

地震构造与地震预测进展

构造带结构不均匀性与地震预测

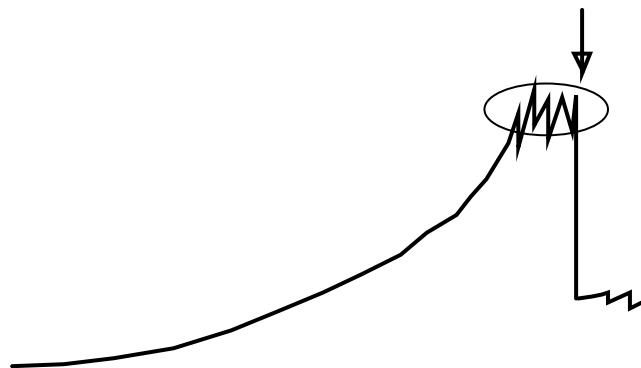
田勤俭

中国地震局地震预测研究所

地震预测研究

- 1) 地震构造
- 2) 孕震过程监测
- 3) 地震前兆监测

震源



地震地质

活动构造研究与调查的方法和理论

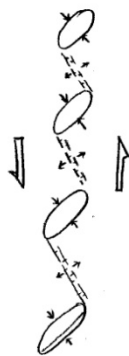
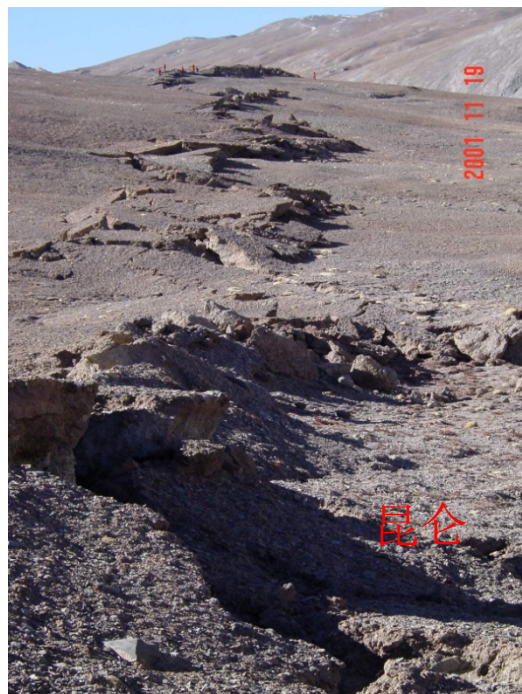
区域活动构造与动力学

活动构造与地震的关系

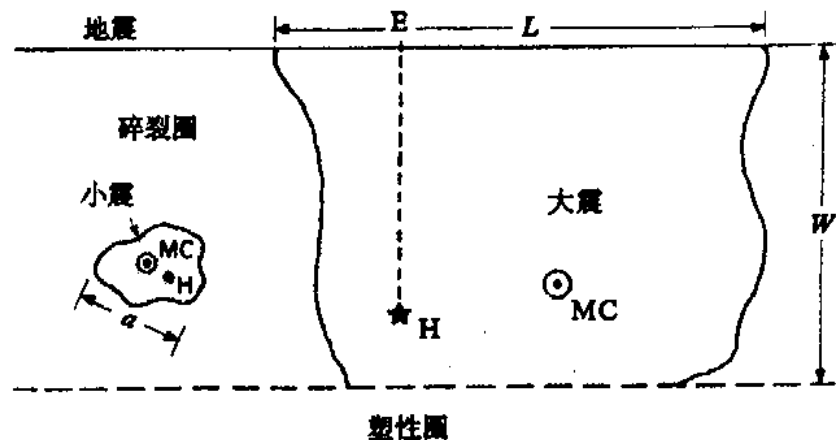
寻找震源

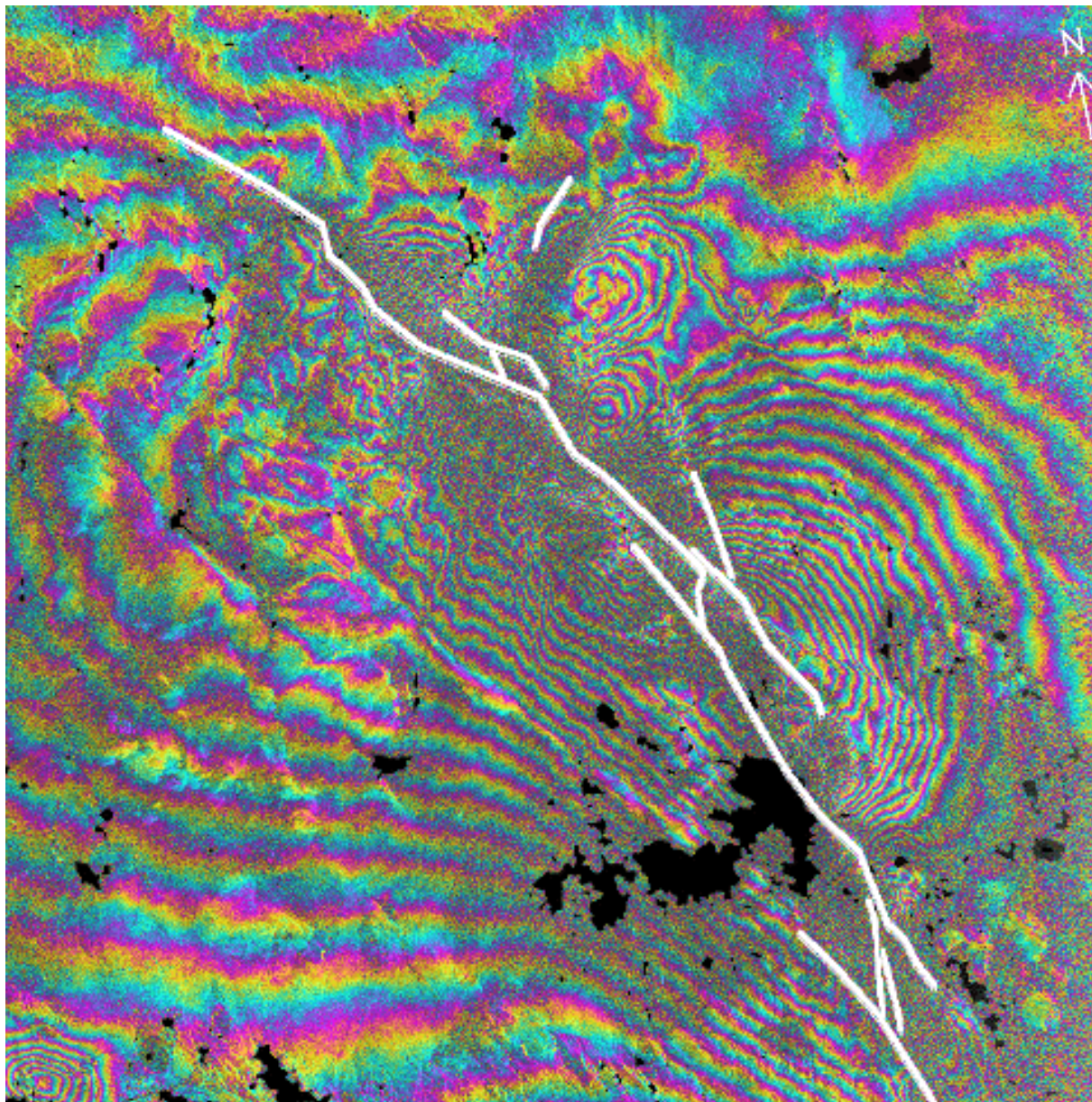
地震地表破裂带

1891年日本浓尾地震
1906年旧金山地震



地震鼓包和裂缝组合
示左旋走滑





1992, Landers

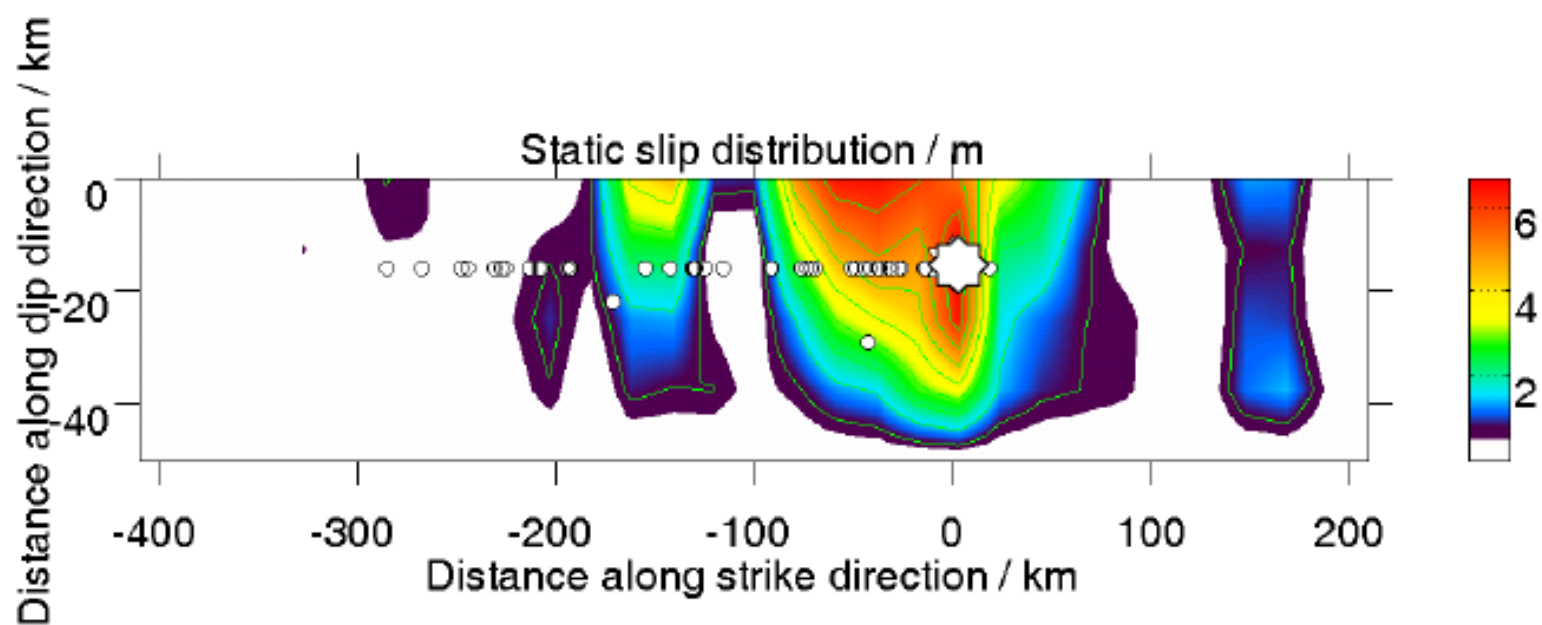


图 13 断层面的静态位错分布。白色八角星表示震中，小圆点为余震在断层面的投影

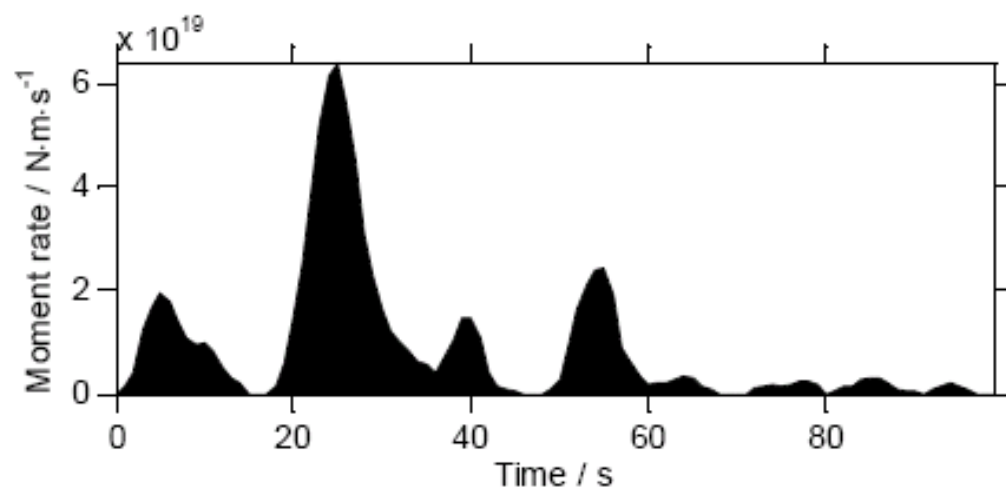


图 14 地震震源时间函数

许力生等,

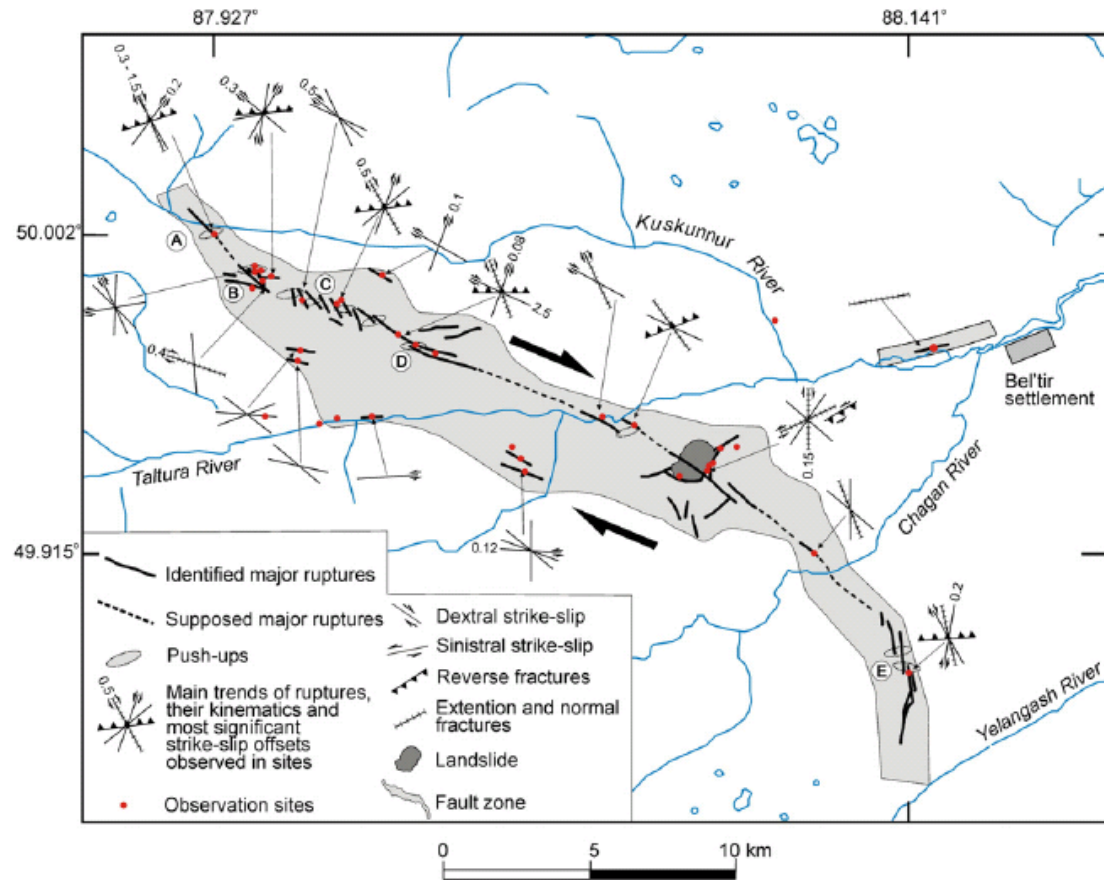


Fig. 14. Geometry of the primary surface ruptures produced during the Chuya earthquake. Capital letters in circle show locations of maps represented in Fig. 15a, b, c, d, and e, respectively.

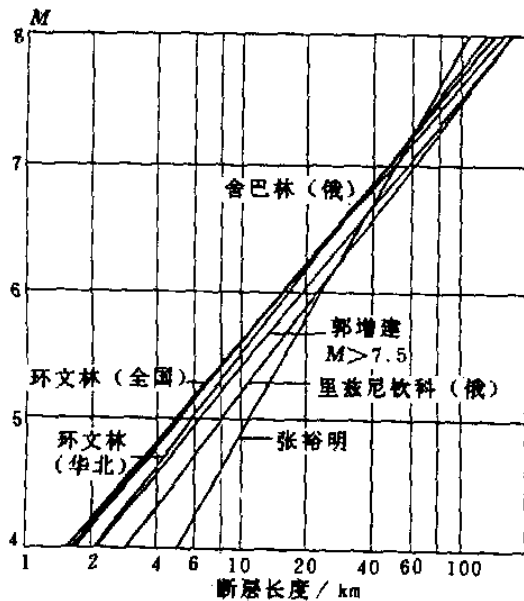
地震破裂的综合研究

地震地表破裂带
震源破裂过程
地表变形场（Insar）

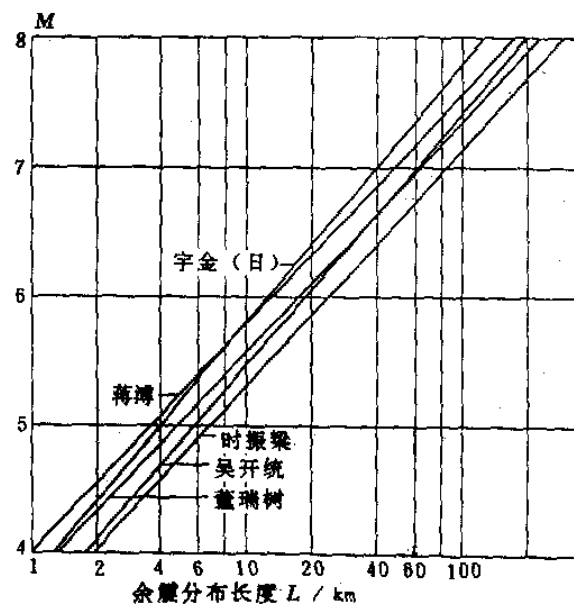
小地震监测
GPS监测

震源破裂特征的定量化

活断层分段与震级最大评价



中国及邻区断层长度与震级关系



中国及邻区余震分布长度与震级关系

张立人 (1993) 得到的地震震级与破裂长度的统计关系为:

$$M_s = 4.278 + 1.653 \log L; \quad (1)$$

其中 L 为破裂长度, 单位: 公里;

Slemmons (1980) 得到的走滑断层地震震级与地震的最大位错量的统计关系为:

$$\text{走滑断层: } M_s = 6.974 + 0.804 \log D \quad (2)$$

其中, D 为最大地表位移, 单位: 米。

震级: M ; 破裂长度: L ; 位错量: D

地震与断层

地震是物理现象
地震是地质现象

李四光

朝菌不知晦朔，蝼蚁不知春秋

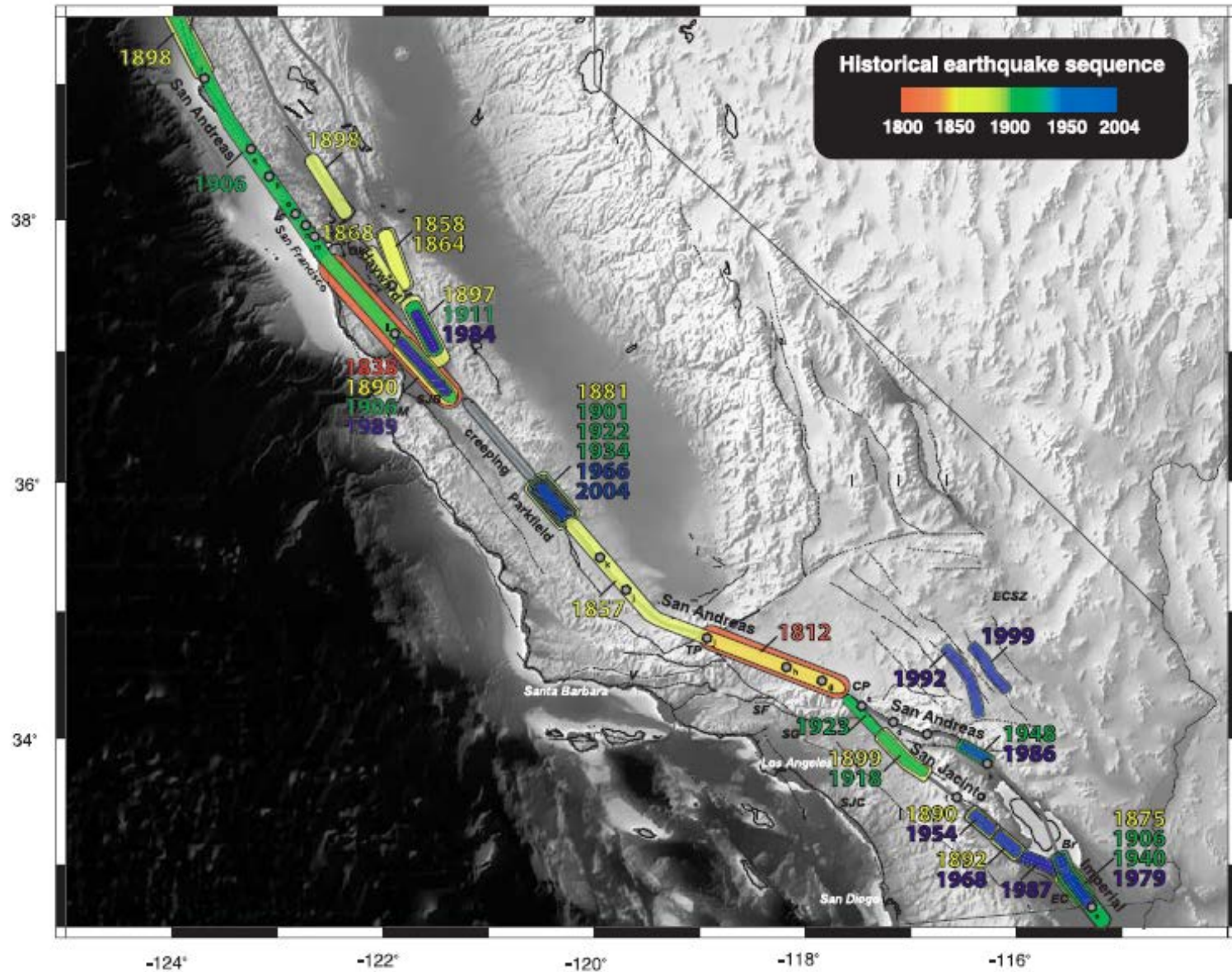
(庄子-逍遥游)





地震重复与古地震序列

活断层上的地震



活断层分段 理论基础

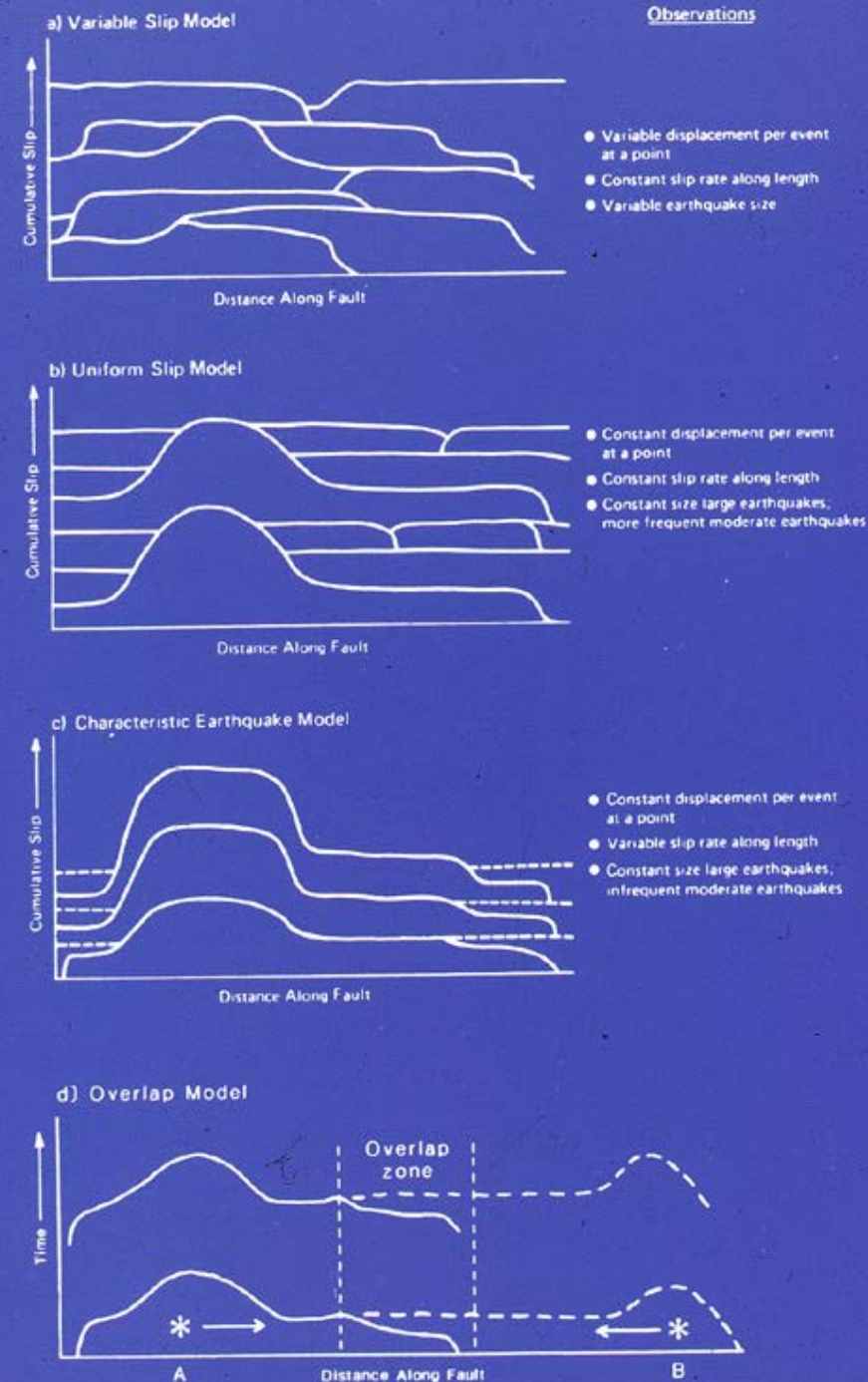
特征地震

地震空区

累积滑动亏损

障碍体

丁国瑜，田勤俭等，1993，活断层分段——原则方法及应用。地震出版社。



对分段理论的质疑?

- Segment model never predicted anything successfully.
- Segment boundaries not defined properly
 - As mapped: place where something changes or changed at least once along fault
 - As applied: impenetrable barrier
- Earthquakes don't stay on faults, let alone on segments
- Segment model leads to demonstrably wrong conclusions about magnitude distribution, unless very generous allowance is made for alleatory uncertainties.

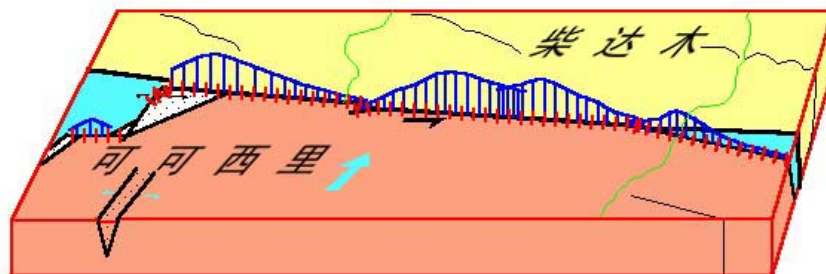
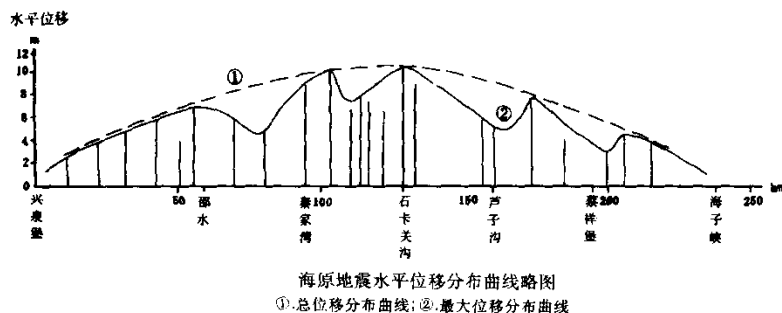
David D. Jackson,

1、昆仑山地震提出的问题

两种类型大地震的位移分布特征

位移分布基本满足抛物线型分布特征；
水平位移亏损的地段有较大的垂直位移分量；

位移分布表现为位移量接近的多峰分布；
接合区水平位移和垂直位移都很小；



独立的次级破裂

平均线应变： $\varepsilon = D'/L$

3×10^{-5} （陈培善，1977）、

1.25×10^{-5} （走滑断层）和

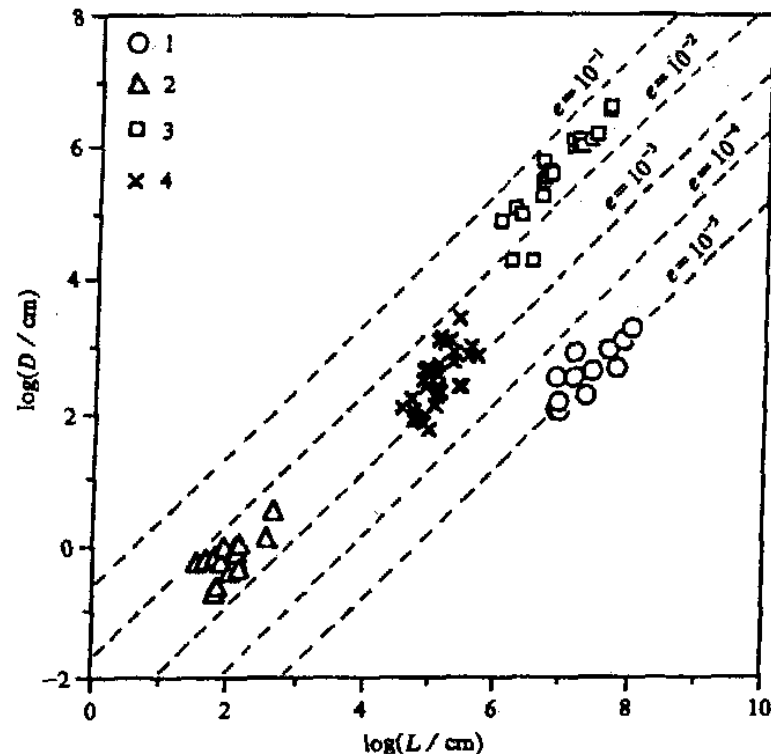
2×10^{-5} （逆断层）(Scholz, 1982)、

5×10^{-5} （张郅珍等，1991）

$D' = (2/3)D$;

$\varepsilon = (2/3)D/L$

$\varepsilon = (2.82 \pm 0.99) \times 10^{-5}$ （张立人，1993）

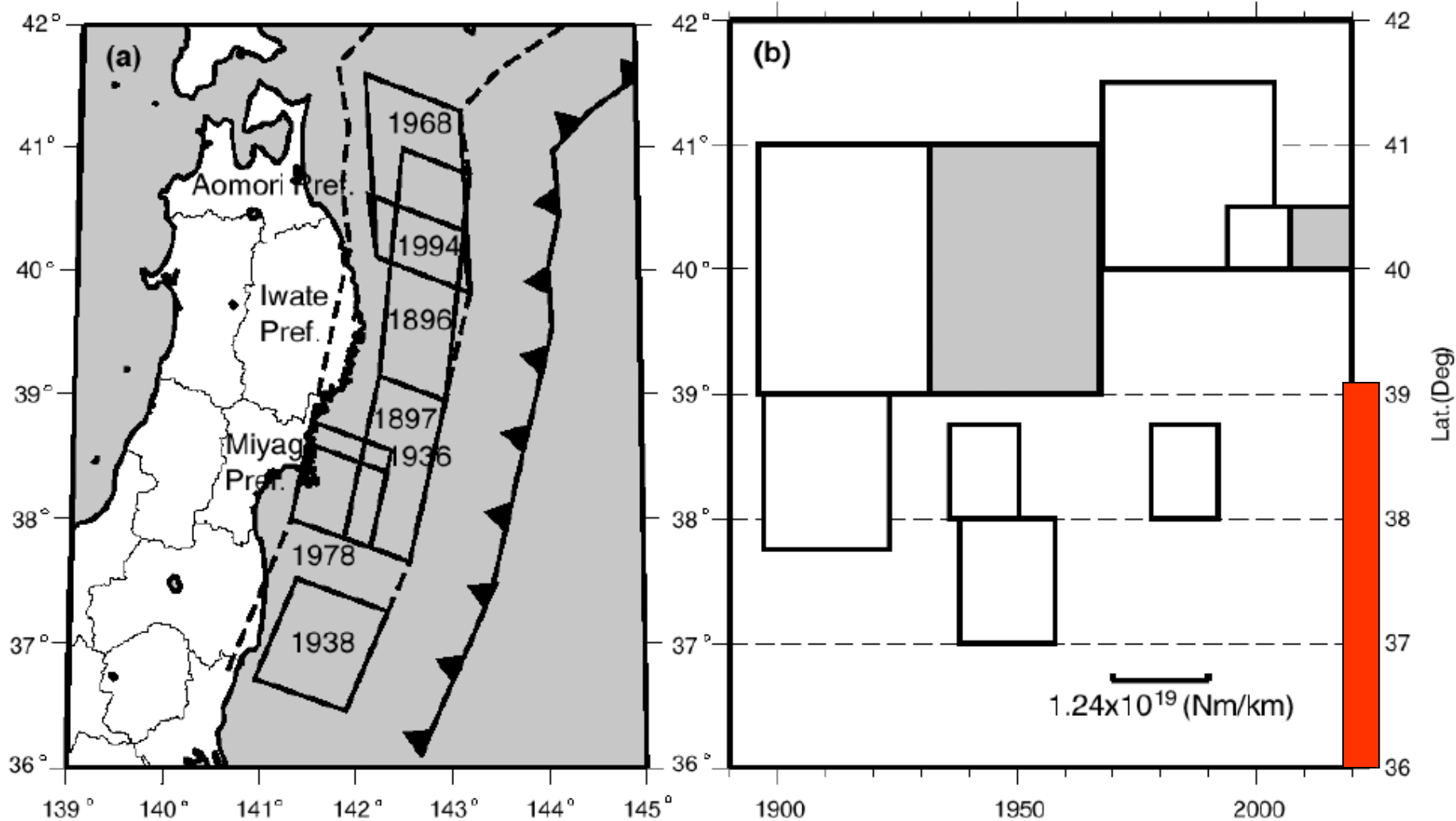


不同构造环境下几组资料的最大总断距 D 和长度 L 的关系。虚线为恒定应变线。资料来源为：苏格兰 MOine 逆断层, Elliott (1976); 英国煤田断层, Walsh 和 Watterson (1988); 日本湖相沉积中的断层, Muraoka 和 Kamata (1983)。单次逆断层地震的资料也表示在上面, Scholz (1982)

1. 逆断地震; 2. 湖积物中的断层; 3. 莫伊内逆断层; 4. 煤田断层

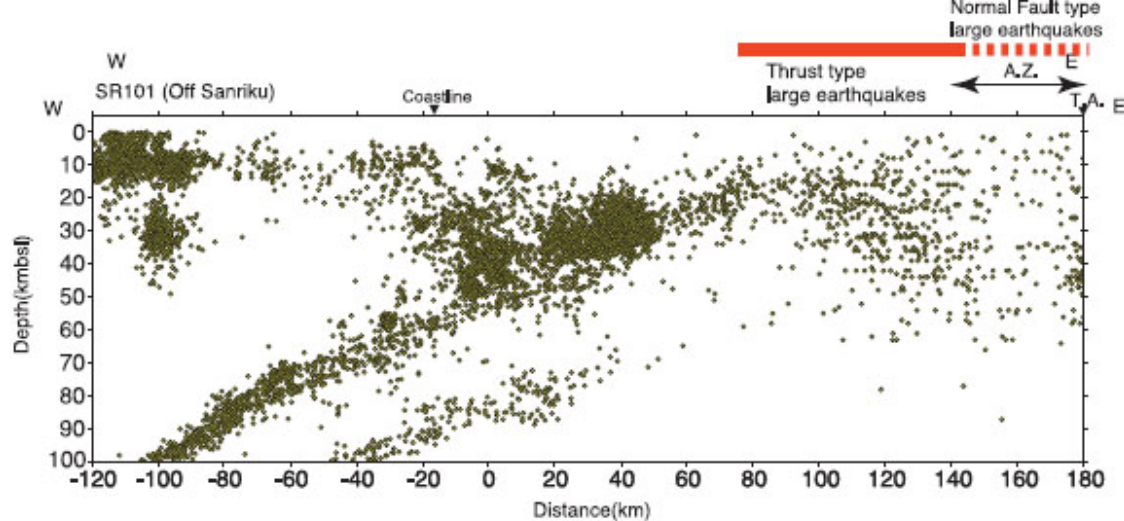
该参数可用于检验破裂分段的独立性

2、日本大地震提出的问题



9级地震破裂贯穿日本海沟中南部

Hisashi Suito,



大地震位置

Seiichi Miura,

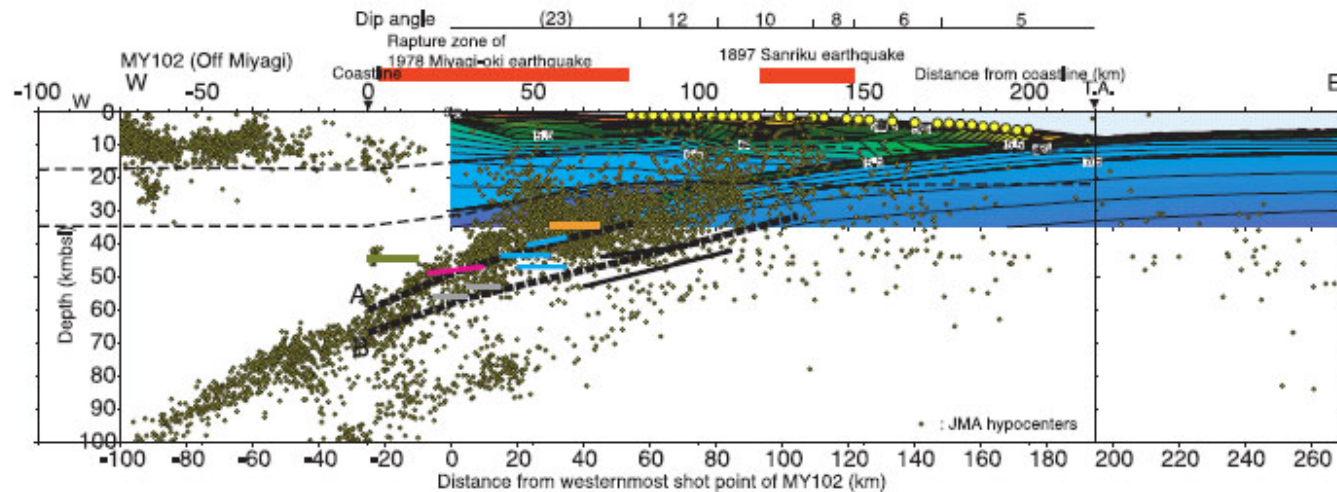
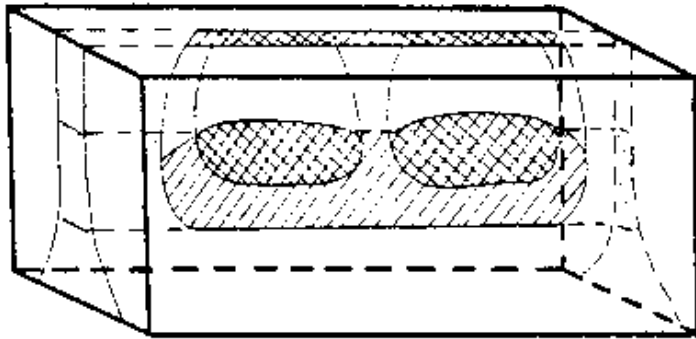
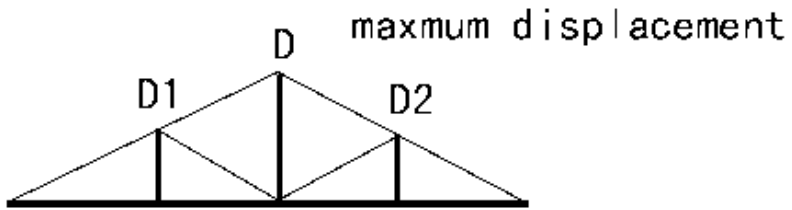
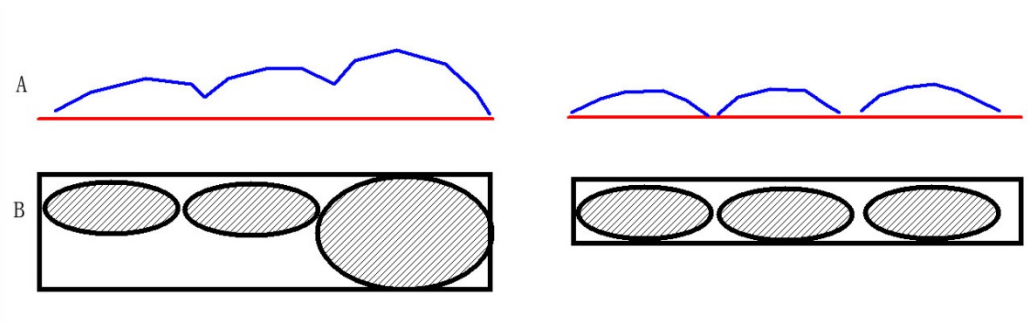


Figure 5. Background seismicities and rupture zones of M7 class earthquakes. Yellow dots are hypocenters determined by Japan Meteorological Agency (JMA) from 1977 to 2001. Red solid and broken lines indicate rupture zones of M7 class earthquakes with mechanisms of thrust type and normal fault type, respectively. Horizontal and vertical axes are distance from the westernmost airgun shooting point (km) and depth below sea level (kmbsl). (a) Seismicity off Sanriku region along a seismic line of SR101 (Takahashi et al., 2002) within 50km. A.Z. indicates the aseismic zone suggested by earthquake observation studies (e.g., Nishizawa et al., 1992). T.A. is the location of trench axis. (b) Seismicity off Miyagi along the seismic line of this study (MY102) within 50km. The velocity model of Fig. 3 is superimposed. Colored lines are reflection events observed by land stations and dotted lines with A and B are suggested upper and lower interfaces of oceanic crust (Ito et al., 2002).

最大地震与断层构造单元关系



影响最大破裂单元的因素



A. Distribution of displacement; B. Asperity in fault

总结与应用讨论

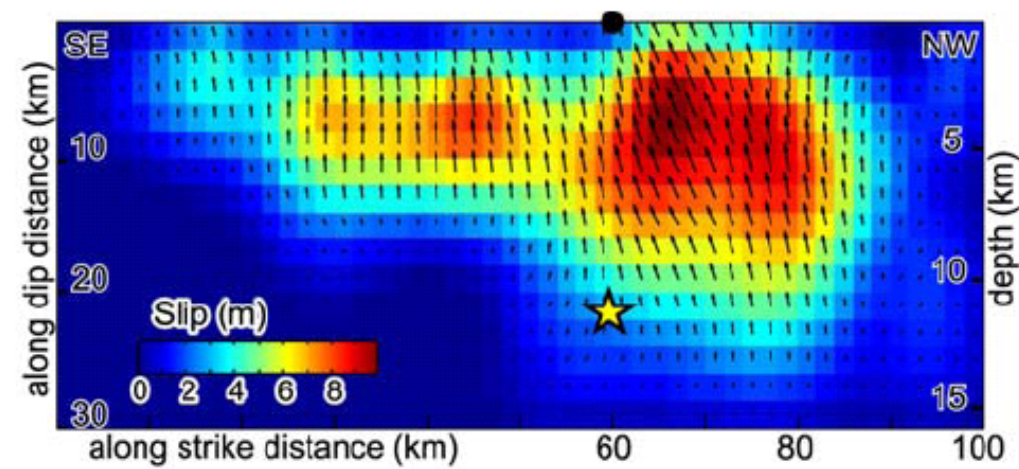
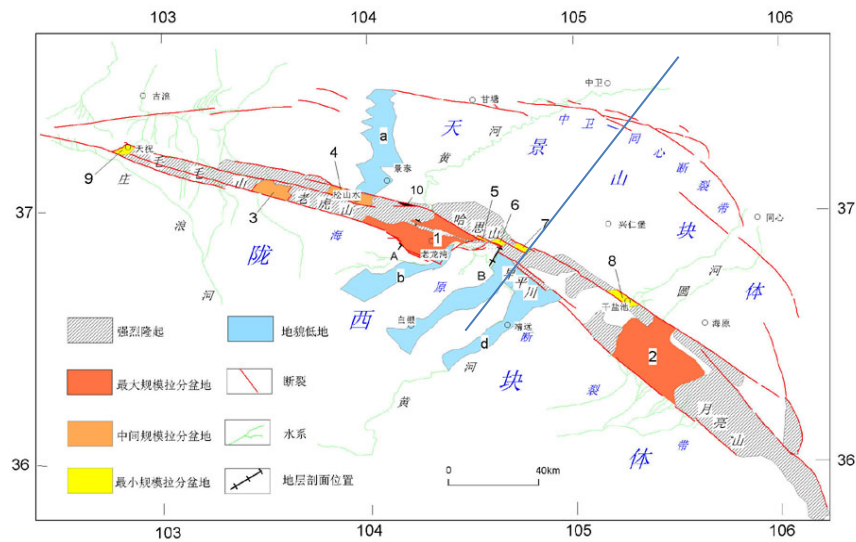
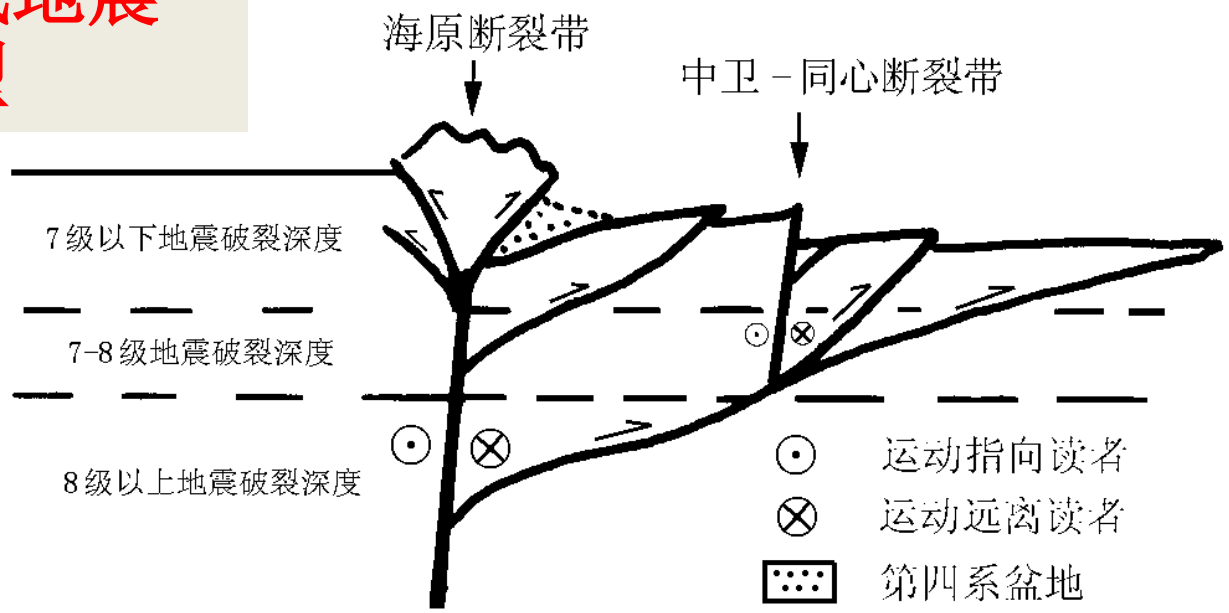


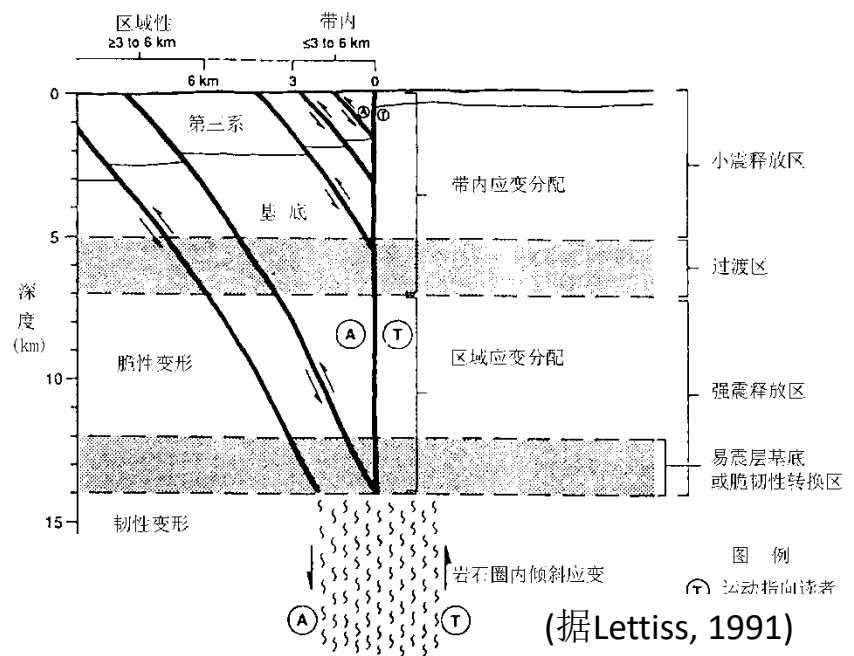
Figure 4. Slip distribution for a fault plane 100 km long, 30 km wide and dipping 31.5°NE (see location on Figure 3), inverted from the azimuth and range offset data sets. Magnitude of displacement is represented by color and slip vectors by the arrows. The star is the projection on the fault plane of the NEIC epicenter. The black dot represents the city of Muzaffarabad.

最大震级与最大独立破裂单元的尺度相关——破裂深度和均匀度

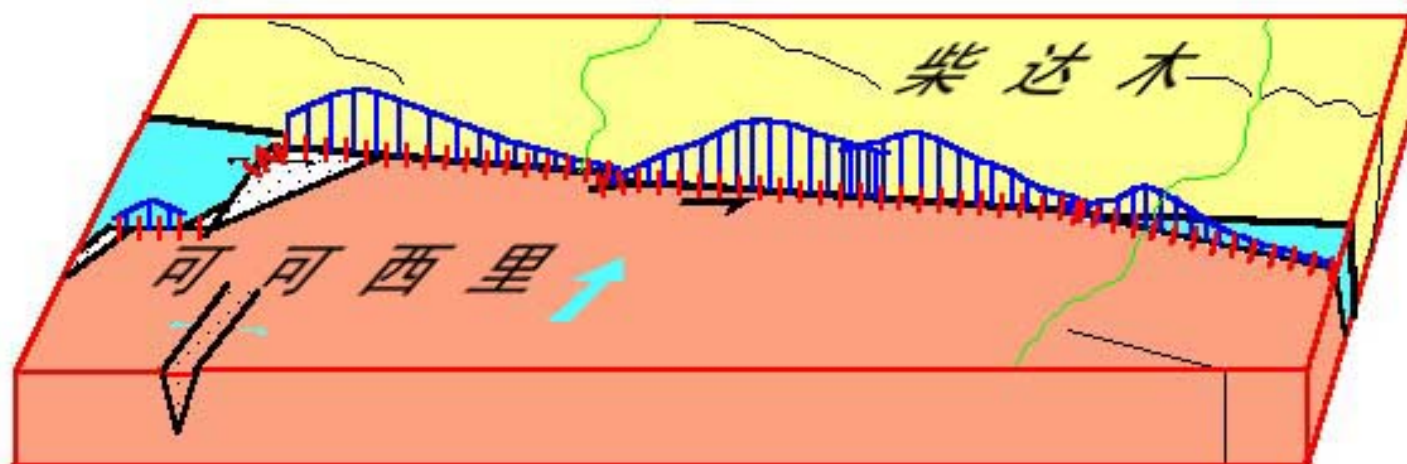
建立区域地震构造模型



沿海原断裂带的拉分盆地序列



地震破裂的不均匀性



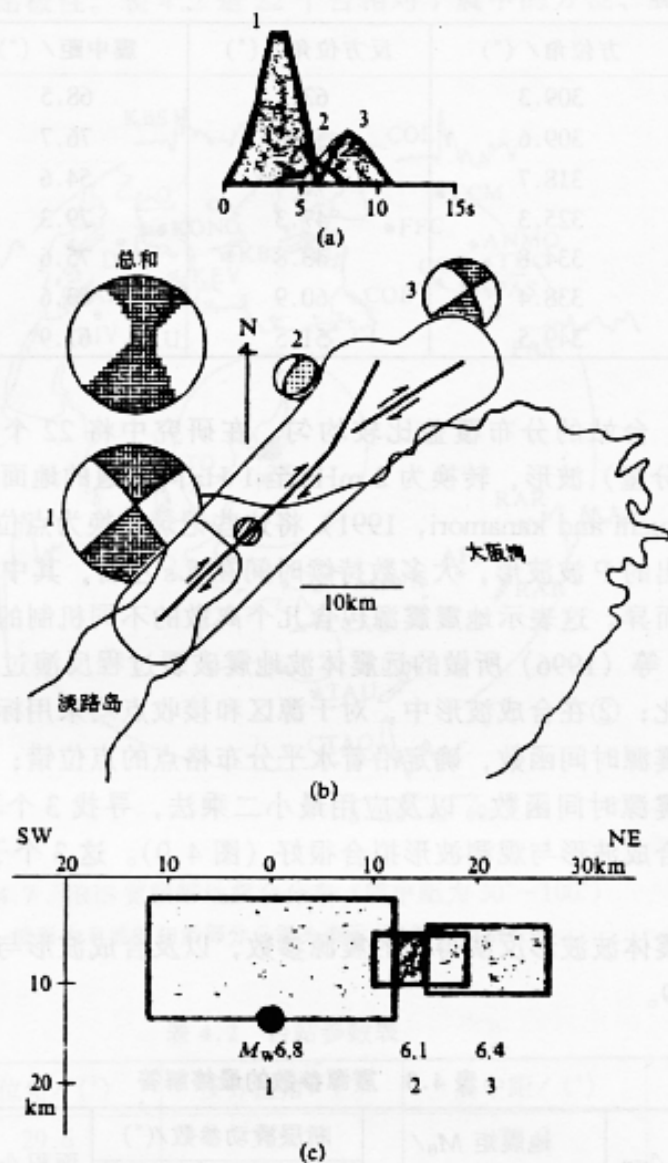


图 4.8 远震体波反演的最终结果

(a) 3 个子事件的矩速率函数 (粗线) 及其总和 (细线); (b) 断层痕迹的空间分布 (阴影区表示其位置的不确定性, ± 5 km), 3 个事件及总和事件的震源机制解; (c) 表示推断的沿着北东-南西走向断层段的垂直剖面

位移分布的
不均匀性单元

• 断层滑动面上的结构和介质不均匀

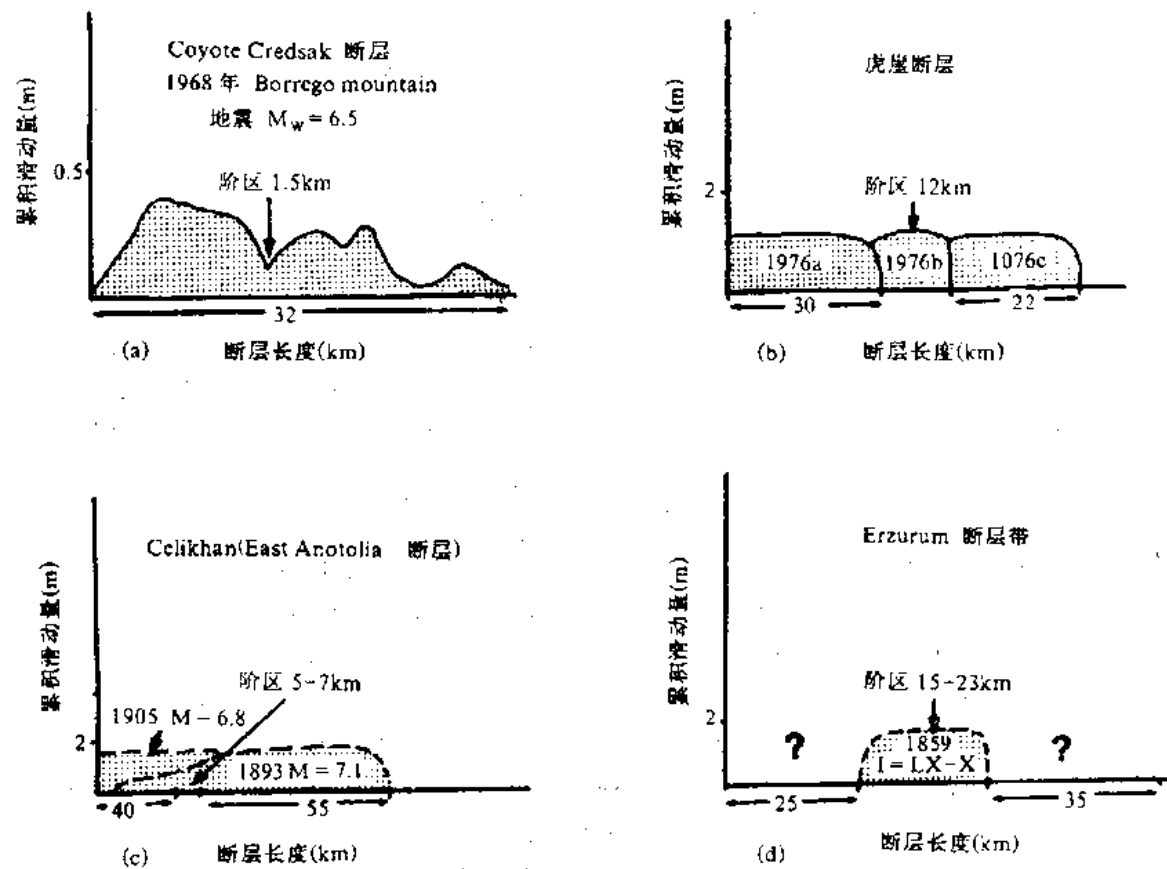
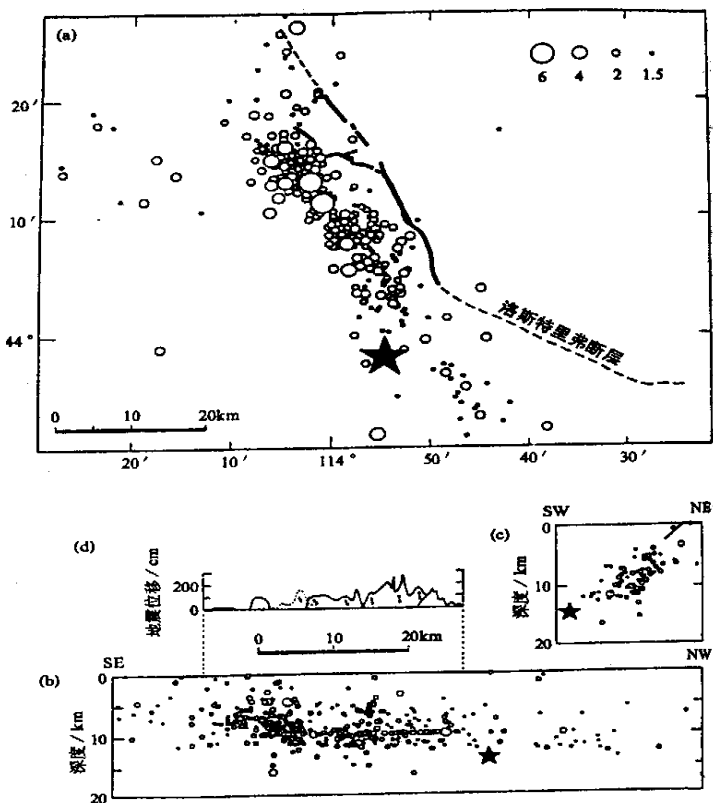


图 7 文中讨论的 4 个挤压阶区破裂特性的综合概括

各国是据Schwartz和Coppersmith (1984) 提出的滑动模型作出的。(a) 1968年Borrego地震时地壳滑动部分地被 Ocotillo Badland 阶区所阻止; (b) 松潘地震序列由三个明显分离的事件构成, 不过缺乏地表观察资料; (c) 从 1893 年和 1905 年地震的烈度图我们得出以下认识: 1905 年地震弥补了 1893 年地震破裂带一端的滑动欠缺。我们推测 1893 年地震的滑动被阶区所阻止; (d) Erzurum 阶区每一侧的走滑断层各段在未来的某个时间将会发生破裂

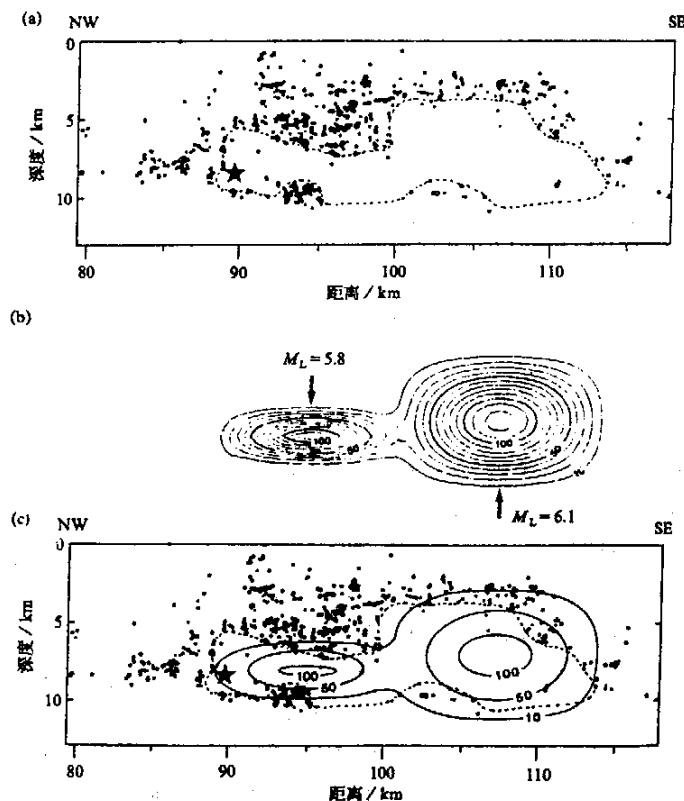
断层结构对余震的控制

余震发生在主破裂区以外



爱达荷 Borah Peak 1983 年地震的余震和断层作用。

(a) 分布图；(b) 与断层平行的剖面；(c) 与断层垂直的剖面；
(d) 地表滑距（详见图 3.31a）（资料来源于 Richins 等，1987；
Crone 和 Machette，1984；图源自 Nabelek，待发表）



1984 年 Morgan Hill (加利福尼亚) 地震的余震和滑距，这次地震是 Hayward 断层上一次走滑地震。(a) 断层上的余震分布，表示主震震源（星号）和破裂边界，由 Cockerham 和 Eaton (1984) 推得；(b) 该序列中两次主要地震滑距分布的模拟结果；(c) a、b 两图的叠加（据 Bakun, King 和 Cockerham, 1986）

余震常发生在破裂引起的应力增加区：

断层端部；

断层内部因结构复杂引起的变化区

未破裂或低滑动区边缘或滑动梯度区

远离断层的软弱区

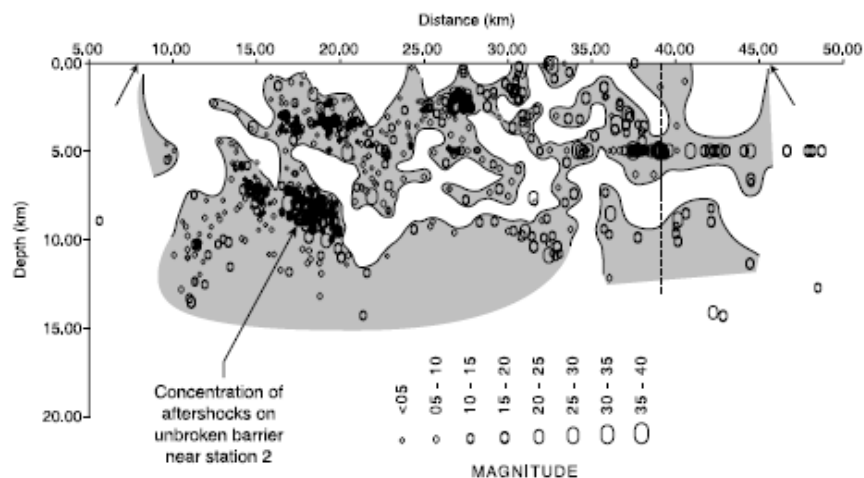


Figure 4. Hypocenters of the magnitude 6.4 28 June 1966 Parkfield, California, earthquake projected onto the vertical fault plane, based on the data of *Eaton et al.* [1970]. The hypothetical boundary between slipped regions (regions with no aftershocks, shown unshaded) and the unbroken areas (region with aftershocks, shown shaded) was drawn by *Aki* [1979]. The ends of the zones of surface fracture are shown by arrows. The vertical dotted line indicates the approximate position of the main shock epicenter. Note the concentration of aftershocks on the unbroken barrier near station 2.

断层类型对余震的影响：

$$N(t) = \frac{K}{(t + c)^p},$$

根据全球大于7级地震震例，逆断层与走滑断层相比，余震数量 K 指数和背景地震速率明显高，余震数量及线密度衰减指数 p 、 μ 指数则低。

这可能是由于逆断层具有更多的分支，走滑断层具有更大的应变不均匀性。

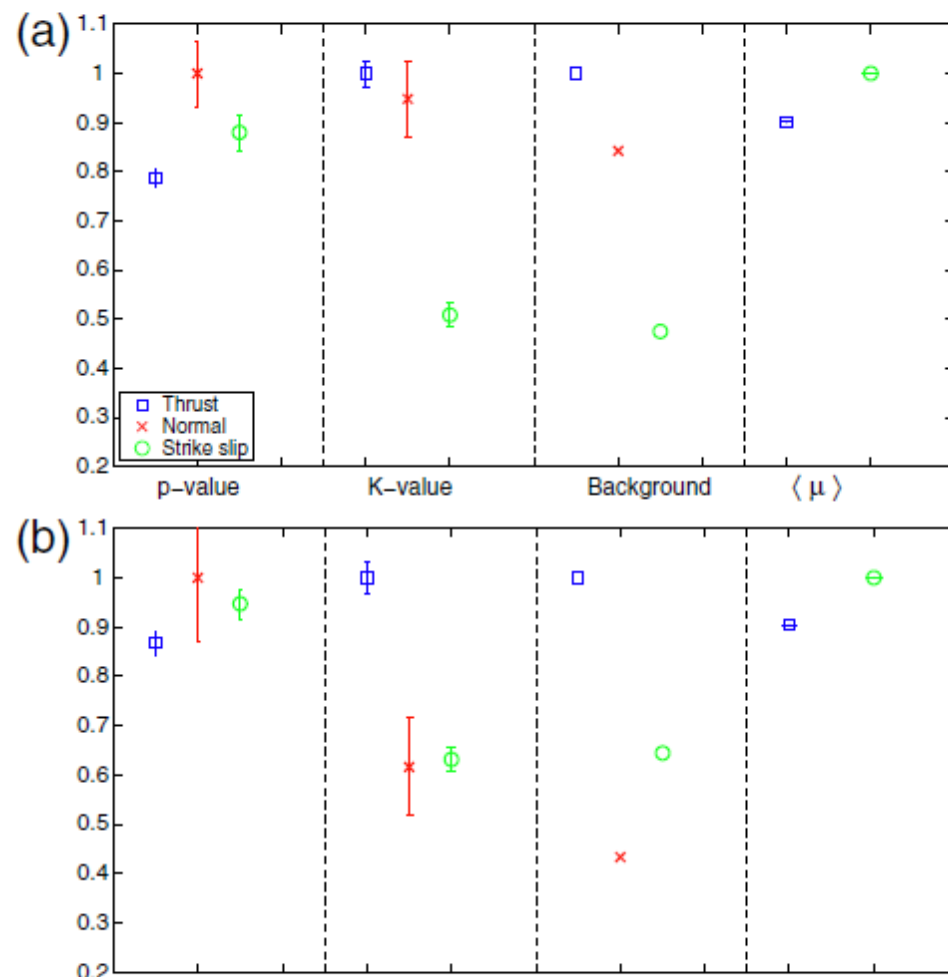


Figure 9. Aftershock parameters as a function of faulting style: fault-plane solutions from the (top) CMT and (bottom) USGS catalog. Each value is normalized value (e.g., $p^* = \frac{p_{T,N,SS}}{\max(p_{T,N,SS})}$). The color version of this figure is available only in the electronic edition.

断裂复杂程度与余震数量

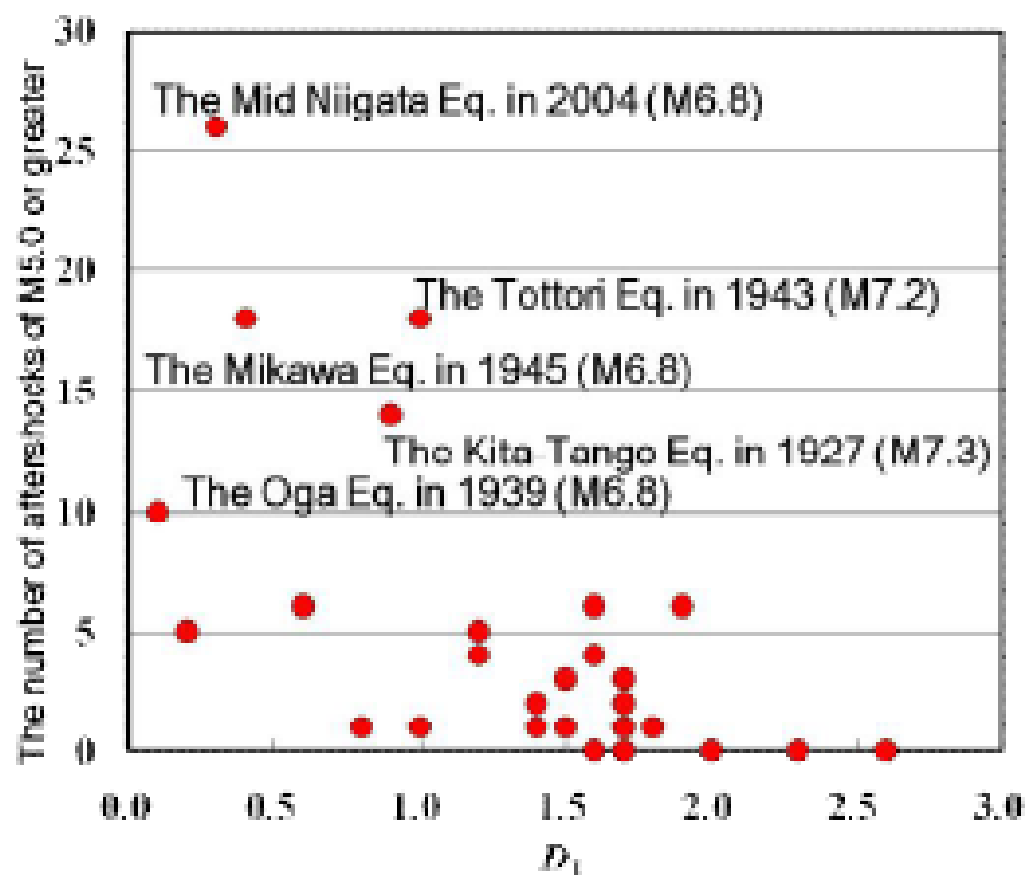


Fig. 1. The numbers of aftershocks of M5.0 or greater is plotted as a function of D_1 for 30 inland earthquakes of M6.5 or greater which occurred in Japan.

不均匀尺度问题

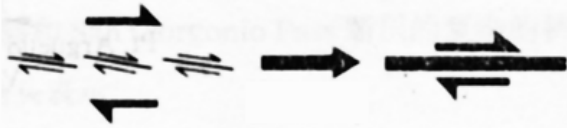


图2 实验室观测及零星的野外观测表明，在走滑断层发育初期，从平面上看，它们以离散的羽列状断层段为特征，当这些断层段连起来时，便形成了断层带；同时观察资料表明，随着地质史上连续的水平位移的积累，断层段落最终并合起来，并调整沿主要的贯通断层的位移。

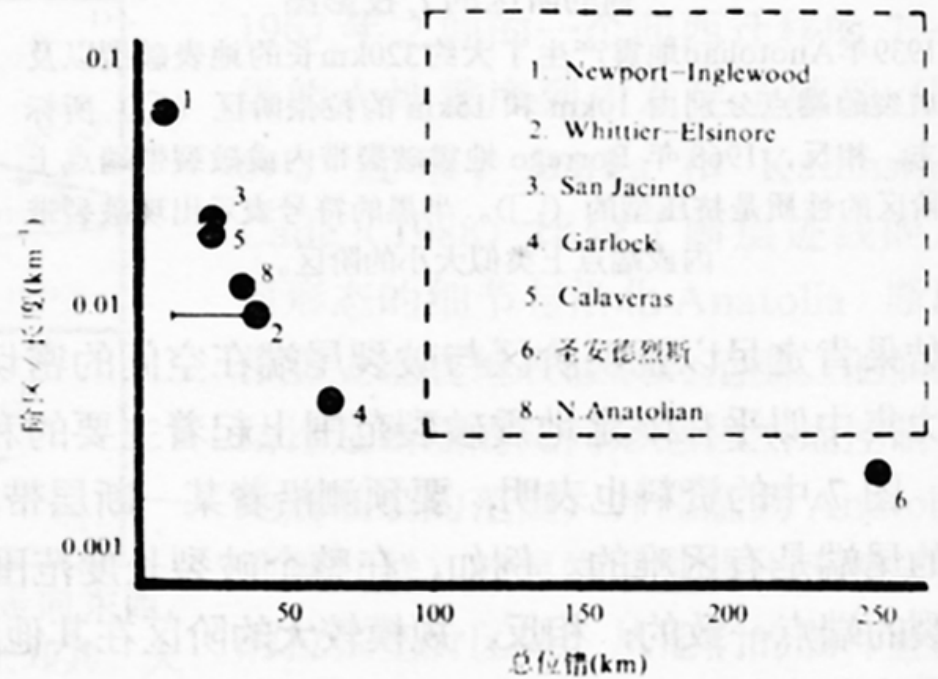
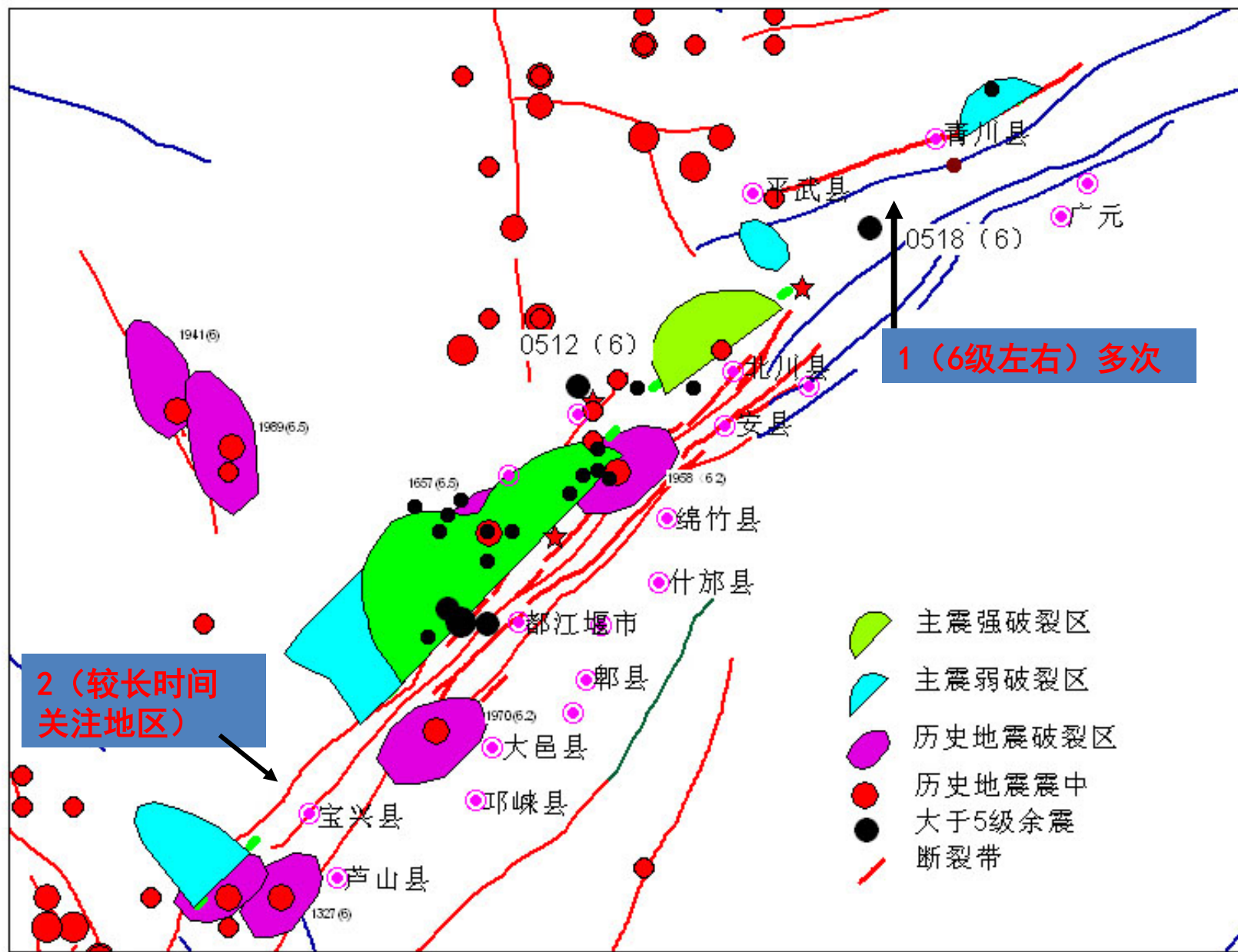


图9 表1中加利福尼亚和Anatolian断层带断层迹线每单位长度的阶区 ($l_s > 1\text{km}$) 与累计的地质水平断错的投影



强余震位置预测图

寻找震源体中的关键词

地震地表破裂带

活动断层

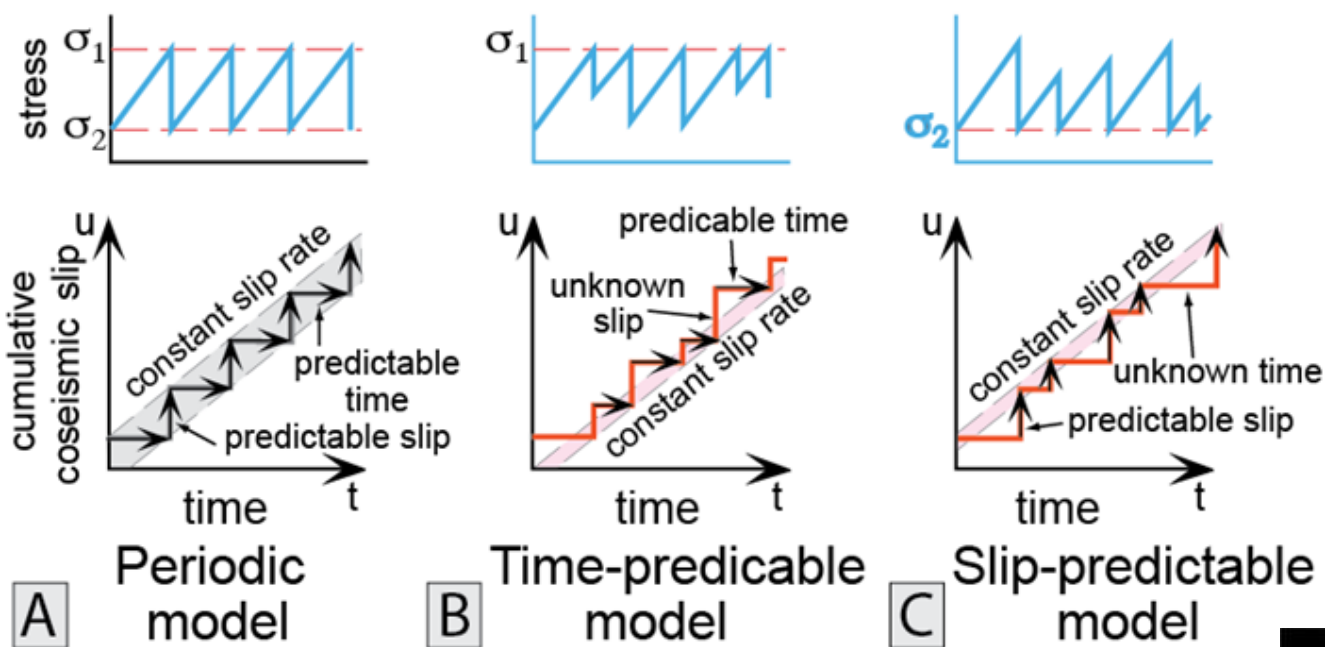
活断层分段（破裂单元）

破裂段内部 不均匀性

活断层分段的重要性与应用

一些错误观念：地震发生的位置、震级、序列

以断层段为基础的地震预测研究



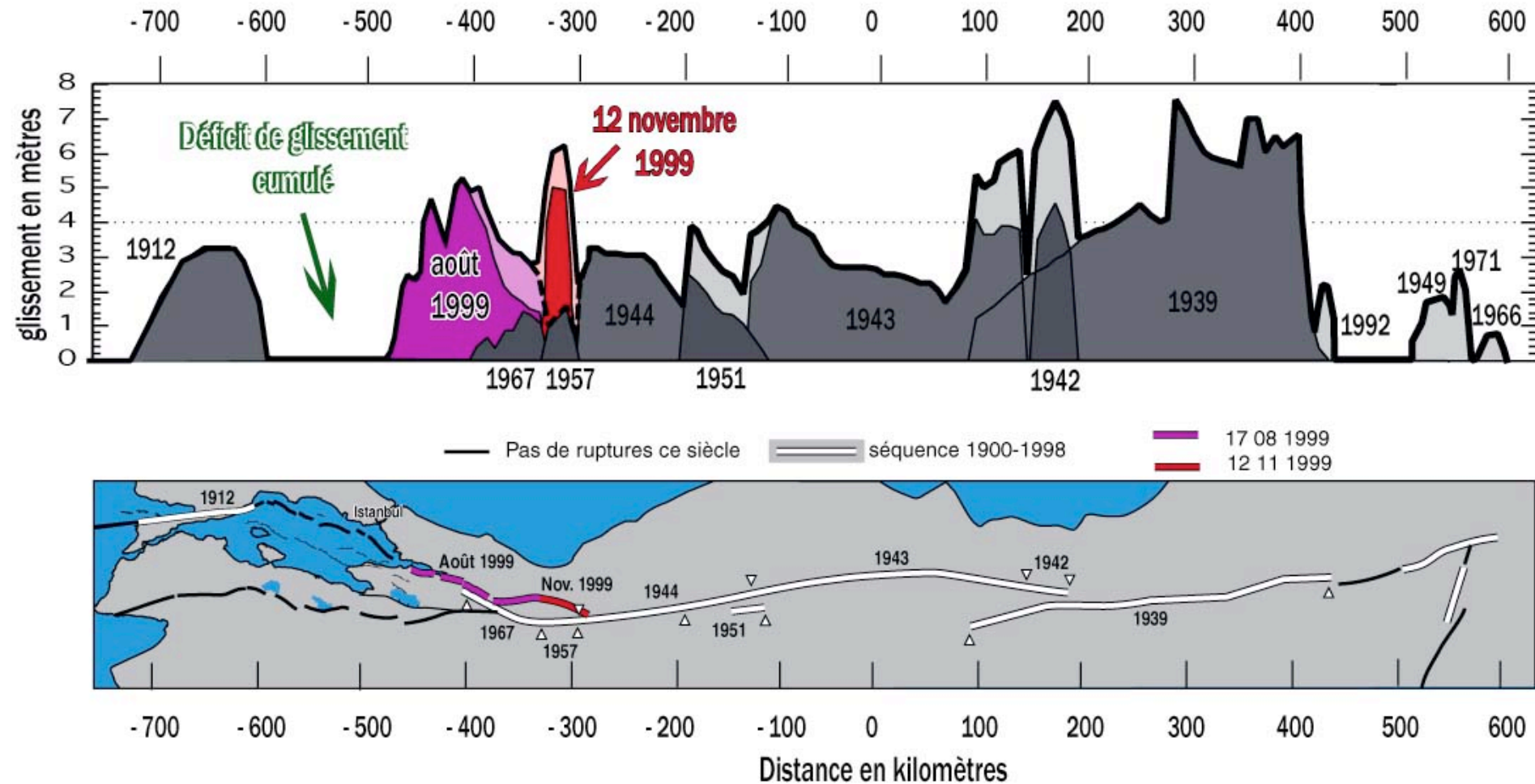
地震如欹

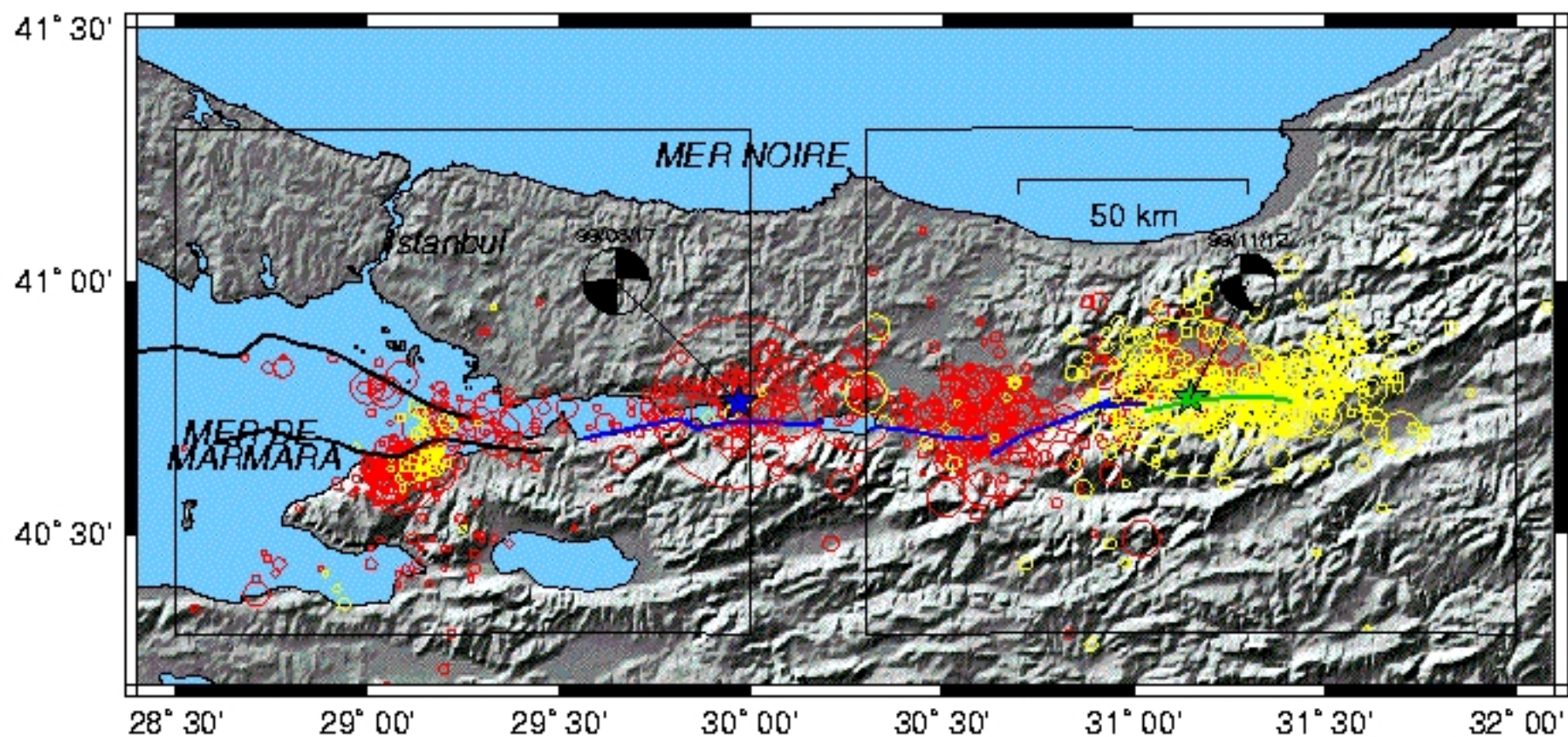


1) 震源破裂与触发破裂问题

© CNRS – IPGP Département de Tectonique

Modifié d'après Stein et al., 1996 et Armijo et al., 1999.





1954年

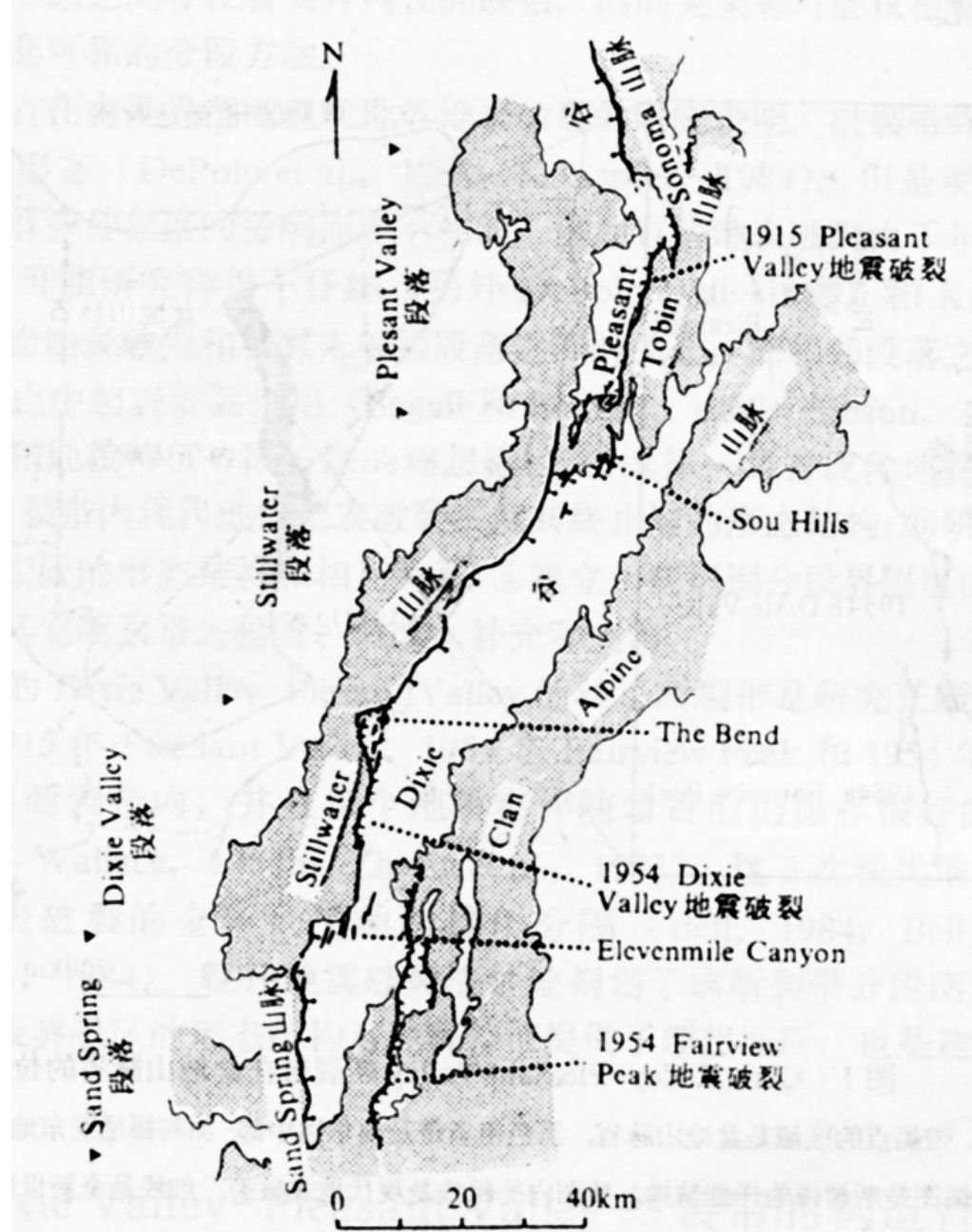
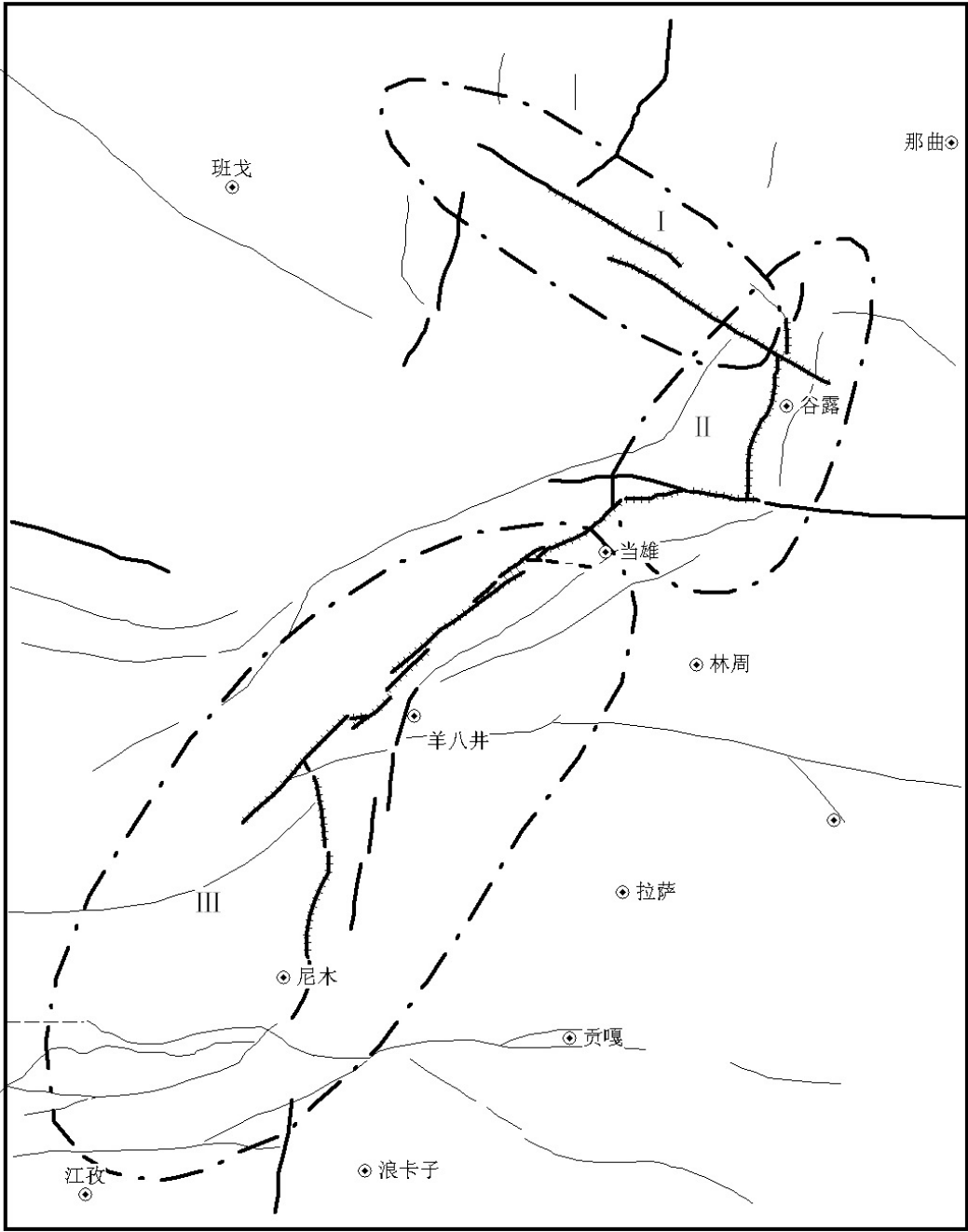


图2 Dixie Valley-Pleasant Valley 断裂带的段落划分

1951年\1952年当雄



历史地震
IX度等震线

地震地表
破裂

强活动断裂

弱活动断裂

I：1951年8级

II：1952年7.5级

III：1411年8级

2、断裂带上强震活动的丛集特征

千年尺度

古地震

百年尺度

历史
强震

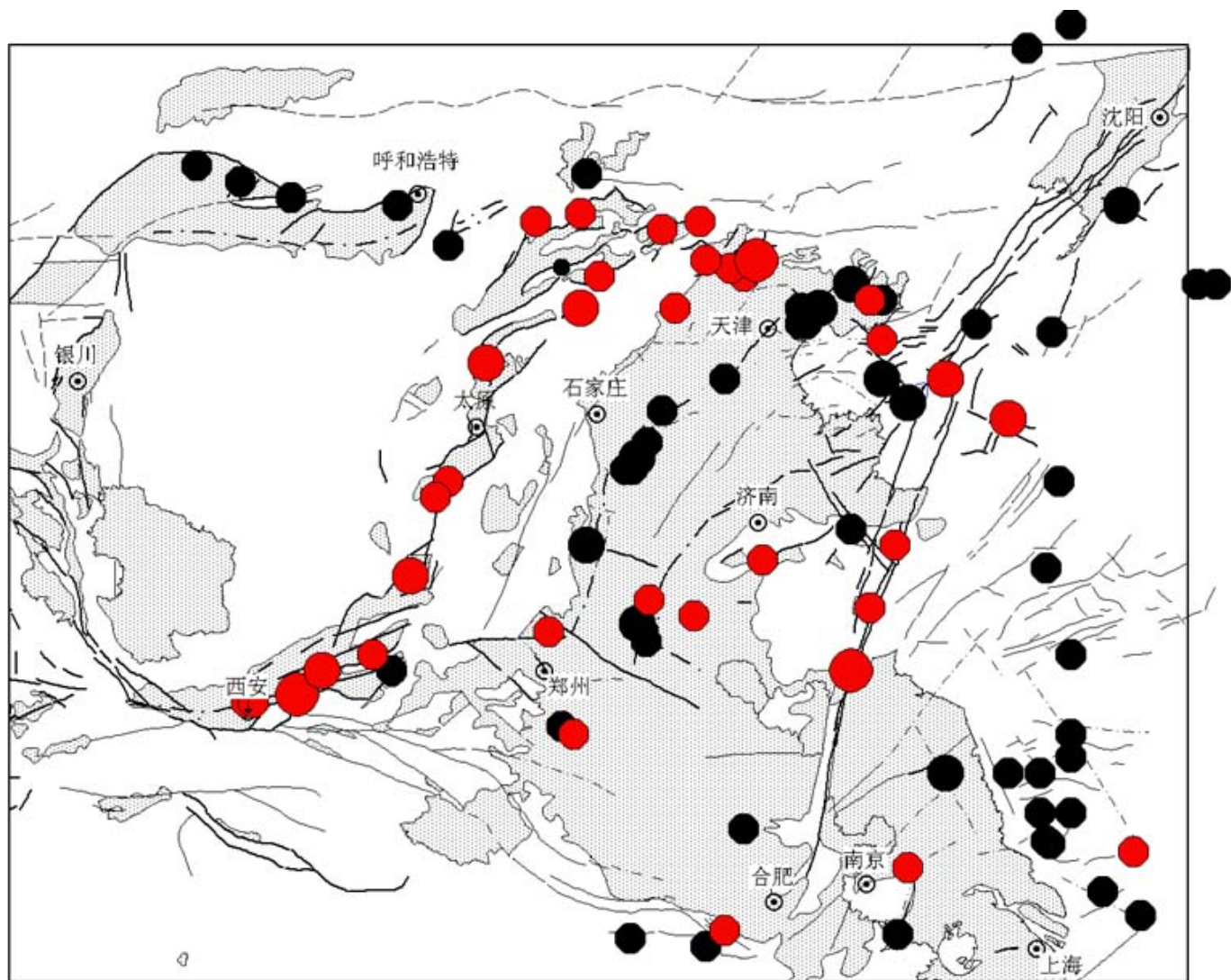
十年尺度

基于断裂活动的十年尺度预测

3、地震活动分期

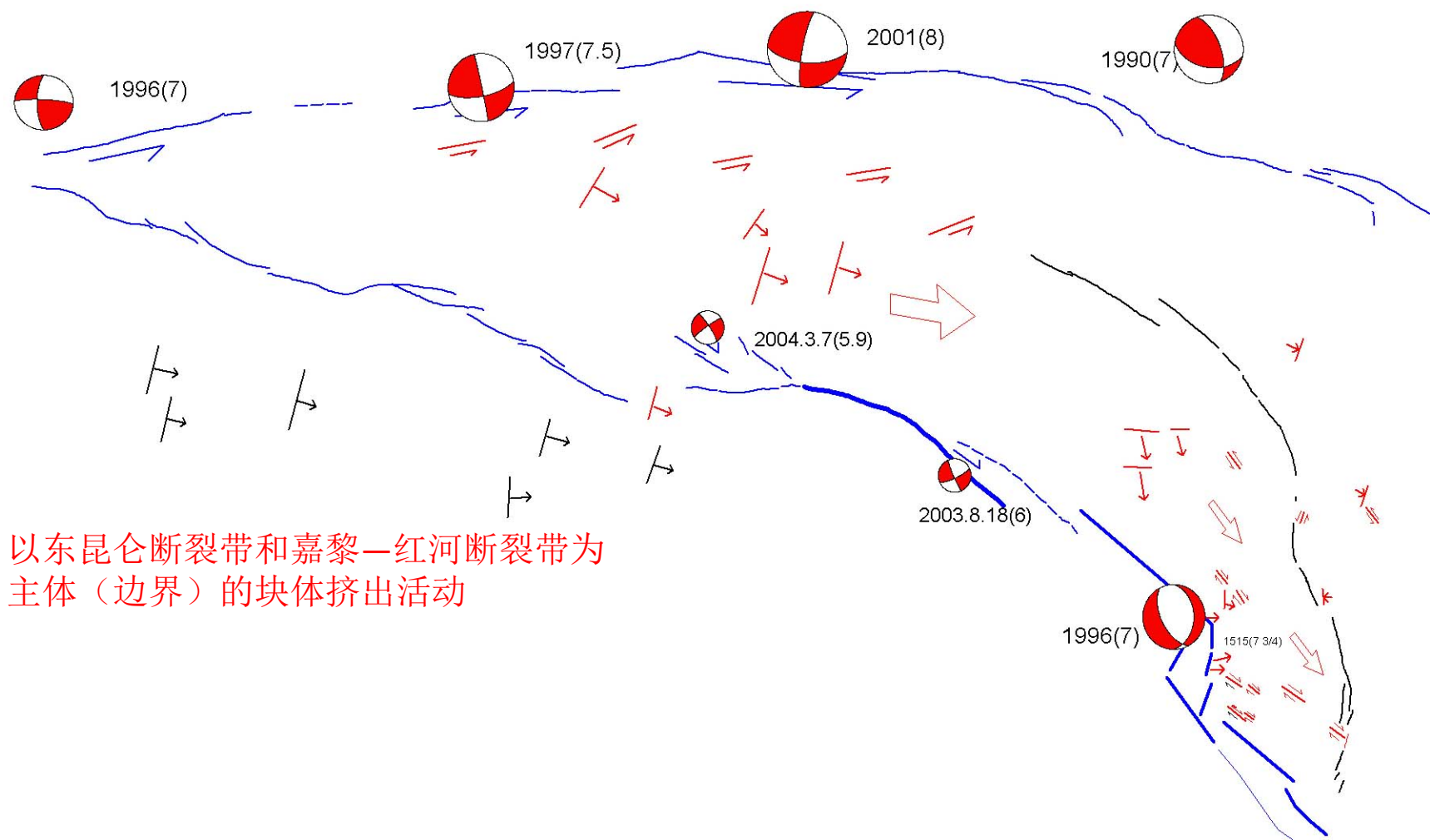
华北第三活动期主要是汾渭带、北京地堑、郯庐带、张渤带等活动；

第四活动期为河北平原带、聊城—渤海—海城带、河套带、黄海带活动。



华北第三（红色，1484-1730）和第四活动期（黑色，1815年以来）6级以上地震分布

4、主体活动带



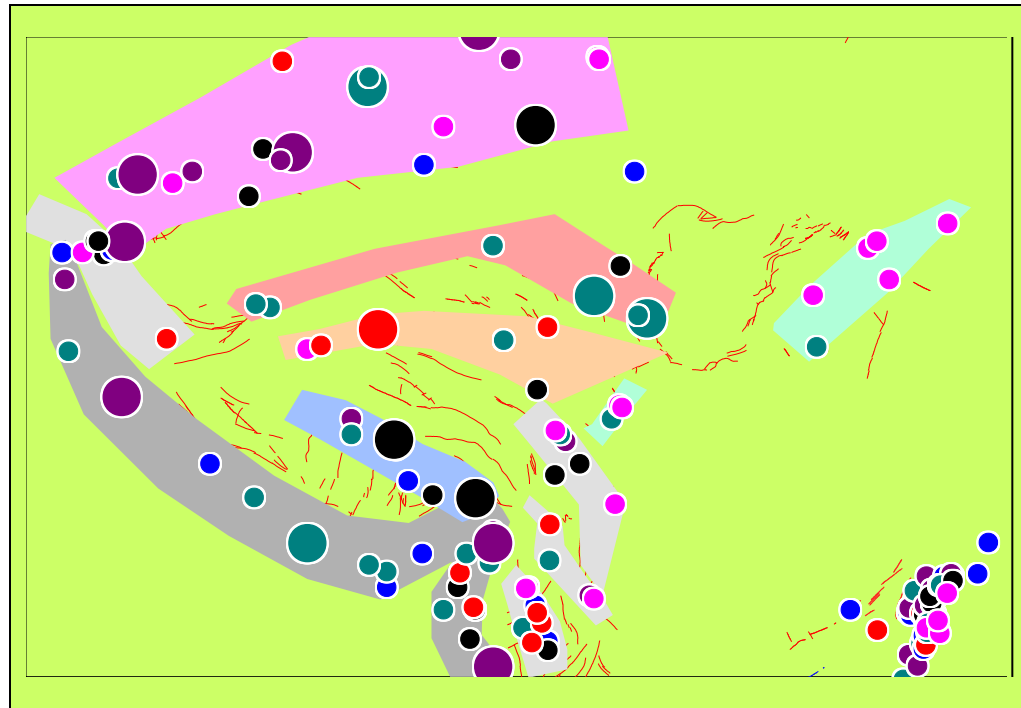
以东昆仑断裂带和嘉黎—红河断裂带为
主体（边界）的块体挤出活动

1988年以来主体活动带地震破裂显示的构造运动图解

（田勤俭，2005）

1900年以来7级以上地震时空分布

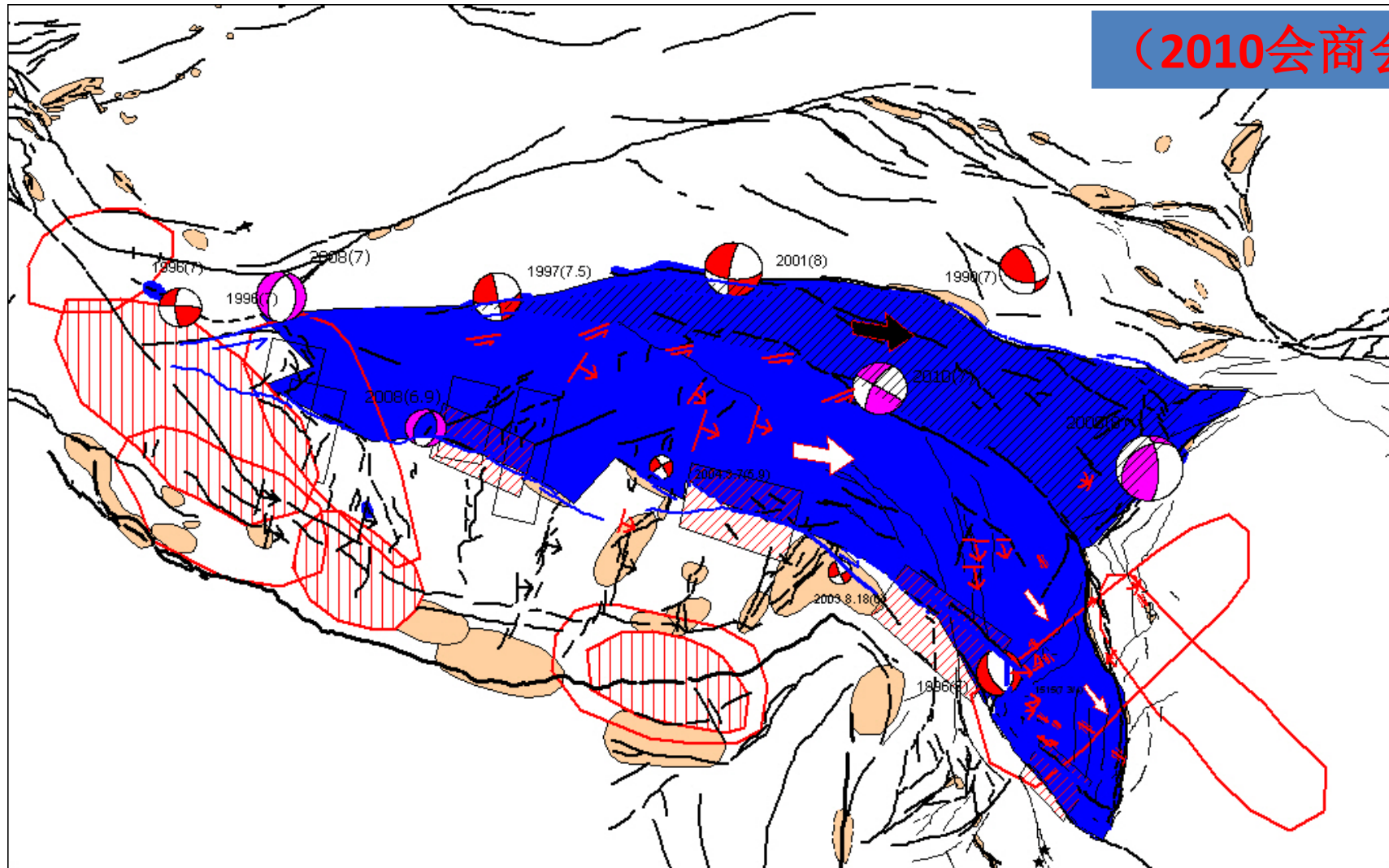
第一活跃幕强震主体活动带为天山构造带；第二活跃幕为青藏块体北边界阿尔金—祁连山—海原断裂带；第三活跃幕为青藏块体主走滑的南边界察隅断裂、嘉黎断裂带等；第四活跃期为青藏块体东边界中南段及华北构造带；本活跃期为青藏块体内部的东昆仑断裂带。



印度板块俯冲带地区自1950年以来无8级以上大地震。

川滇地区和帕米尔、西昆仑地区在各活跃期内均参与活动。川滇地区在第四活跃期活动最强。

第一活跃幕（1900-1912）：紫色；第二活跃幕（1920-1937）：墨绿色；第三活跃幕（1944-1957）：黑色；第四活跃幕（1966-1976）：粉色；第五活跃幕（1988-）：红色



主要认识:

近两年地震活动显示,主体区活动还未完全结束,应注意青藏高原中部右旋带或喜马拉雅构造带孕育大地震的可能.

震源体是断层上的破裂单元

尺度决定了震级(结构控制了震级)

破裂段间相互作用是地震群聚和迁移的基础

介质不均匀性决定了地震前兆

谢谢！