

中国大陆强震活动与其周缘强震活动的相关性

虞雪君 姚立珣 顾瑾平 盛国英

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

板块内部的应力主要来自于相邻板块的挤压,因而,我国大陆板块内部的地震活动与周围几大板块的运动紧密相关。板块边缘的强震活动是板块运动的明显标志。本文研究了板块边缘强震活动与大陆内部强震活动在时间、空间和强度上的相关性。从中总结出估计大陆内部地震形势的方法和指标,并且运用这些指标对我国大陆未来的地震形势作出了具体的推测。

一、前 言

中国大陆板块南邻印度板块,东邻太平洋板块,东南接菲律宾板块,西北部与蒙古——西伯利亚板块相连接。中国大陆内部处在几大板块挤压之下,形成高应力区,地震活动十分频繁〔1〕〔2〕。板块边界经常出现大地震活动是板块运动的明显标志,板块内部的应力主要来自于板块边界的挤压〔3〕,大陆板块内部的地震活动与板块边界的运动是紧密相关的。这样,研究板块边界的大震活动与大陆内部的大震活动的关系(在时间、空间以及强度上)就具有重要的意义。特别是如果能从中找出预报大陆内部地震形势的指标就更有其现实意义。对中国东部地震活动与日本地震活动的关系已有所研究〔4〕〔5〕〔6〕,但对整个中国大陆内部的地震活动与周缘地区的地震活动的关系还没有系统地讨论。本文就是试图从研究中国大陆内部地震与周缘地震活动的关系上寻找预测大陆内部地震趋势的方法。

二、资料的选取及研究途径

自有仪器记载以来,对七级以上的地震基本无漏记,因此研究七级以上的地震活动规律具备了可靠的基础。鉴于1900年之后才有较完善的仪器记录,所以本文选取1900年以后到目前(1986年9月)为止发生在中国大陆周缘地区 $M_s \geq 7.4$ 级和大陆内部 $M_s \geq 7.0$ 级的浅源地震($h \leq 69\text{km}$)。对于深源地震,其成因和机制与浅源地震有所不同,这里暂不作讨论。

所使用的地震目录为《全球大地震目录》(国家地震局情报资料室编),也参考了其它一些地震目录〔9〕〔10〕。

对这些大地震的研究结果表明,中国及其邻近地区浅源地震活动有明显的周期性,不同的作者划分周期略有差别〔7〕。本文首先将中国大陆内部的地震活动与其周缘板块边界上的地震活动区分开来,然后寻找两者之间的联系,进而给出判断大陆内部地震活动形势的时间指标、强度指标和地区指标。

在研究中,将中国大陆周缘分成三大地震带:(1)位于中国西北的阿拉木图—新疆富蕴—贝加尔湖地震带,简称西北缘地震带。该带无明显的地质标志,但沿该带分布着一系列深大湖泊,文献〔8〕推测这里是板块边界。(2)喜马拉雅山地震带。这是印度板块下插的边界,简称西南缘带。(3)太平洋西缘地震带。由于该带很长,我们仅截取菲律宾以北—台湾—琉球群岛—日本—堪察加(53°N , 160°E)这一条长带,简称东缘带。图1给出了中国大陆周缘的板块边界、地震带划分及八级大震分布。

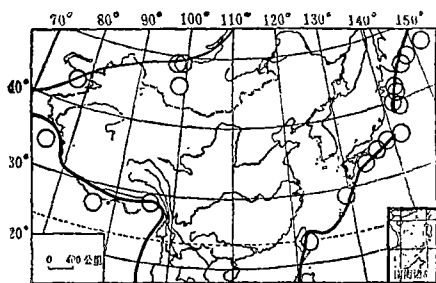


图1 中国大陆周缘板块边界及八级大震分布
Fig.1 The plate boundary and the distribution of large earthquakes ($M \geq 8$) around Chinese continent

本文从以下三方面讨论了这三个周缘地震带的地震活动与大陆内部地震活动的关系:(1)板块边缘地震带活跃期的起始时间与大陆内部地震活跃期的起始时间的关系;(2)同一活跃期内,周缘地震带的地震强度与大陆内部地震强度的关系;(3)三大地震带地震强度的相对变化与大陆强震活动主体转移的关系。

三、周缘地震带地震活动与我国大陆内部地震活动的相关性

1. 活跃期的起始时间

图2给出了中国大陆内部及周缘三大地震带上的地震活动序列。

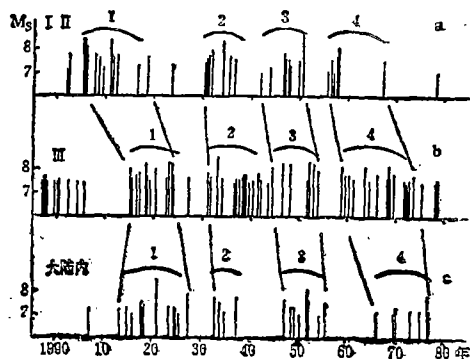


图2 中国大陆内部及周缘三大地震带上的地震活动序列

a. 西北、西南缘地震带 b. 东缘地震带 c. 大陆内部
Fig.2 The earthquake sequences within Chinese continent and along three major seismic belt around it
a. The northwest and southwest boundary seismic belt
b. The eastern boundary seismic belt
c. The seismic belt within Chinese continent

由图2a可见,西缘地震带地震活动的特点是:地震频度不高,但其强度很大,并且活动的周期性很强。该带上地震活跃期与平静期的时间大体相当,均在6~13年之间。东缘带是三大周缘带中地震活动最强烈的地震带。由图2b可见,东缘带的地震活动的周期性也比较明显:其活跃期为9~16年,而其平静期为5~10年(其中第2、3活跃期之间仅平静1年)。在东缘地震带上,地震活跃期远远长于平静期。中国大陆内部的地震活动几起几落,其周期性更为明显,且与周缘带的地震活动有呼应现象(图2c)。

根据图2所示的地震活动序列,表1给出了这几个带(区)1900年以来历次地震活跃期的起始时间。

表1 地震活跃期的起始时间

地震活跃期	I	II	III	IV	V
西缘地震带	1905年~	1930年~	1942年~	1956年~	1985年~
东缘地震带	1915年~	1931年~	1944年~	1958年~	1978年~
大陆内区	1913年~	1932年~	1947年~	1966年~	?

由表1可清楚地看到:大陆内部与周缘地震带地震活跃期的起始时间有很好的一致性。一般中国大陆内部地震活跃期的起始时间比周缘地震带晚2~10年。据此可把周缘地区的地震活动变化看作判定大陆内部地震形势的信号。

2. 大陆内部地震能量与周缘地震能量的关系

中国大陆内部的地震活动强度与周缘大震的活动强度也密切相关。太平洋板块和印度洋板块对中国大陆有推压作用,而北面的蒙古——西伯利亚板块有抵挡作用,因而形成中国大陆内部的高应力场。当中国大陆周围的板块运动加剧时首先在板块边缘地区发生大地震,这些大地震的发生释放大量的能量,进一步加剧了大陆内部的动力过程,在大陆内部应力集中的地区就可能导致大地震的发生,形成大陆内部的强震活跃期。我们可拟从能量角度研究边缘大震与中国大陆内部大震的关系。

为使问题简化,本文用断裂力学方法求应变能^[11]。设地震破裂过程发生在连续介质中的一个位移不连续面上(即裂缝上),破裂部分服从固定应力降条件,对于大多数地震应力降一般为10~100巴^[11]。震源过程是在地壳某些部分出现突然应力降开始,然后断裂向外扩展传播。通常断裂沿原有的断层扩展,并假设震源过程仅发生在一个平面上。由于我们仅研究浅源地震($h \leq 69 \text{ km}$),因此可以把这些地震断裂认为是剪切型的,均按Ⅱ型裂缝处理。

对地壳内地震作上述简化后,即可估计地震发生时断裂扩展所释放的应变能。

设裂缝初始长度为 $2a$,当扩展 δa 时应变能释放率为^[11]:

$$G = \lim_{\delta a \rightarrow 0} \frac{1}{2\delta a} \int_0^{\delta a} \sigma_{ij}(r, \theta) \Delta u_i (\delta a - r) \delta r \quad (1)$$

式中 i 代表Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型裂缝, $\sigma_{ij}(r, \theta)$ 是裂缝扩展前裂缝尖端的应力场, Δu 是裂缝扩展 δa 后裂缝尖端附近的位移量。式中的 $\frac{1}{2}$ 是 σ_{ij} 与 Δu_i 成线性的结果。

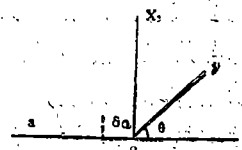


图 3

$$\text{当 } \theta = 0 \text{ 时 } \sigma_{ij}(x, 0) = (K_I, K_{II}, K_{III}) / \sqrt{2\pi x} \quad (2)$$

$$\text{当 } \theta = \pi \text{ 时 } (\Delta u_I, \Delta u_{II}, \Delta u_{III})$$

$$= (K_I, K_{II}, K_{III} / (1 - \nu)) \frac{4(1 - \nu)}{\mu} \sqrt{(\delta a - x) / 2\pi} \quad (3)$$

式中 ν 为泊松比, μ 为剪切模量, K_I 、 K_{II} 、 K_{III} 分别为 I、II、III 型裂缝的应力强度因子。

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi(a + \delta a)}, \text{ 当 } \delta a \rightarrow 0 \text{ 时, } K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (4)$$

将 (2)、(3) 式代入 (1) 式, 取 $j = II$, 得:

$$G_{II} = \lim_{\delta a \rightarrow 0} \frac{1}{2\delta a} \int_0^{\delta a} \frac{4(1 - \nu) K_{II}^2}{2\pi\mu} \sqrt{\frac{\delta a - x}{x}} dx$$

$$= \begin{cases} \frac{1 - \nu}{2\mu} K_{II}^2 & (\text{平面应变}) \\ \frac{1}{2\mu(1 + \nu)} K_{II}^2 & (\text{平面应力}) \end{cases} \quad (5)$$

实际地震的破裂速度一般为 1.3—2.0 km/sec, 震源的时间函数一般是几秒, 因此初始破裂 (破裂核) 的长度与地震断层的总长度相比可忽略不计。这样当裂缝双向扩展到长度为 L 时, 释放的总能量为:

$$E = 2b \left(\int_0^{\frac{L}{2}} G_{II} dx \right) = 2b \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{1 - \nu}{2\mu} \Delta \sigma^2 \cdot \pi x \, dx$$

$$= \begin{cases} \frac{(1 - \nu)\pi}{8\mu} b L^2 \Delta \sigma^2 & (\text{平面应变}) \\ \frac{\pi}{8\mu(1 + \nu)} b L^2 \Delta \sigma^2 & (\text{平面应力}) \end{cases} \quad (6)$$

式中 b 为破裂面的宽度, μ 为剪切模量, 取 $\mu = 3.3 \times 10^{11}$ 达因/厘米², ν 为泊松比, 取 $\nu = 0.25$, $\Delta \sigma$ 近似取作 1.10×10^8 达因/厘米²。

从公式 (6) 可见, 断裂扩展到一定长度时释放的能量与断裂长度 L 的二次方成正比, 与断裂宽度 b 的一次方成正比。可见断裂长度 L 在这里起主要作用, 而宽度 b 的作用相对弱一些。

我们把每个大地震作为一次断裂事件。在西缘地震带和我国大陆内部断裂长度 L 均按公式 $M = 3.3 + 2.1 \log L$ 求取^[12]; 在东缘地震带按公式 $M = 3.8 + 2 \log L$ 求取^[13]。这样求得的 L 是近似值, 实际断裂长度可能要大一些。大地震的断裂面宽度近似地取作 60 km。

(1) 各活跃期内大陆内部地震总能量与周缘地震总能量的关系。

将运用上述公式计算的各活跃期内每个地震带 (区) 释放的地震总能量列于表 2。各活跃期内大陆内部与周缘地震带的强震总能量之比约为 30%—48% (见表 2, 因第 I、II 期大陆内部强震活动主体均在西北, 故第 I、II 期总计一个比值)。用这个比值可粗略地衡量大陆内部释放的地震总能量是否充分。若比值远低于 30%, 则表明大陆内部地震释放总能量不充分, 活跃期还未结束, 还可能有强震; 若这个比值已近 50%, 则表明大陆内部地震释放总

能量已较充分，活跃期已近尾声，且强震活动主体将要转移。这一指标是比较粗略的，使用时要留有余地。

表2 各活跃期内周缘地震带及大陆内部强震释放的总能量 ($\times 10^{18}$ 焦耳)

活 跃 期 \ 能 量	西缘E1	东缘E2	大陆E3	比值E3/(E1+E2)
I	20.81	11.50	12.44	0.385
II	9.01	5.36	2.93	0.204
III	10.42	9.03	5.83	0.300
IV	4.04	9.73	6.59	0.479
V(当前)	0.52	2.07	0	0

(2) 各活跃期内大陆首次强震发生前的周缘地震带的地震能量

将各活跃期内大陆首次强震 ($M_s \geq 7.0$) 发生前周缘地震带的能量释放情况列于表3。由表3可见，在一个活跃期开始后，当周缘地震带释放总能量接近 4×10^{18} 焦耳时，就要注意大陆内部是否有可能出现七级以上地震。一般在大陆首次强震前，周缘地震带释放的地震能量大一些，该活跃期内大陆地震的相对活动 (频度和强度) 就强烈。第I、IV活跃期就是一个明显的例证。

表3 各活跃期首次大陆地震 ($M_s \geq 7.0$) 前周缘地震带能量释放情况 ($\times 10^{18}$ 焦耳)

活 跃 期 \ 能 量	西缘E1	东缘E2	E1+E2	该活跃期大陆强震主体
I	20.81	0	20.81	西北 (新疆、宁夏、甘肃)
II	3.729	1.056	4.785	西北 (甘肃、青海)
III	1.898	2.653	4.551	西南 (西藏、青海)
IV	3.393	4.604	7.997	东部 (河北、云南)
V	0.520	2.070	2.590	?

3. 周缘三大地震带地震能量的相对变化与大陆强震活动主体的转移

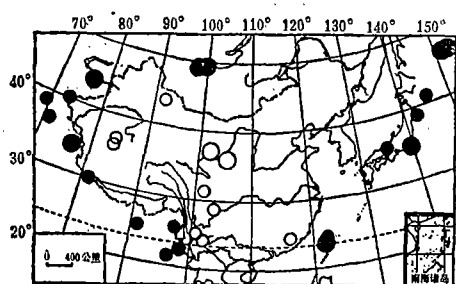
我国大陆强震活动的主体是随着周缘三大地震带地震能量的相对变化而转移的 (表4)。

在第I期，西北缘的地震能量E11显然大于西南缘E12。这一时期我国西北部是强震活动的主体：1920年发生海原8.5级大震，1927年发生古浪8级强震 (图4a)。从第I期经第II期到第III期，西北缘的地震能量逐期减弱，西南缘的地震能量逐期增强，致使大陆强震主体从西北逐渐地转向西南：第II期在青海、甘肃分别发生一次7.7级强震 (图4b)；而第III期则在西藏发生8级强震、在青海达日发生7.6级强震 (图4c)。东缘地震带的地震能量从第I期到第IV期逐期增强，而西缘地震带的 ($E_{11} + E_{12}$) 从第II到第IV期却明显减小，以至到第IV期，大陆强震的活动主体又从我国西南转到东部，在唐山发生了1976年的7.8级强

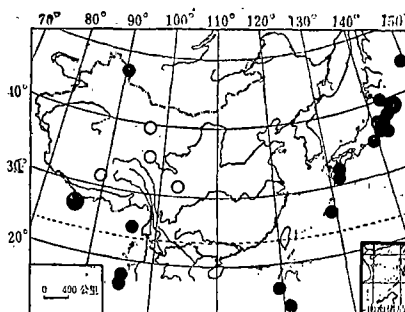
震(图4d)。

表4 中国大陆强震活动主体的转移 ($E, \times 10^{18}$ 焦耳)

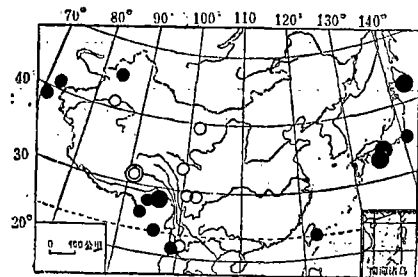
能量 活跃期	西北缘E11	西南缘E12	东缘E2	大陆强震活动主体
I	20.81	2.46	11.50	西北
II	2.08	6.95	5.36	由西北向西南过渡
III	0.65	9.77	9.03	西南
IV	3.39	0.65	9.73	东部
V	0.52	0	2.07	?



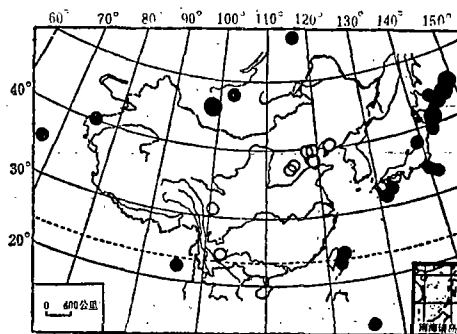
a



b



c



d

图4 第I—IV活跃期内地震分布

a. 第I活跃期 b. 第II活跃期 c. 第III活跃期 d. 第IV活跃期

Fig. 4 The distribution of earthquakes during seismicity periods

a. the first b. the second c. the third d. the fourth

综上所述, 根据周缘地震带强震活动与大陆内部强震活动的相关性估计我国大陆内部的地震趋势有以下几个指标:

- (1) 用周缘地震带强震活跃期的起始时间可推测大陆强震活跃期的起始时间。
- (2) 用大陆强震总能量与周缘强震总能量的比值可粗略估计大陆强震活跃期的始末。
- (3) 用一个活跃期内首次大陆强震前的周缘强震总能量可以估计大陆内部首次强震的发生时间及该活跃期内大陆地震的强度。
- (4) 由各活跃期周缘三大地震带地震能量的相对变化可推测未来的大陆强震的活动主体。

四、对未来几年我国地震形势的估计

1. 我国未来强震活跃期的起始时间

表1表明, 周缘地震带与大陆内部的强震活跃期的起始时间有明显的呼应规律, 一般大陆内部强震活跃期的起始时间较周缘地震带晚2—10年。东、西缘地震带分别于1978年、1985年进入第V活跃期, 至今已有8年, 由此推测, 大陆内区进入第V活跃期已为时不远了。

由表3可见, 在当前第V活跃期中, 周缘带地震总能量仅达 2.590×10^{18} 焦耳, 比1900年以来的任何一个活跃期都弱。今后在周缘地震带至少要再发生3—5个7.4级以上地震或1~2个8级强震, 才可能在大陆内部出现七级以上强震。由此可估计, 1987年在我国大陆内部还不至于发生七级以上强震。大约于(1990 $\pm$ 2)年间大陆强震将进入活跃期。

2. 未来我国大陆强震活动主体

由表4可见, 三个周缘地震带中, 目前第V活跃期中地震能量最可能有增强趋势的是西北缘(对照表1和表4可见, 周缘地震带地震能量的增强过程和减弱过程一般都要经历三个活跃期, 即五十年左右), 所以据目前形势推测, 未来的强震活动主体很可能转向西北(新疆及甘、宁、青一带)。

东缘地震带的地震能量也有可能增强。但是, 东缘地震带能量增强过程已经历了三个活跃期(表4), 在第4活跃期大陆地震释放的能量已较充分(表2)。所以, 大陆强震主体很可能由大陆东部转向别处。

(本文1986年11月26日收到)

参 考 文 献

- [1] 郇家全, 中国及邻区现代构造应力场的区域特征, 地震学报, Vol. 1, No. 1, 1979.
- [2] 李春昱, 中国板块构造轮廓, 中国地质科学院院报, Vol. 2, No. 1, 1980.
- [3] M. H. P Bott, N. J. Kuszniri, The Origin of tectonic stress in the lithosphere, Tectonophysics, Vol. 105, No. 1—13, 1984.
- [4] 吴佳翼、郁昭君, 华北地震同日本地震的相关性, 地球物理学报, Vol. 22, 415—438, 1979.
- [5] 刘正荣等, 珠峰以东的地震活动性, 地震研究, Vol. 6, No. 4, 1983.
- [6] 尾池和夫等, 日本西南部大地震与东亚的地震活动, 自然灾害资料解折, No. 9, 1982.
- [7] 马宗晋等, 中国九大地震, 地震出版社, 1979.
- [8] 国家地震局地质研究所, 亚欧地震构造图, 地图出版社, 1981.
- [9] Robert A. Ganse, John B. Nelson, Catalog of significant earthquakes, published by world data center a for solid geophysics, 1981.
- [10] 国家地震局, 中国地震简目, 地震出版社, 1977.
- [11] B.R. 劳恩、T.R. 威尔肖, 脆性固体断裂力学, 地震出版社, 1985.
- [12] 郭增建、秦保燕等, 地震孕育模式的初步讨论, 地球物理学报, Vol. 16, 1973.
- [13] 刘正荣, 地震学基础, 科学出版社, 1979.

THE CORRELATION BETWEEN STRONG SEISMICITY WITHIN CHINESE CONTINENT AND STRONG SEISMICITY AROUND IT

Yu Xuejun, Yao Lixun, Gu Jinping and Sheng Guoying

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau, China)

Abstract

The stress within Chinese continent plate results mainly from the compression of neighbouring plate, therefore, the seismicity within the plate has a direct bearing on the movement of several large plate around it. The strong seismicity along boundary of the plate is a clear signal of the plate movement. In this paper, the correlation between the strong seismicity within Chinese continent and the strong seismicity around it have been researched in time, space and magnitude of the earthquake. The method and indexes estimation earthquake situation also have been advanced. Furthermore, from the indexes we drew the concrete inference of the future earthquake situation in Chinese continent.