

第三部分 地震分析预报方法

■ 方法

– 地震地质法

- 认定地震应属于地质过程，研究已发生的大地震的地质构造特点，判定何处具备发生大地震的地质背景。这种方法可在大面积上划分未来地震的危险地带，确定不同强度的危险地区。

– 地震统计法

- 对过去已发生的地震，运用数理统计方法，从中发现地震发生的规律，特别是时间序列的规律，根据过去以推测未来。

– 地震前兆法

- 根据地震前兆异常，预报地震。常见的前兆现象有：地下水异常、地形变、电磁异常、气象异常、生物异常等。

■ 地震预报的方法

地震学方法

各种前兆方法

●地形变

●重力

●地应力

●地电

●地磁

●地下流体

●宏观异常

预报的种类

长期预报

中期预报

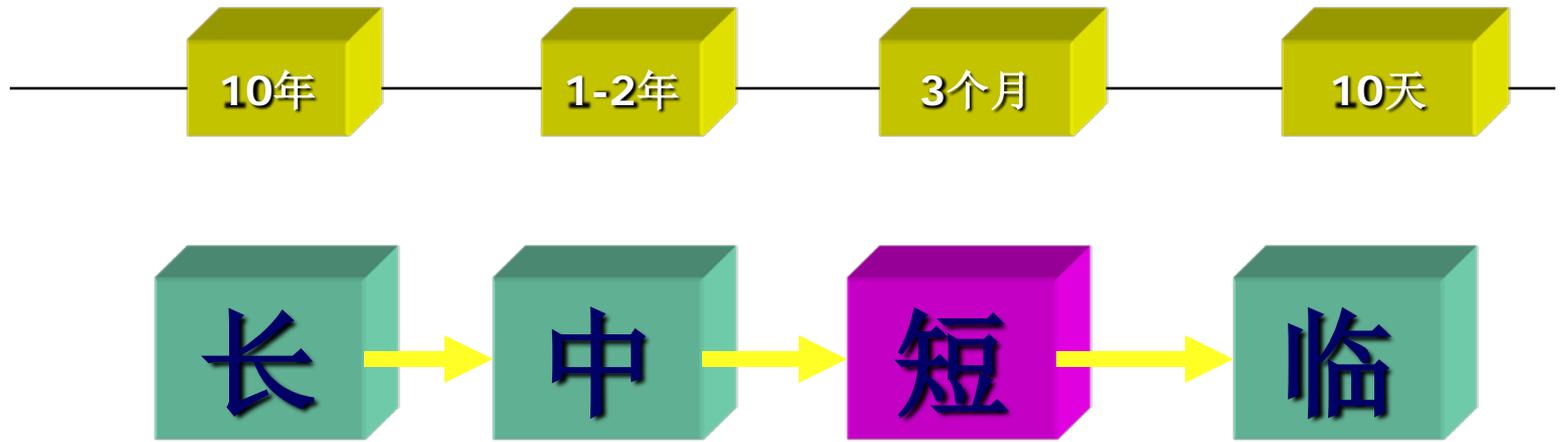
短期预报

临震预报

地震预报思路

时间上

长中短临渐进式



古地震
历史地震
构造活动
地壳形变
地震图象
外因调制
(自转、黑子)

地震图象
趋势异常
(形变、
电磁、流
体等)
旱震等

趋势异常加速、转折，
出现短期异常、突发性
快速异常出现。
地磁、流体、形变、电
磁波、蠕变波、调制、
触发等

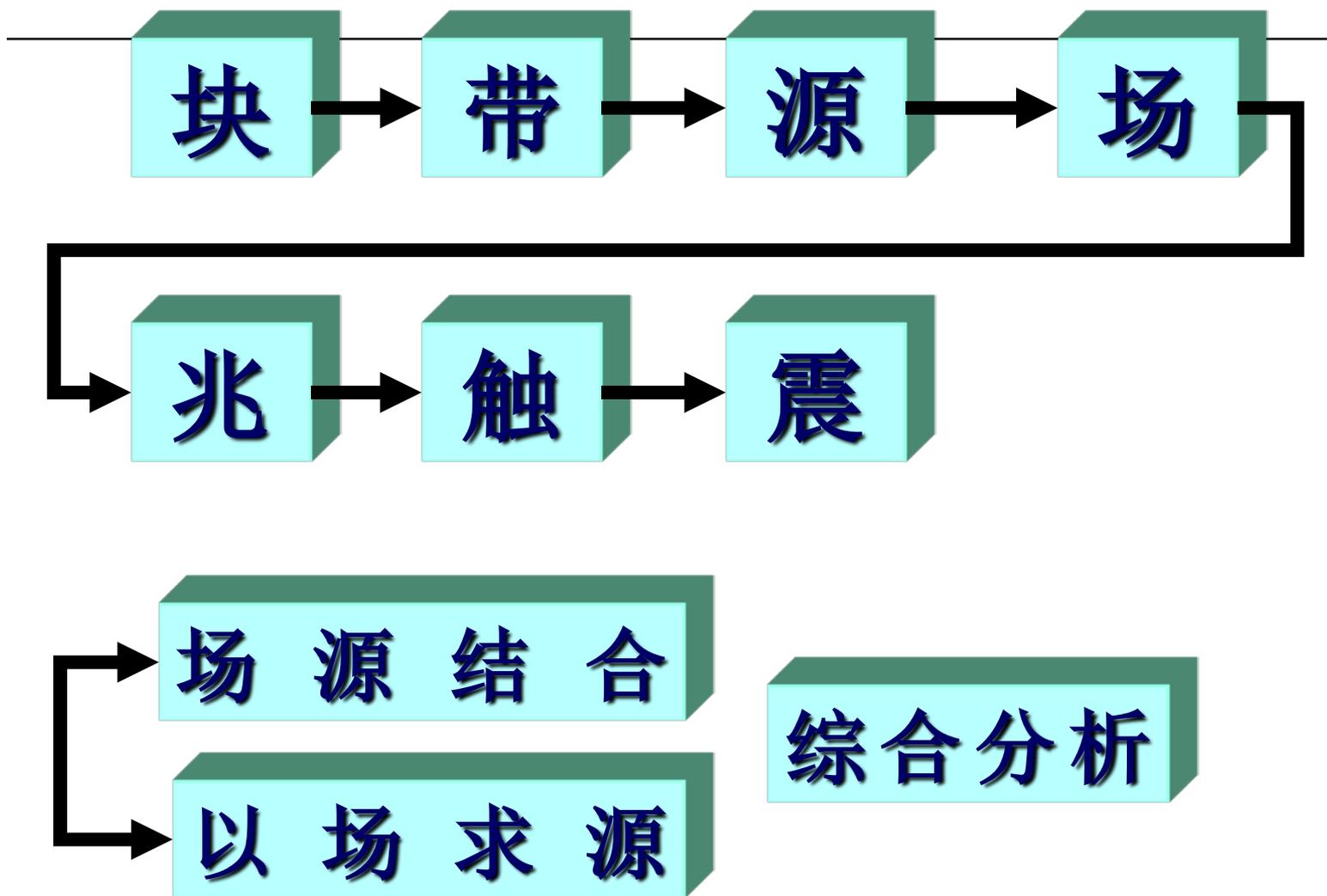
地震的一般规律

- 群发性 某段时间内频震，另一段时间内平静
- 迁移性 此起彼伏，“翘板”现象
- 等距性 震中位置某种等距性
- 复发性 大地震会在原地再次发生
- 前兆性
- 大小年

地震预报思路

空间上

场源结合



§3.1 地震前兆

一、 宏观前兆

人的感官能直接觉察到的前兆现象称为宏观前兆。人们可以看到、听到、感觉到的前兆现象包括天气、动植物、地下水异常及地声、地光现象等等。



二、微观异常

地震的微观异常——人的感官无法觉察，只有用专门的仪器才能测量到的地震异常，主要包括以下几类：

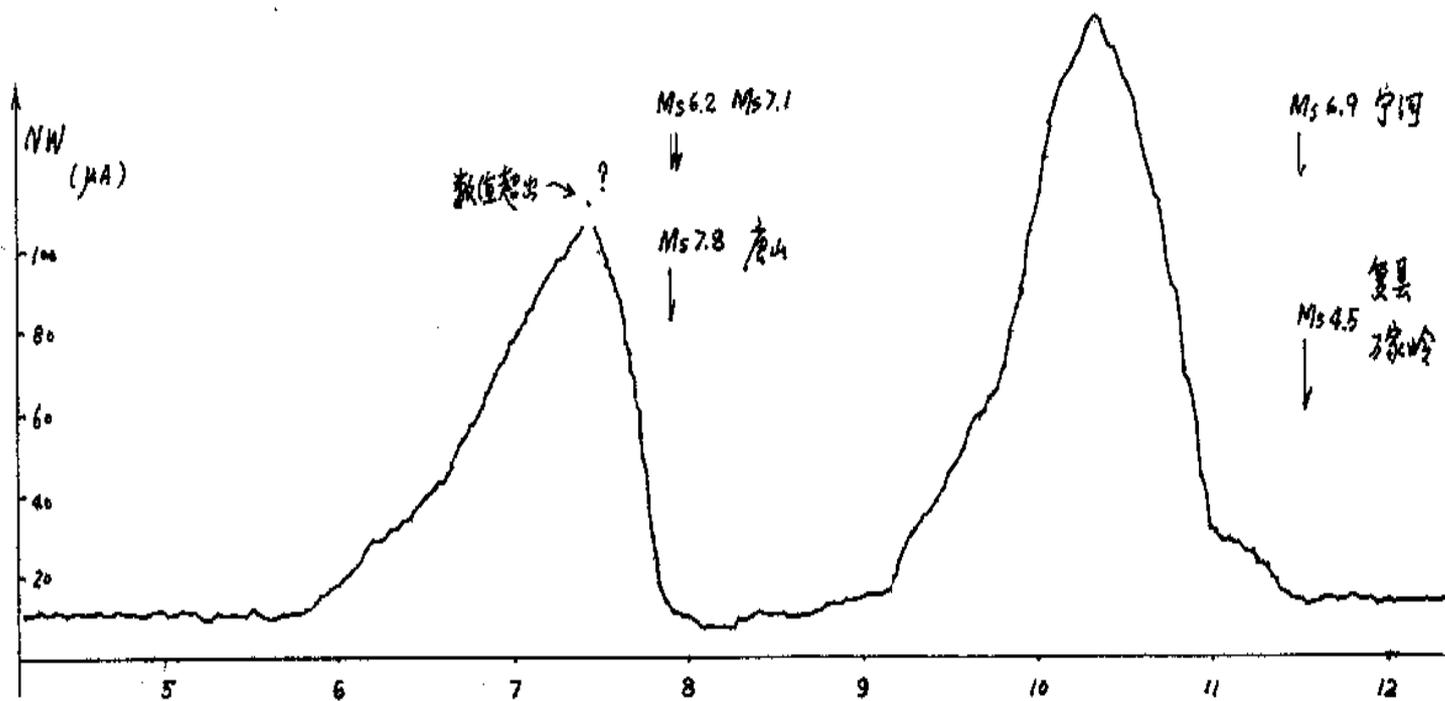
○**地震活动异常**：大小地震之间有一定的关系。大地震虽然不多，中小地震却不少，研究中小地震活动的特点，有可能帮助人们预测未来大震的发生。

○**地形变异常**：大地震发生前，震中附近地区的地壳可能发生微小的形变，某些断层两侧的岩层可能出现微小的位移，借助于精密的仪器，可以测出这种十分微弱的变化，分析这些资料，可以帮助人们预测未来大震的发生。

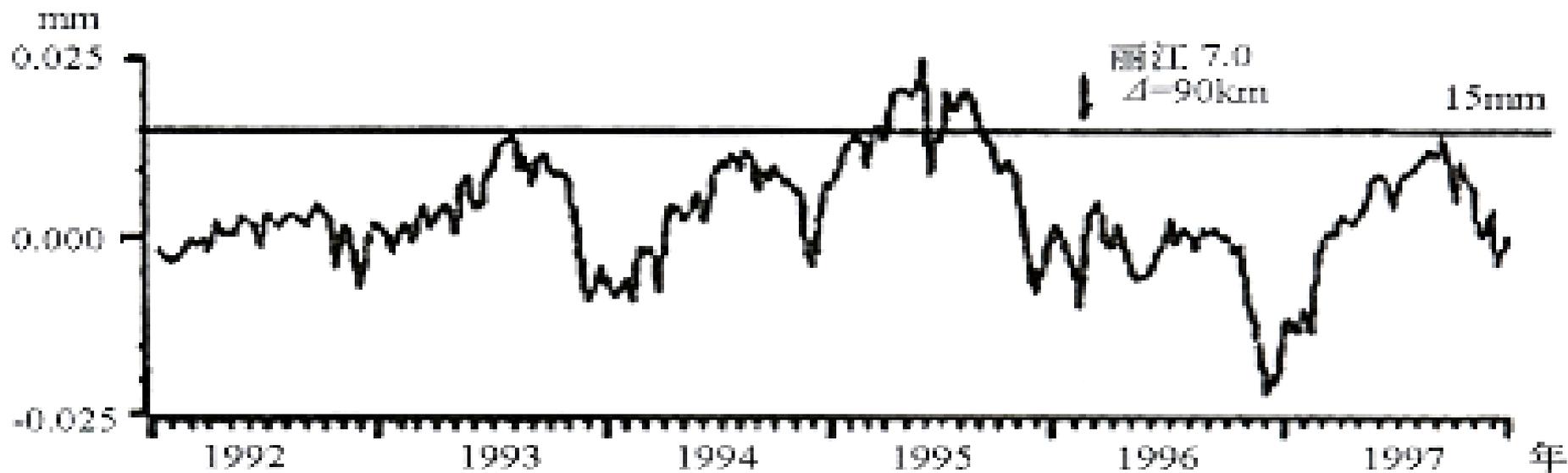
○**地球物理变化**：在地震孕育过程中，震源区及其周围岩石的物理性质可能出现一些变化，利用精密仪器测定不同地区重力、地电和地磁的变化，也可以帮助人们预测地震。

○**地下流体的变化**：地下水（井水、泉水、地下岩层中所含的水）、石油和天然气、地下岩层中还可能产生和贮存一些其它气体，这些都是地下流体。用仪器测定地下流体的化学成份和某些物理量，研究它们的变化，可以帮助人们预测地震。

○ 地震的前兆——地电场的变化



地下流体



剑川水位旬均值曲线

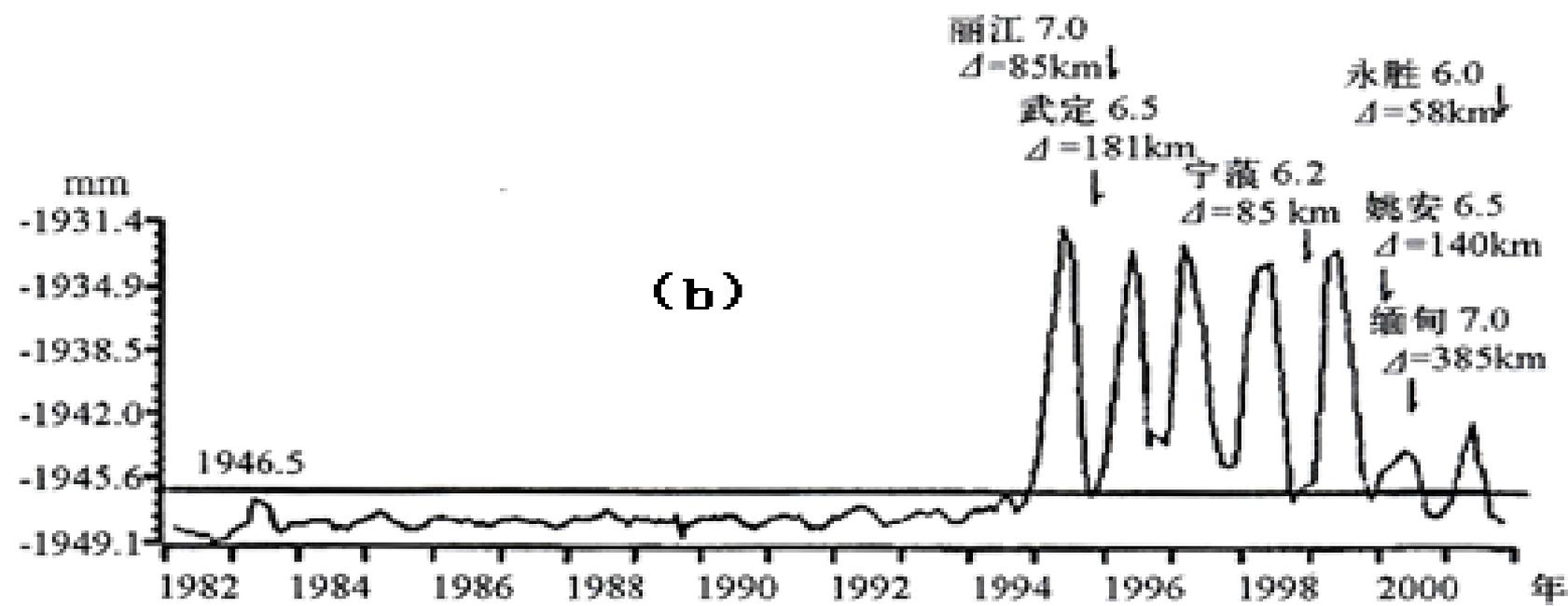
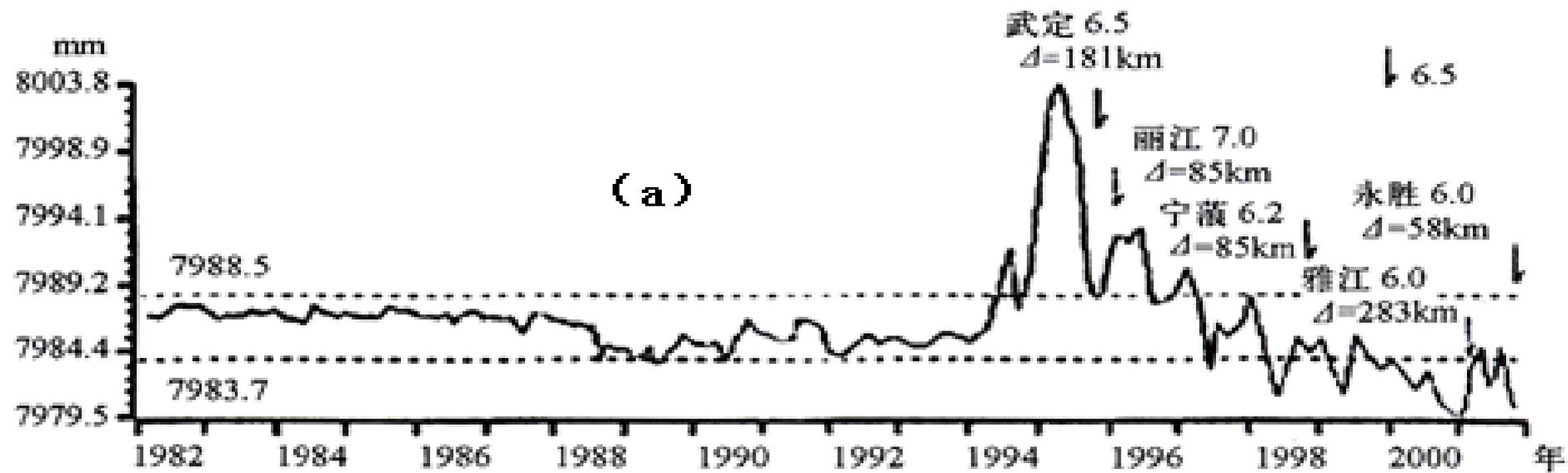


图6.3 云南丽江7.0级地震的地形变异常变化
 (a) 永胜短基线月测值曲线； (b) 永胜短水准月测值曲线

§3.2 地震学方法

利用地震仪测定地震三要素，通过研究已发生地震的活动规律来预报测未来可能发生的破坏性地震的方法。通常称“以震报震”。

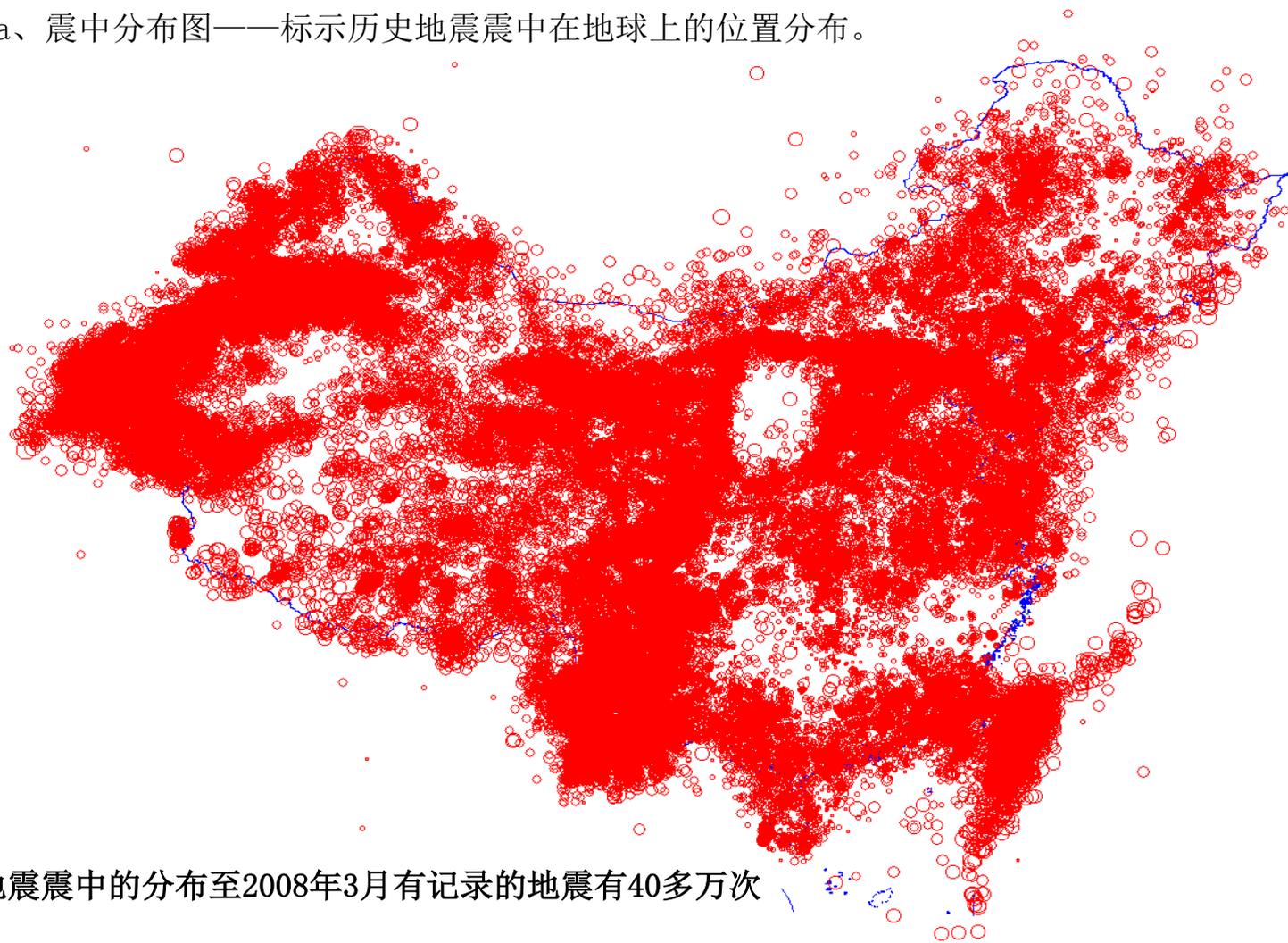
主要的地震学方法可归纳为：

- (1) 空间图像方法，如地震条带、空区；
- (2) 地震学参数分析，时间、空间扫描分析法（如b值）；
- (3) 统计学方法，如地震序列、“密集—平静”现象、地震迁移；
- (4) 震源及介质参数方法；
- (5) 应变释放曲线；
- (6) 强震动观测

.....

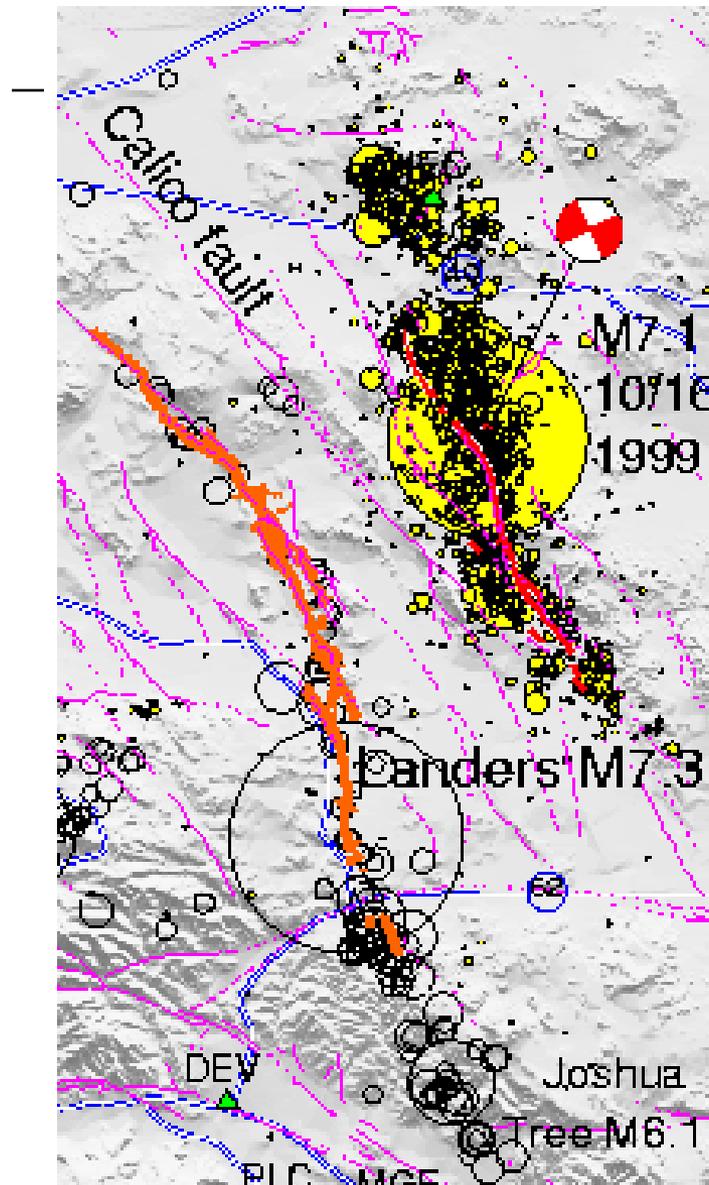
(1) 地震活动的统计图

a、震中分布图——标示历史地震震中在地球上的位置分布。



我国地震震中的分布至2008年3月有记录的地震有40多万次

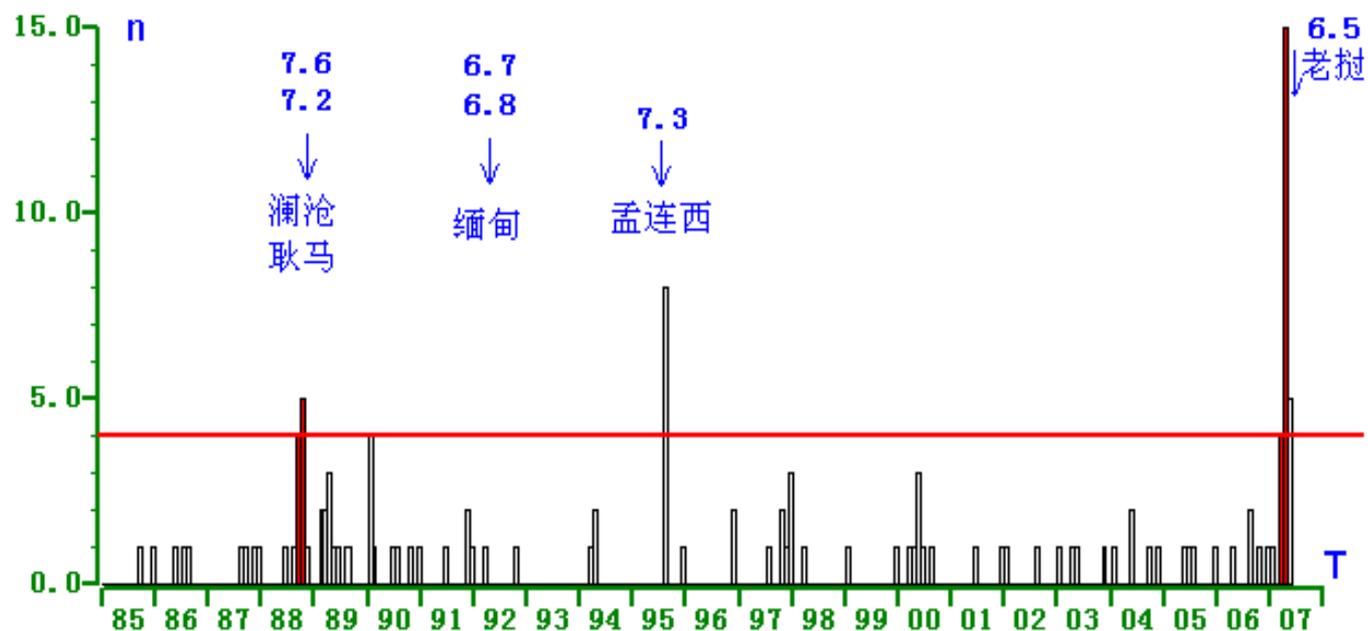
深断裂分布图——表示地壳深部活动断层在地球上的位置。



The Landers fault (red lines at left) and the Hector Mine fault and its aftershocks (red lines and circles at right). The Hector Mine earthquake was a magnitude 7.1, and it produced thousands of aftershocks. (Image courtesy of Egill Hauksson, Caltech)

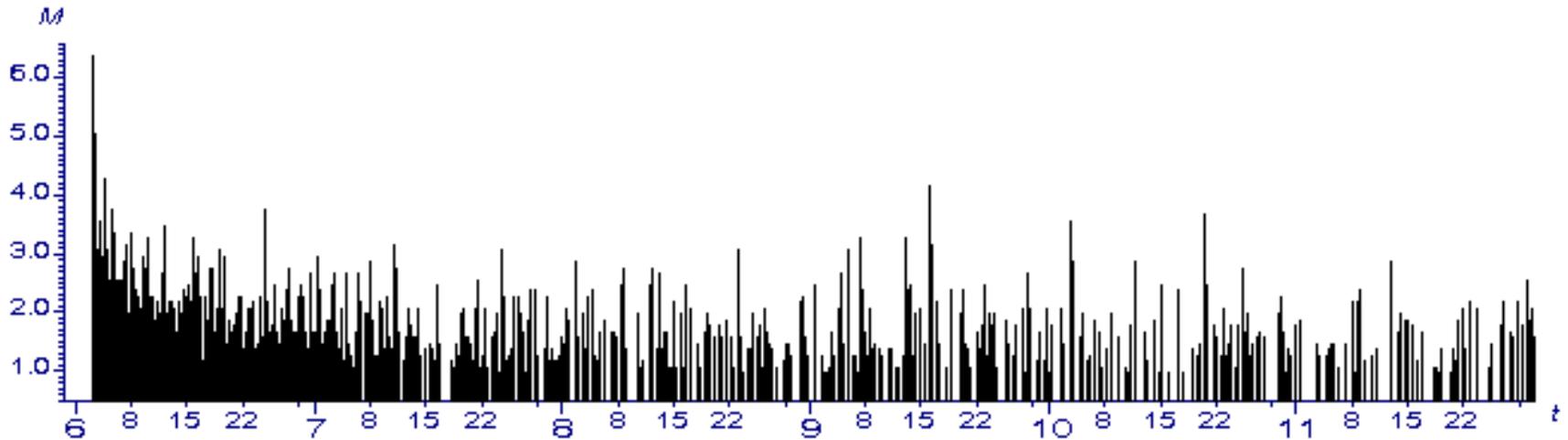
c、N-t图

N为某地地震活动区单位时间间隔内地震发生次数，t为时间。

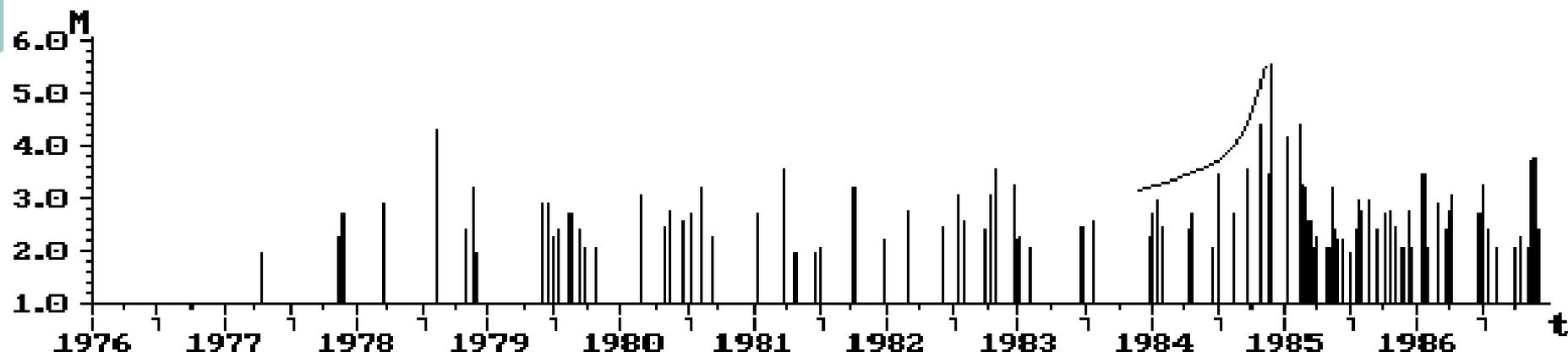
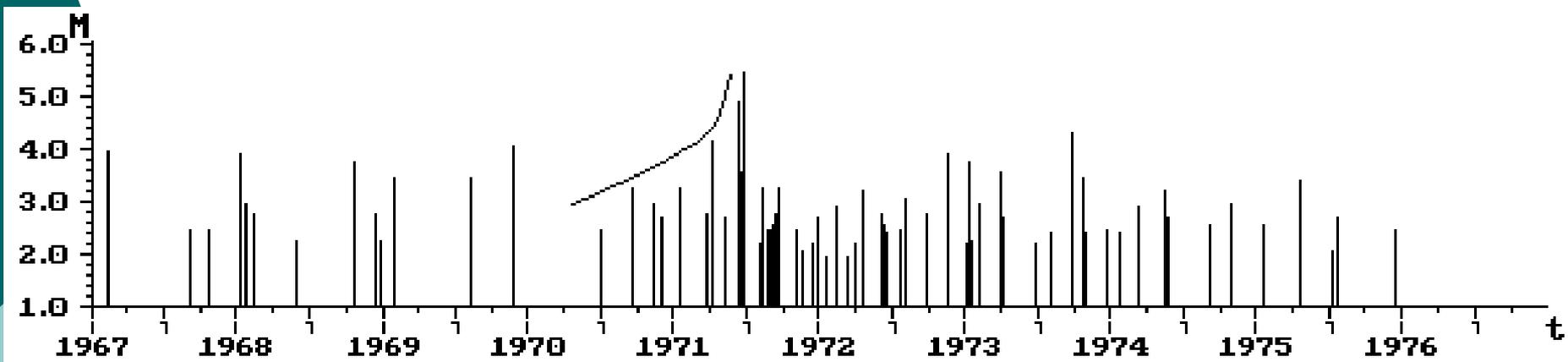


d、M-t图

本图也称作地震序列图，M为地震序列中前震、主震和余震的震级，t为时间。



2007/06/03 宁洱地震序列 M-T图



灵武~吴忠地区M-t图显示的中强地震前震区地震活动增强

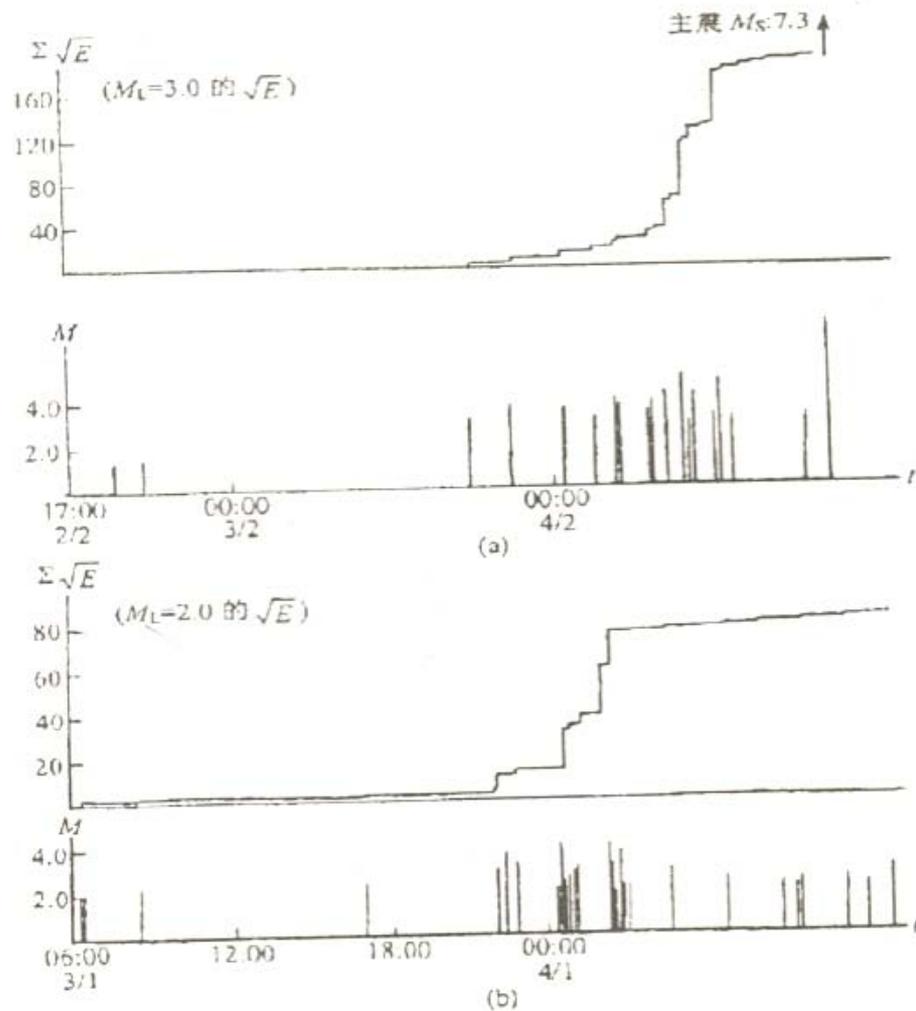
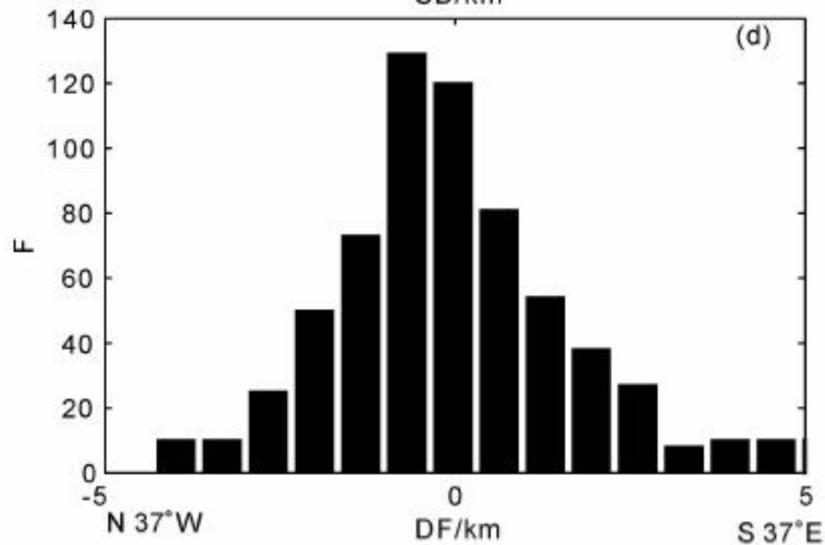
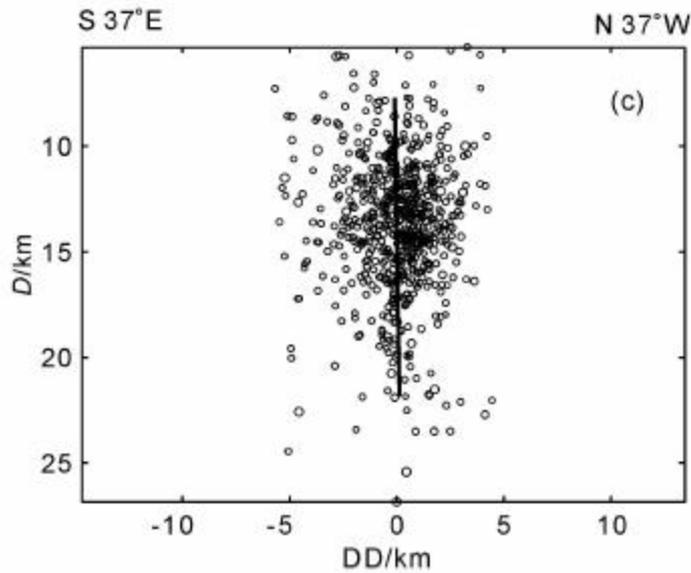
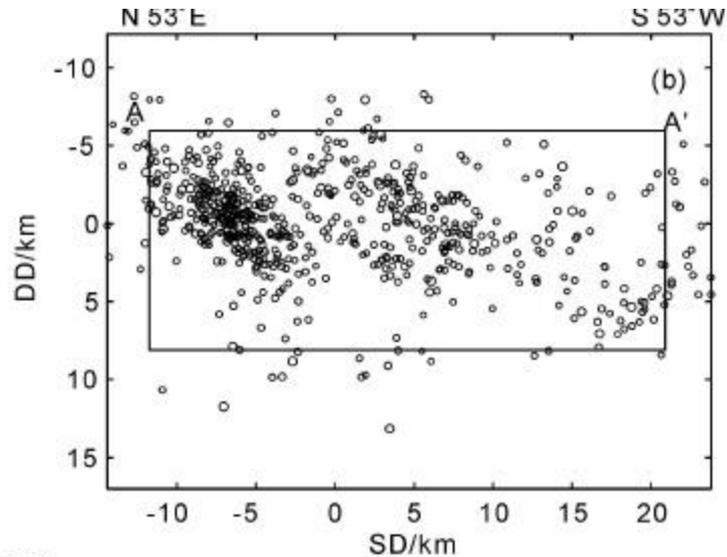
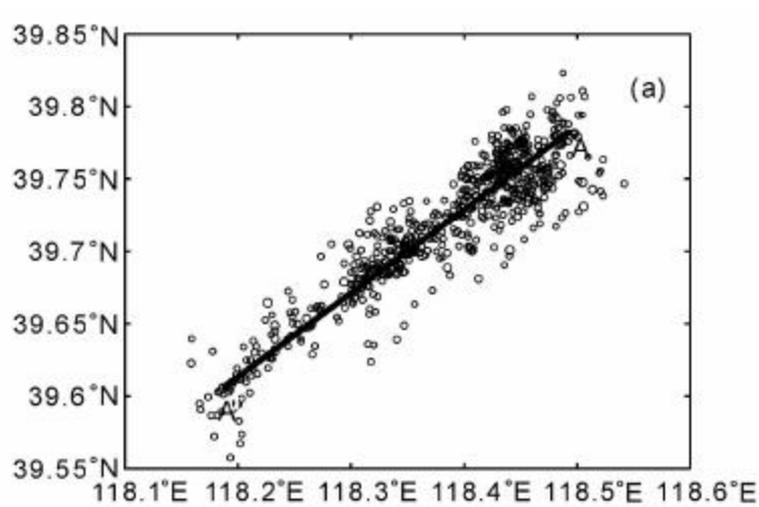


图 3.21 前震序列与震群活动的时间序列

(a) 海城 7.3 级地震前震序列 $M-t$ 图及“应变”释放曲线；

(b) 2003 年 1 月上旬漾濞小震群 $M-t$ 图及“应变”释放曲线。

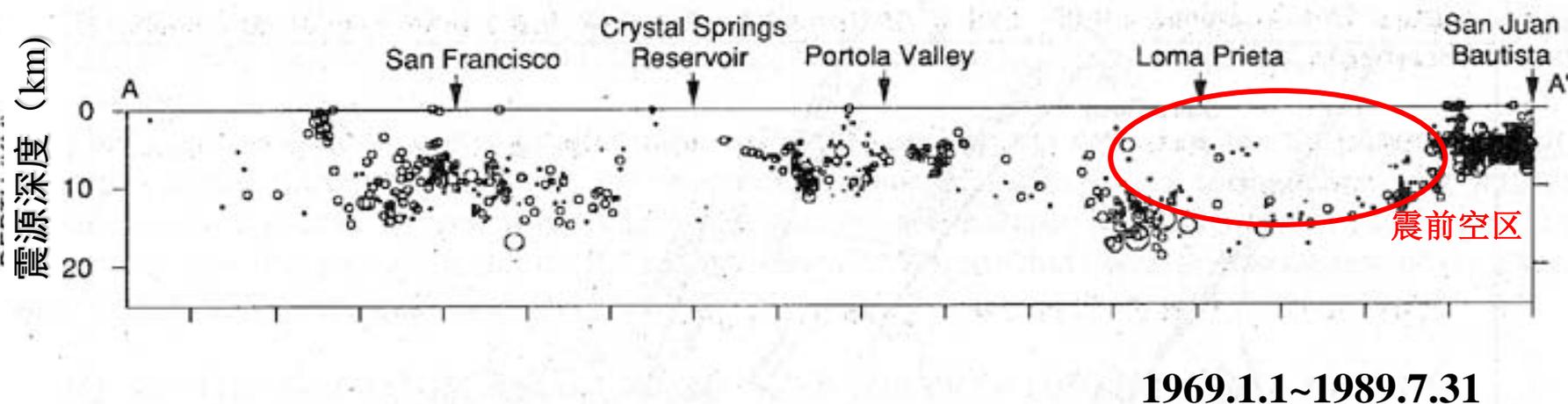


唐山地震断层北段精确定位的小震分布在水平面（a）、断层面（b）和垂直于断层面的横断面（c）上的投影；（d）小震距断层面距离的分布。圆圈表示精确定位小震，粗线表示确定的断层面边界。A A'为断层上边界端点。DD 为倾向，DF 为距断层面的距离，SD 为走向

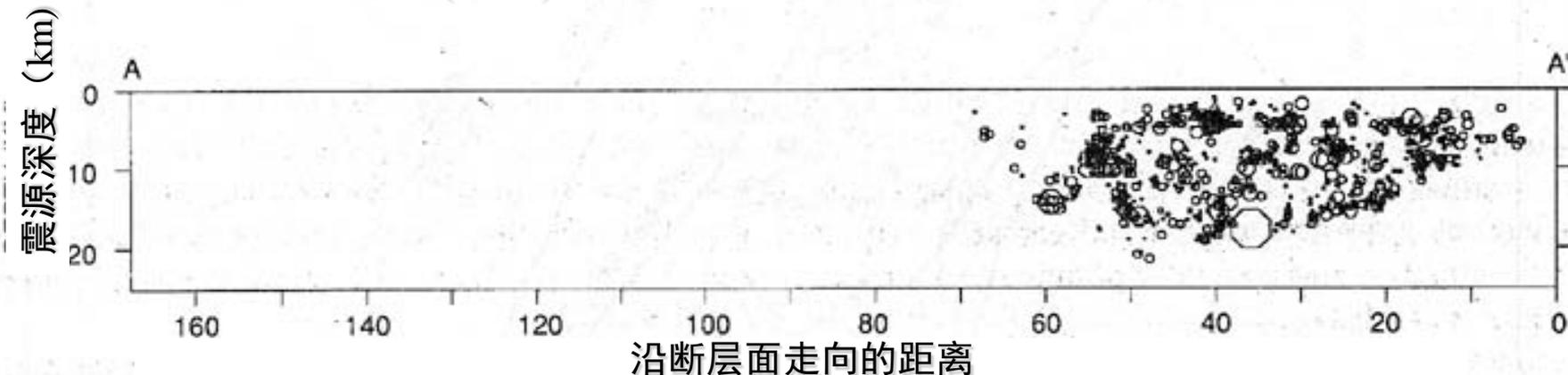
(2)、空间图像异常——孕震过程中有可能出现立体空区图像

M7.1地震前后沿圣安德烈斯断层的震源深度剖面

A. 主震前(1969-89)



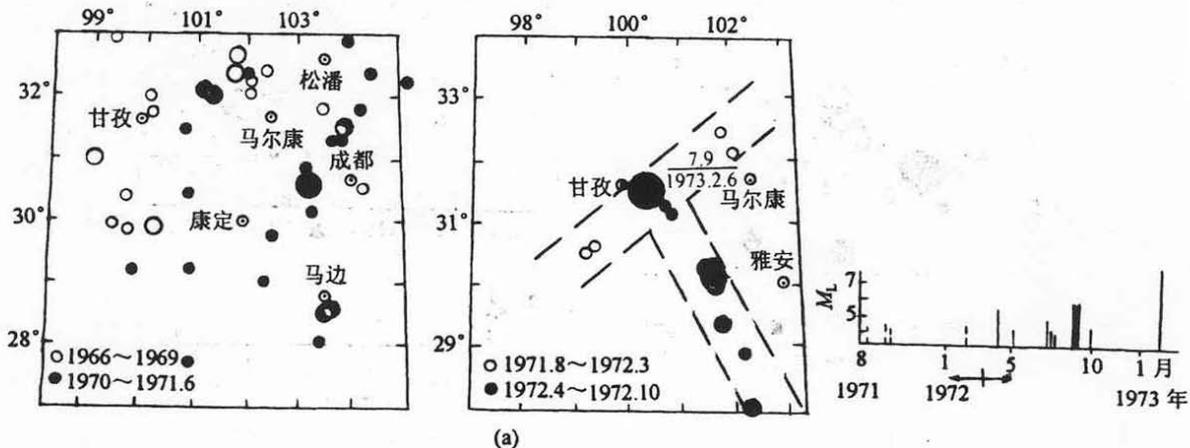
B. 主震后的余震(1989)



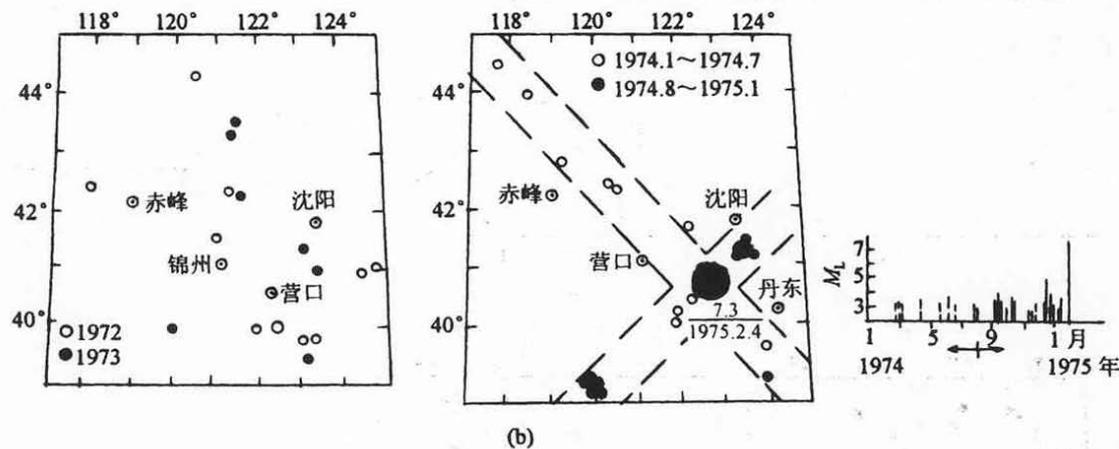
1989洛马普列塔7.1级地震前地震空区和余震分布

某些大地震前地震条带图像

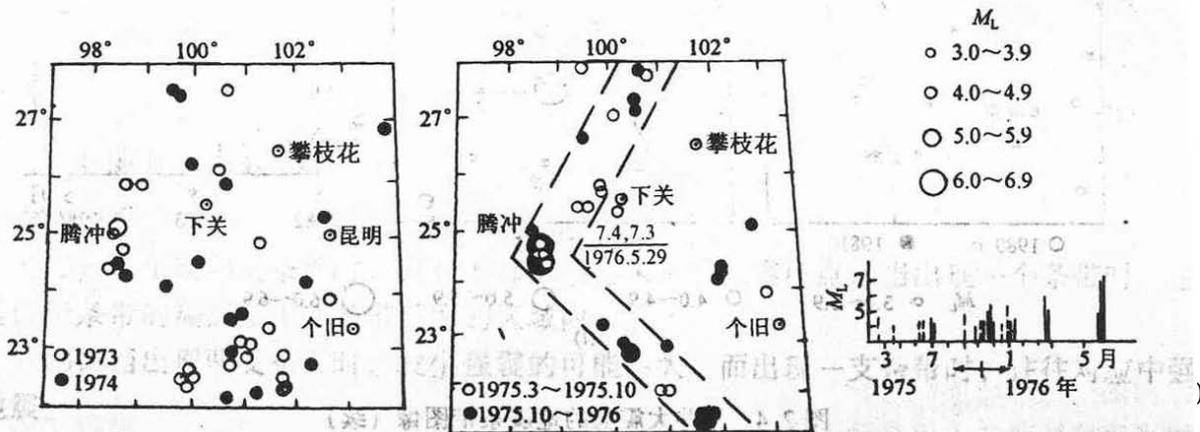
1973炉霍



1975海城



1976龙陵



3.2.2、地震学参数

- A —地震活动因子、 $A(b)$ —地震活动性指数、 AC —时间序列复杂性 (Cn)
- b —G-R关系系数

- C —地震空间集中度、 Cn —算法复杂性
- D —地震危险度、 Dq —多分形
- E —能量、 $E^{1/2}$ —应变能
- F 、 ΔF —地震活动标度 (H)
- GL
- h —余震频度衰减指数、 H —地震活动标度
- K —能量熵 (用于序列分析)
- M —震级、 M_f —地震强度因子
- N —频度
- P 、 $P(b)$ —小震动态参数
- Q —熵、介质品质因子
- Rm —小震调制比
- S —地震活动度
- (T 、 ΔT)
- U
- Vp/Vs —波速比
- Y —加卸载响应比、 YH —地震活动演化指数
- $Zmap$ —大震前平静 (强度、频度) 特征

地震活动性的定量表现

(1) 单位面积、单位时间内所发生的大于一定震级 M_S 的地震次数。

古登堡——里克特定律： $\log n = a - bM$

n 为一定地区和一定时间内发生的震级从 M 到 $M+dM$ 的地震频度。

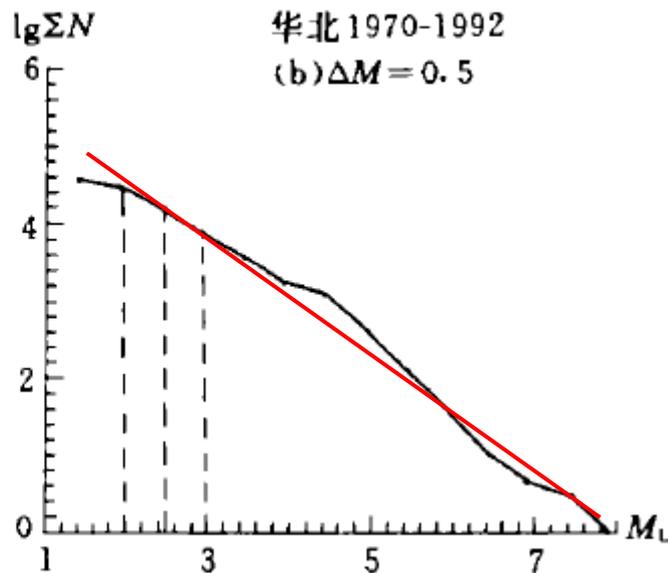
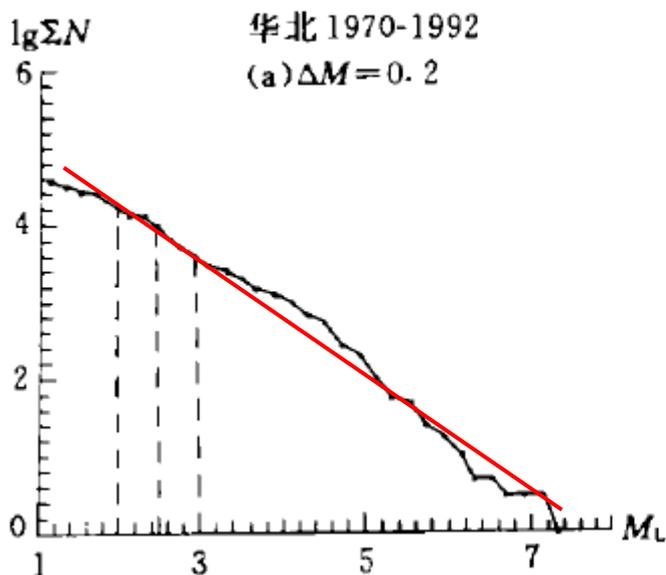
古登堡——里克特定律关系：频度的对数与震级成正比。简单地说，就是大地震少，小地震多。

大震少，小震多，然而奇妙的事情在于为什么这个关系是线性的（古登堡——里克特定律）。

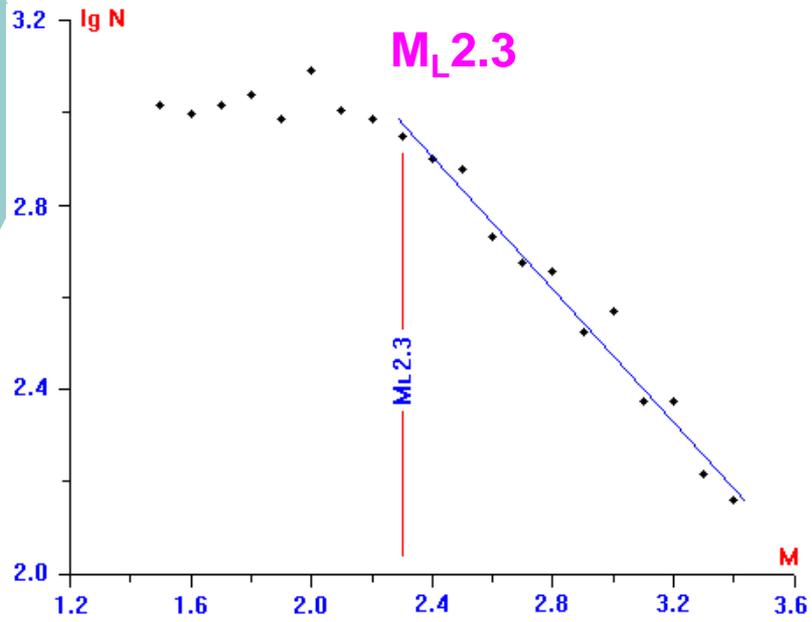
著名的Gutenberg-Richter (G-R) 地震频次 N -震级 M 统计关系式:

$$\lg N = a - bM$$

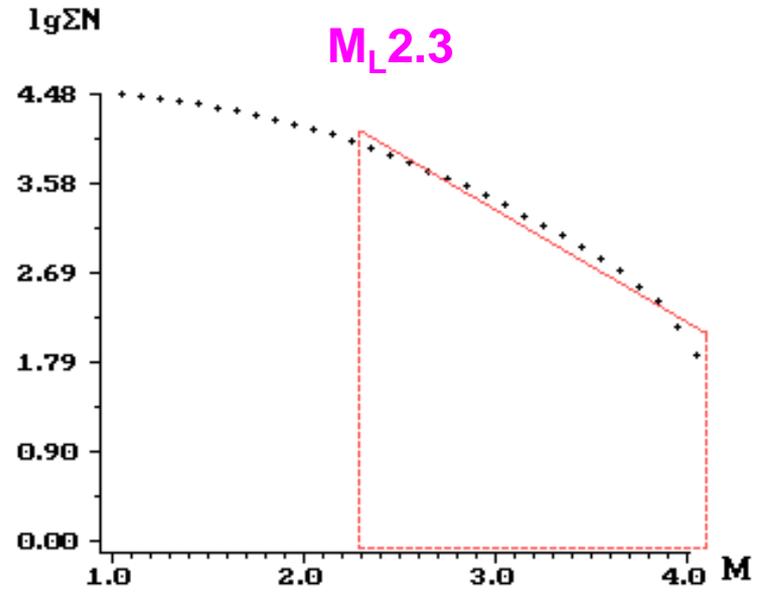
一直被广泛地应用于区域地震活动性的研究中，
系数 b 随时间的变化是进行地震监测预报常用的重要参量。



G—R关系图（内蒙）



1970-1999

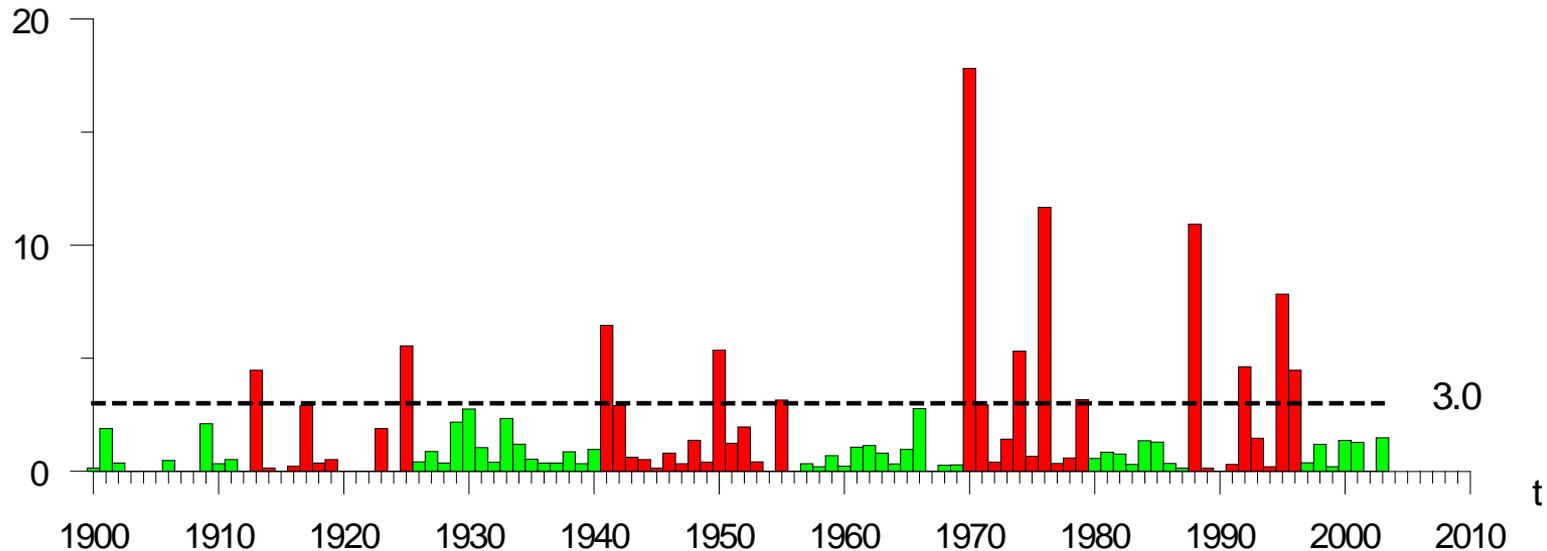


1970-2004

(2) 单位面积、单位时间内的应变释放量。

贝尼奥夫（1949）曾经认为，各地震的能量平方根之和 $\sum \sqrt{E}$ 就能表示由某一地震群引起的应变释放。

M \geq 5.0 地震年应变释放图



(3) 单位面积、单位时间内所释放的地震波能量。

如果用这种表达方式，则少数大地震占的份量很大。

一个地区的地震活动性，一般用能量作为衡量标准的，认为凡平均每年释放地震能量多的，便是地震活动性高的地区，反之则低。

地震活动性高的地方是否地震危险性就大呢？

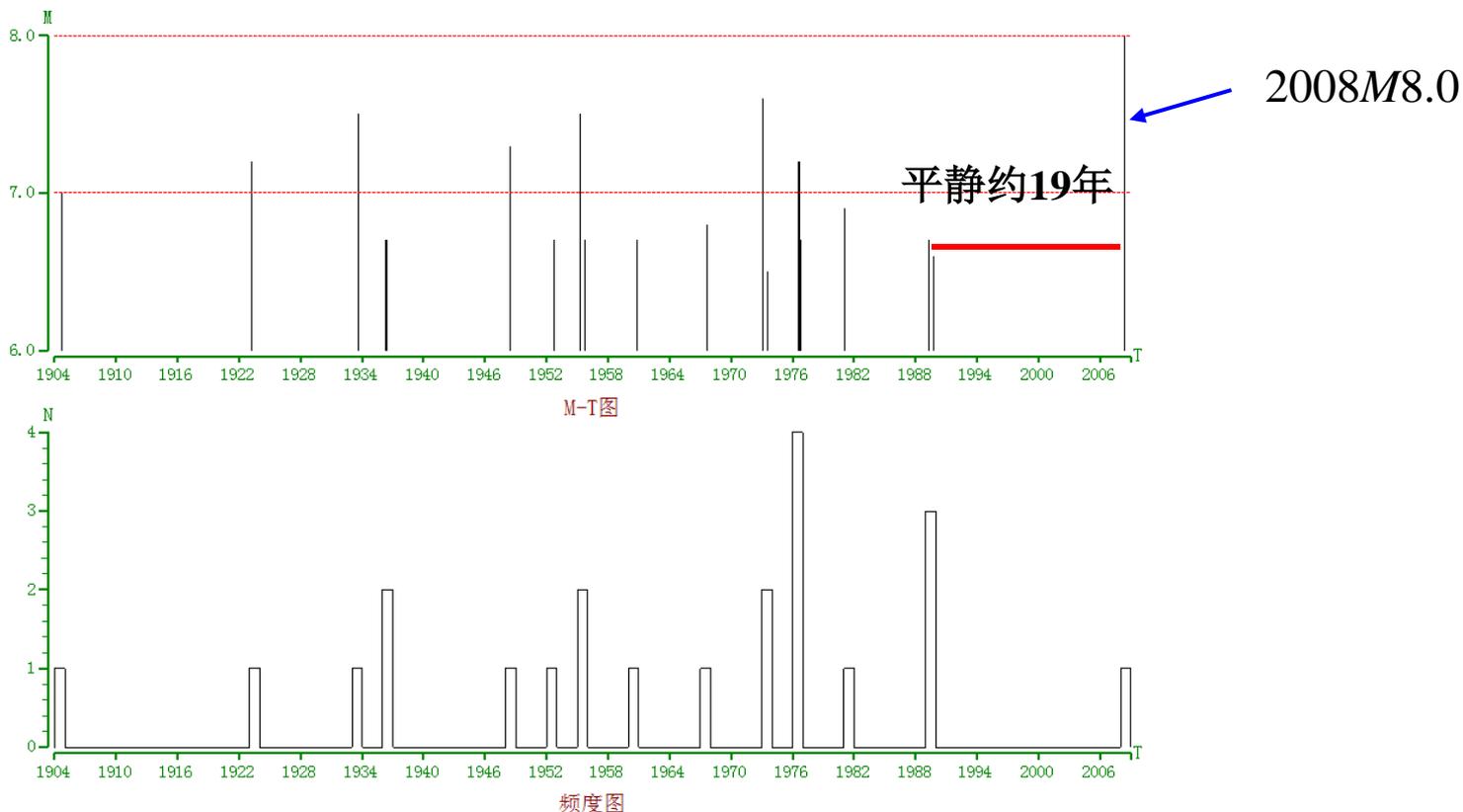
不一定，因为地震活动性是由地震频度和地震强度决定的，而地震危险性则主要取决于地震强度。

b值(大小地震关系)

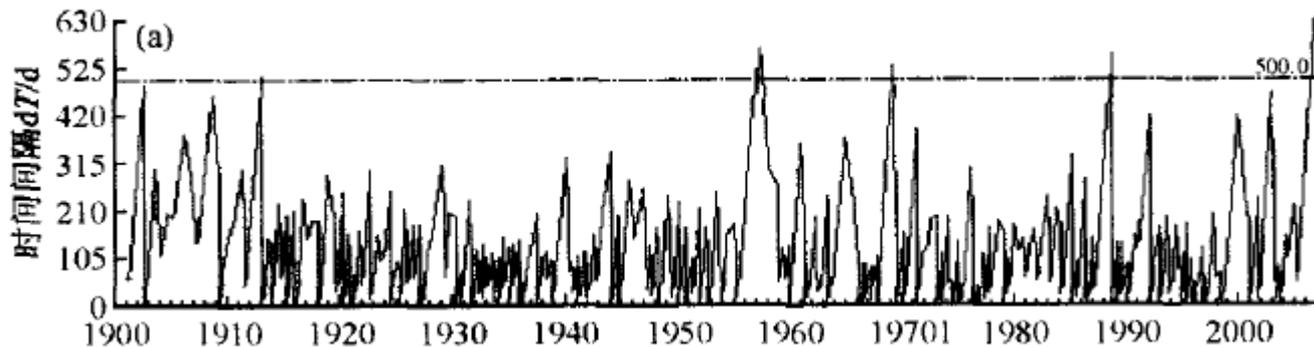
- $b = \log n(M) / n(M+1)$
- 每年某一地区,发生M级地震次数 $n(M)$,
- 每年某一地区,发生M+1级地震次数为 $n(M+1)$
- 1、b值与其区域性,分五类,
- 一类 ≤ 0.69
- 五类 ≥ 1.3 (海洋区, 日本海到中国一部分)

■ 频度 N 、震级 M 、能量 E ($\lg E=4.8+1.5Ms$)

强震前地震活动增强或平静通常表现为一定时空域内地震活动频次 N 的升高或降低，震级 M 升高或降低，能量 E 释放的加速或减速。

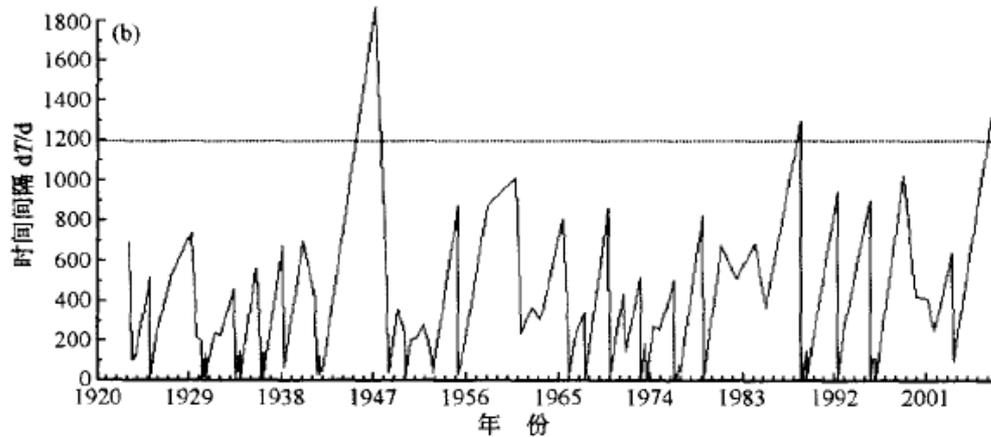
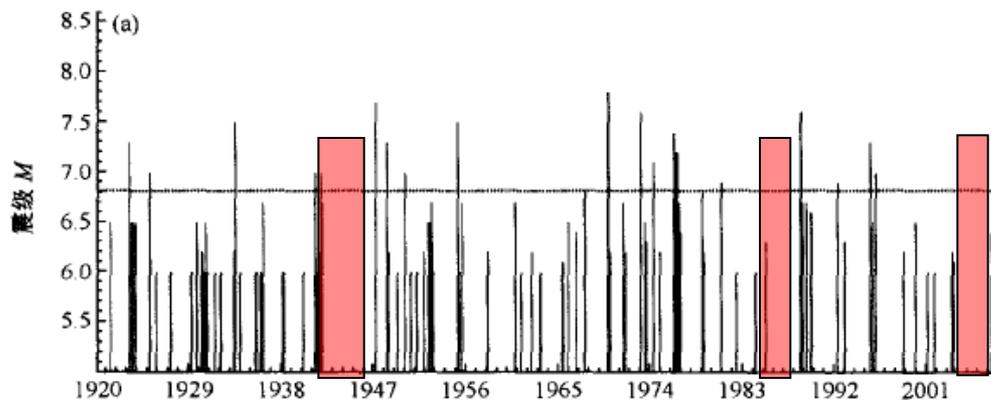


1900~2008年四川地区6.5级以上地震 $M-T$ 、 $N-T$



1900年以来我国大陆6级以上浅源地震dT-t图

2005.4.8~2007.5.5,
中国大陆**756天**6级地
震超长时间平静。



刘杰等, 2009, 地震

图7 1920—2007年西南地区(21°~34°N, 97°~107°E)6级以上地震M-t图和dT-T图

○ 空区参数 $\sigma_H(n)$ （吉尔吉斯斯坦共和国地震研究所）

空区参数 $\sigma_H(n)$: 反映地震活动频度相对正常水平的偏离程度。

$$\sigma_H(n) = \frac{n_i - \bar{N}}{\sqrt{\bar{N}}}$$

其中： n_i 为某时间窗内地震个数， \bar{N} 为 n_i 的平均值。

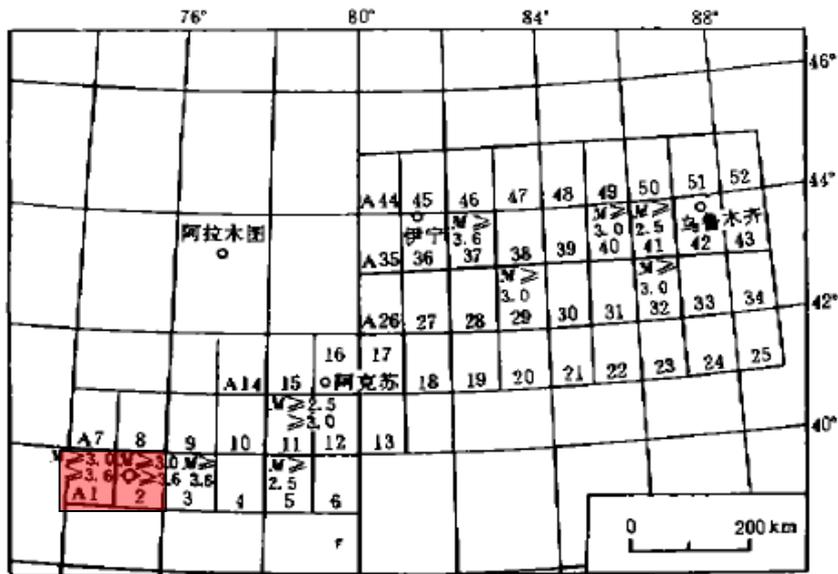
异常的本质：反映地震活动**平静异常**特征。

1° × 1° 空间窗，1年时间窗，1° 滑动步长计算。

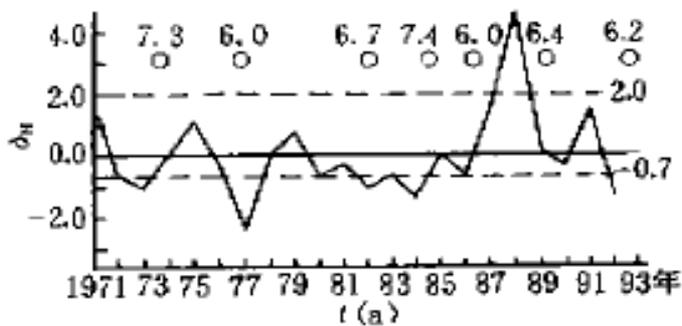
低值异常。

异常识别：<均值-1倍标准差。

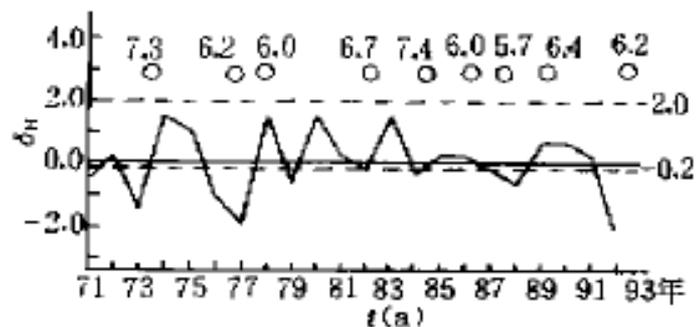
异常区3° × 3° 范围有震；异常有效期1年。



新疆天山地区 σ_H 值扫描计算分区图

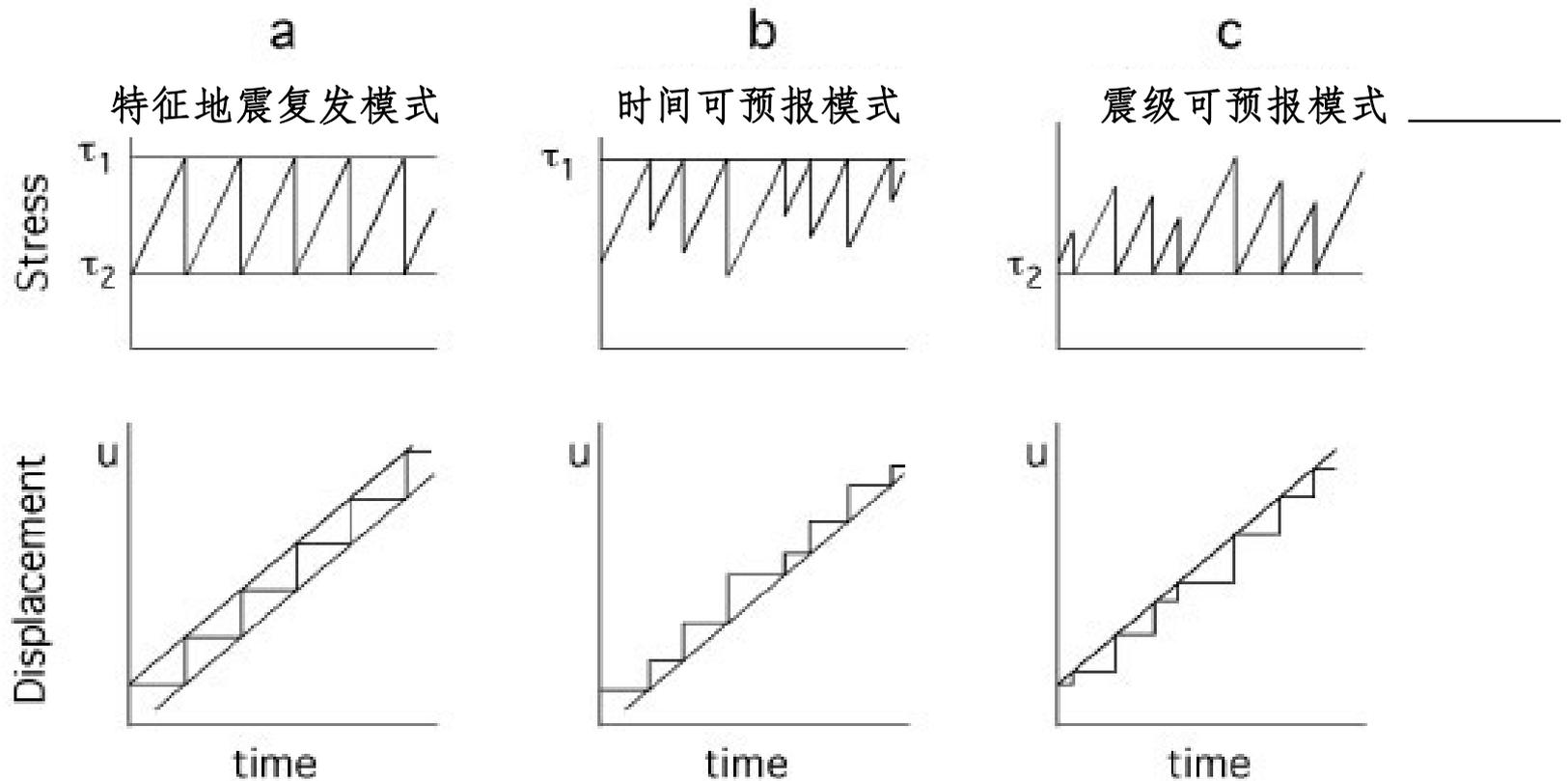


A1区 σ_H 值曲线



A2区 σ_H 值曲线

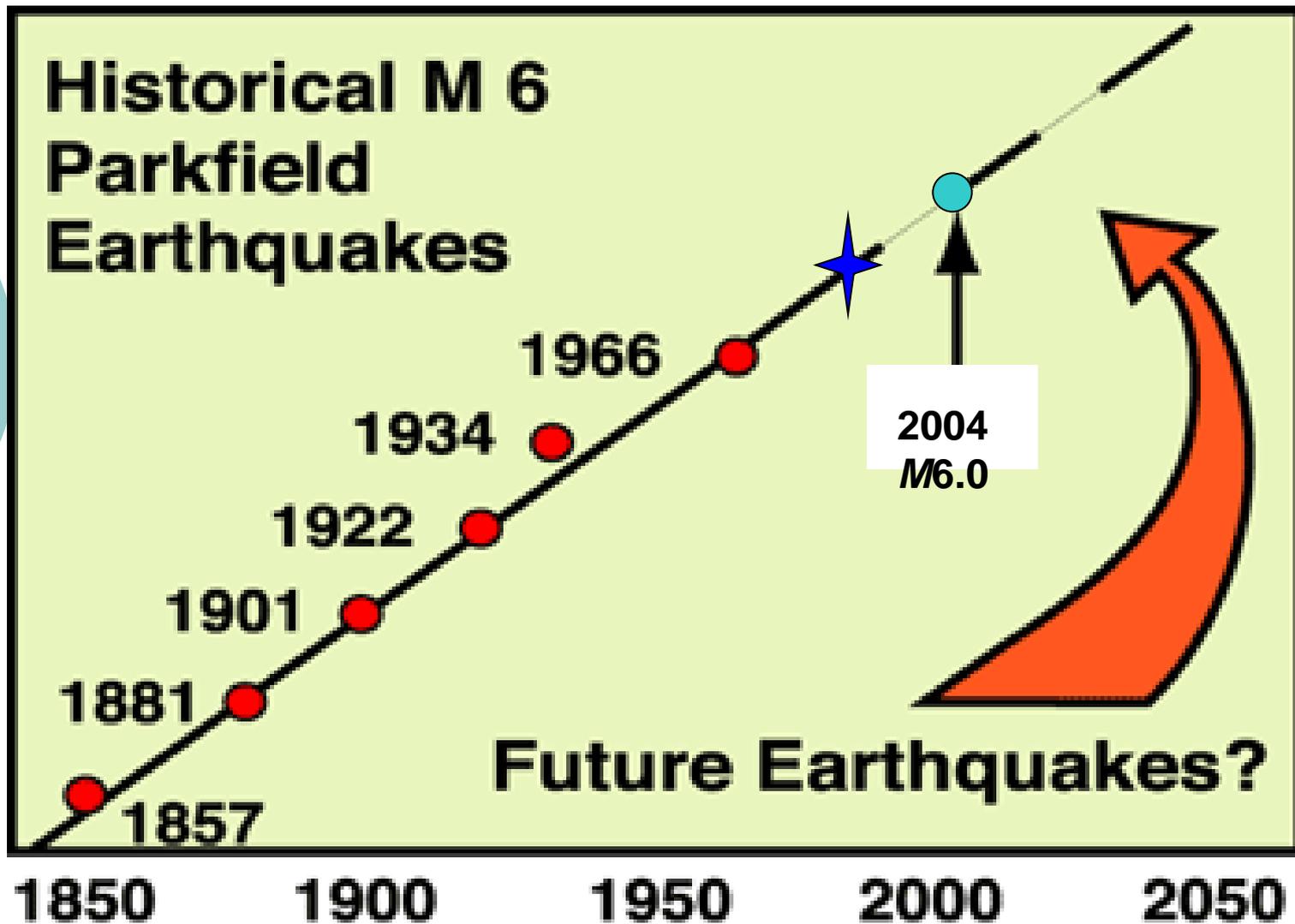
3.3、地震复发模式 (Lay & Wallace, 1995)



加载速率恒定
 极限应力 τ_1 恒定
 终止应力 τ_2 恒定

加载速率恒定
 极限应力 τ_1 恒定
 终止应力 τ_2 变化

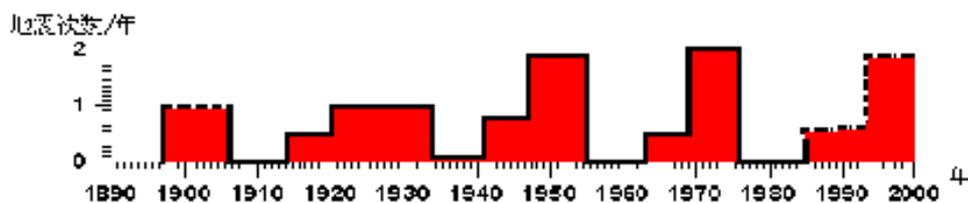
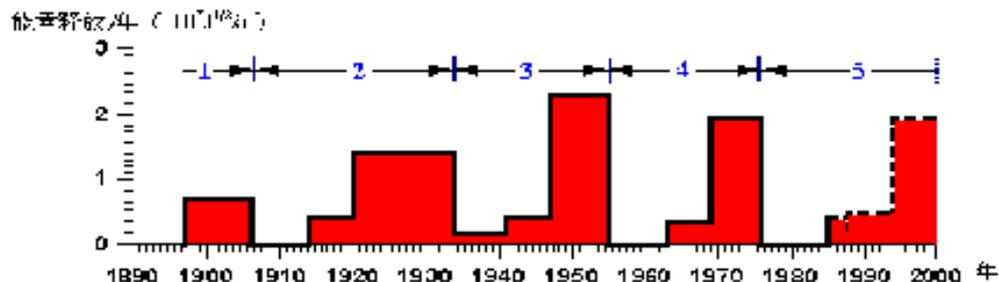
加载速率恒定
 极限应力 τ_1 变化
 终止应力 τ_2 恒定



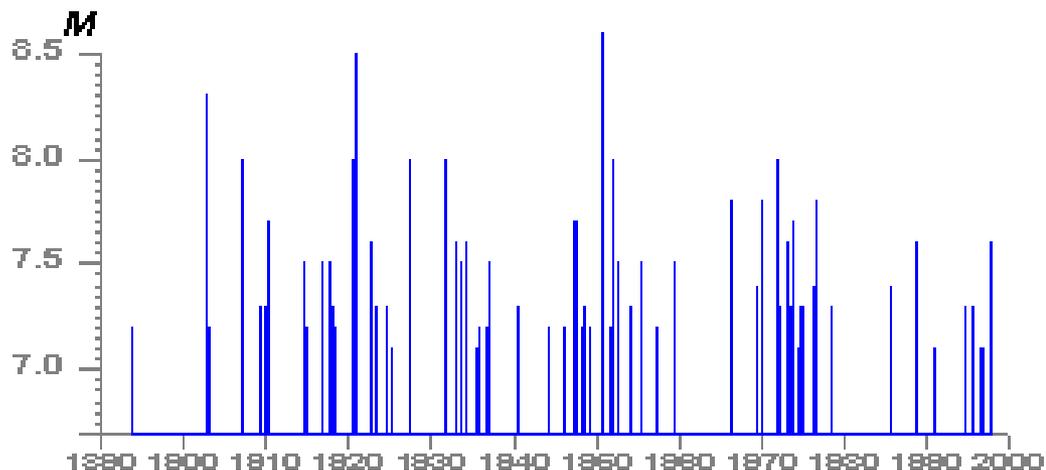
基于特征地震周期性复发模型，预计在1988年发生的San Andreas 断层 Parkfield地震，推迟16年至2004年才发生。

周期轮回

我国
上世
纪强
震周
期轮
回图



中国大陆地震周期的划分



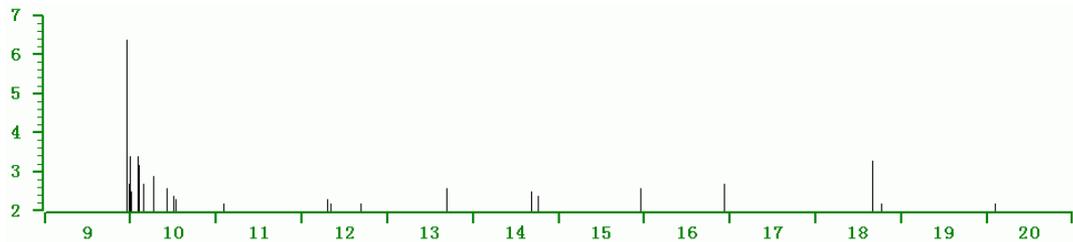
统计平均表明:

(a) 每个活跃
期持续时间为

$$\Delta t = 11 \sim 17 \text{年}$$

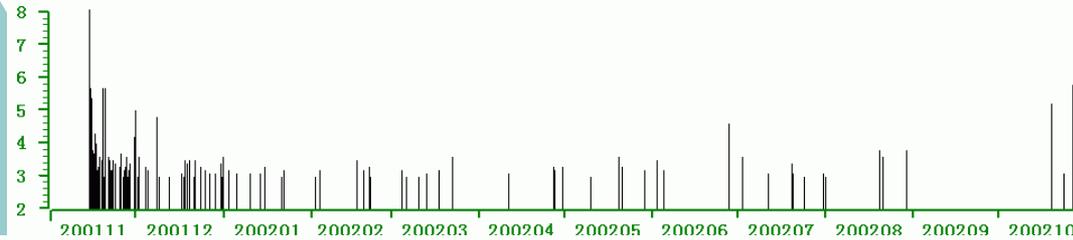
(b) 每个活跃
期中发生15次左右
7级以上的大地震;

(c) 最大震级
在7.8-8.5级之间。



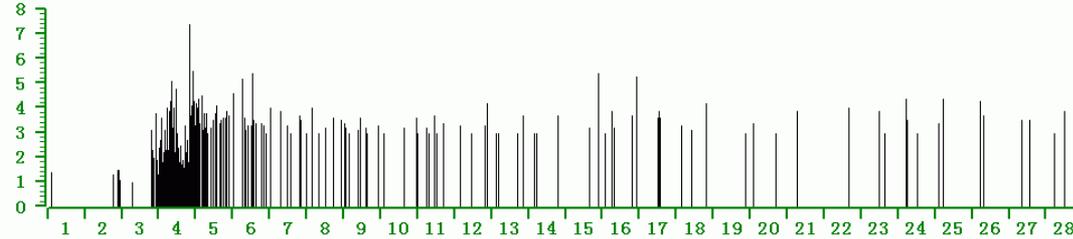
孤立型

1996.11.9 长江口 Ms6.1



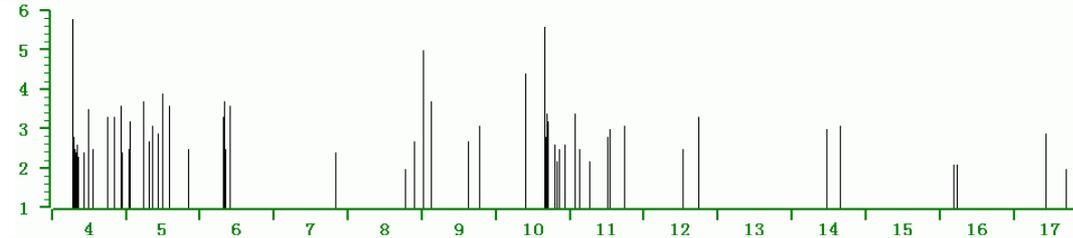
主-余型

2001.11.14 昆仑山 Ms8.1



前-主-余型

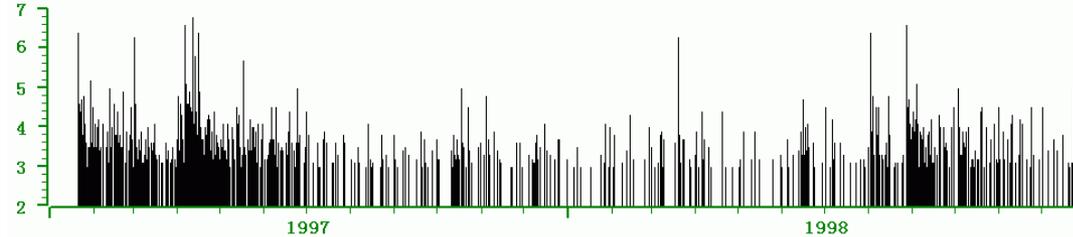
1975.02.04 海城 Ms7.4



震群型

(多震型、双震型)

1988.01.04 大同 Ms5.8

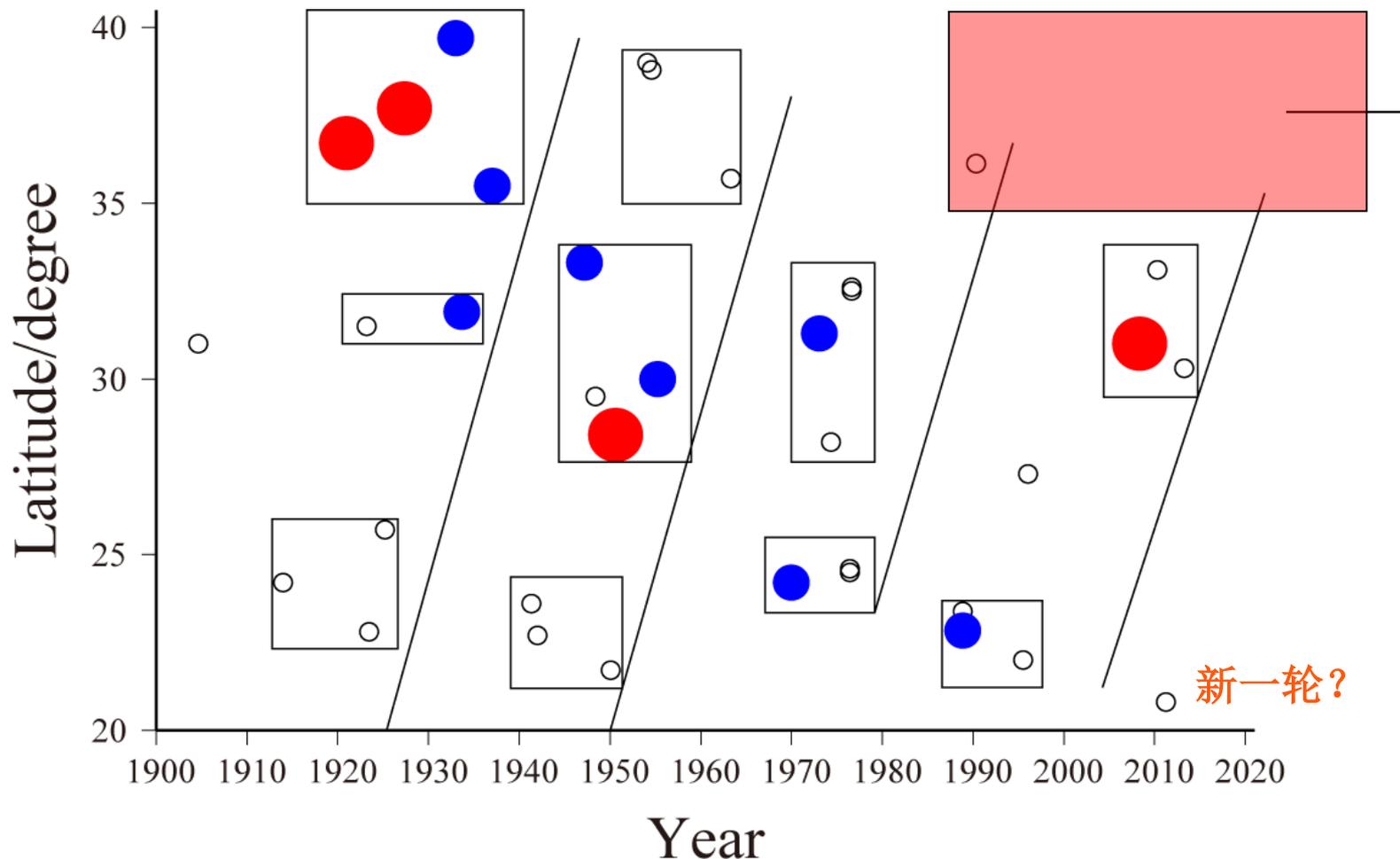


第二类震群

1997-1998 伽师

11次6级地震

■ 强震时空迁移:



南北地震带7级地震时空迁移图像

南北地震带北段缺7级地震；南段处于开始新一轮活跃的优势时段。

后记：

本实习讲稿参考和引用了中国地震局地球物理所、防灾科技学院及四川省地震局易桂喜、闻学泽、朱航等研究者的作品，在此表示感谢！



谢谢大家!