孔隙压力：流体与孔隙压力之间存在密切的关系。孔隙压力是指存在于岩石或土壤孔隙中的流体（如水或气体）对孔隙壁施加的压力。以下是流体与孔隙压力之间的一些关系：

1. 孔隙压力来源：孔隙中的流体通过重力、地下水循环、地下水压力、岩石压实等过程进入孔隙。这些流体的存在会产生孔隙压力，即孔隙水压力或孔隙气压力。
2. 流体静力学：根据流体静力学原理，孔隙中的流体会在垂直方向上传递压力，即孔隙压力。这意味着孔隙中的流体压力在水平和垂直方向上基本上是相等的，因为流体可以自由地在孔隙中传递压力。
3. 孔隙压力与饱和度：孔隙中的流体饱和度是指孔隙中被流体填充的程度。当孔隙完全饱和时，孔隙压力等于流体的压力。当孔隙部分饱和时，孔隙压力与饱和度之间存在一定的关系。
4. 孔隙压力与渗透性：孔隙压力对岩石或土壤的渗透性有影响。当孔隙压力增加时，流体在孔隙中的移动能力增强，渗透性也会增加。
5. 孔隙压力与地震：孔隙中的流体压力对地震活动有影响。流体压力的变化可以导致岩石的应力状态发生变化，进而影响地震的发生和传播。综上所述，流体与孔隙压力之间的关系是复杂而密切的。了解这种关系对地下水资源管理、地质工程和地震研究等领域具有重要意义。

相关概念

单侧破裂：单侧破裂 (Unilateral Rupture) 是指地震断层在地震事件中只在一个方向上发生破裂滑动的现象。在单侧破裂过程中，断层面只在一个方向上发生相对滑动，而在另一个方向上则相对静止。通常，地震断层是由地壳中的地质构造应力引起的。当应力积累达到断层强度时，断层面会发生破裂，释放储存在断层中的应变能。在一些情况下，断层破裂的滑动只会发生在断层面上的一侧，而另一侧则保持相对静止。

构造应力：构造应力是指作用于地球内部岩石或构造体的力量或应力状态。这些应力可以由各种力的作用产生的，包括板块运动、地壳变形、岩石体积变化等。

构造应力是地壳中产生和维持地质构造的主要驱动力之一。它们对岩石和构造体的形变和破裂产生影响。构造应力通常被分为三种类型：

压应力 (Compressive Stress)：指作用于岩石或构造体内部的压缩力或压缩应力。这种应力使岩石受到挤压，有助于形成褶皱、断层和山脉等构造。

张应力 (Tensile Stress)：指作用于岩石或构造体内部的拉伸力或拉伸应力。这种应力导致岩石发生延展和破裂，形成裂隙、断裂和断层。

剪应力 (Shear Stress)：指作用于岩石或构造体内部的剪切力或剪切应力。这种应力导致岩石的剪切变形，引发断层滑动和地震活动。

构造应力的大小和方向对地壳中的构造演化和地震活动具有重要影响。研究和理解构造应力的分布和变化可以揭示地壳变形和构造演化的机制，以及地震发生的潜在危险区域。

地震矩：地震矩 (Seismic Moment) 是衡量地震能量释放大小的物理量。它是描述地震破裂过程和地震波能量传播的重要参数。地震矩与地震破裂面积、滑动位移和岩石弹性模量等因素相关。



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

感谢您的聆听

汇报：李景
PPT制作：张翼
时间：2023/4/24