

汶川地震后中国及邻区地震活动趋势*

——地震能量释放特征的“振荡类比”研究

胡卫建¹⁾ 尚 红¹⁾ 刘惠娟²⁾ 王夫运³⁾ 李平林^{2)†}

1) (中国地震应急搜救中心, 北京 100049)

2) (郑州大学物理工程学院, 郑州 450001)

3) (中国地震局地球物理勘探中心, 郑州 450002)

(2009 年 7 月 23 日收到; 2010 年 1 月 13 日收到修改稿)

根据欧亚地震带东段地质构造和地震活动特征, 选取中国及邻区地震区域, 对 1897—2008 年发生的 824 次震级 $M_s \geq 6.0$ 地震的年度释放能量进行滤波和系统分析. 结果显示, 地震能量释放特征表现为周期性衰减振荡. 通过振荡特征分析和计算, 从理论上预测中国及邻区长期和中短期强震活动形势. 计算结果表明, 所选区域内大陆板块地震活跃时间应持续 153.7 a, 如果从 1897 年开始, 即到 2050 年结束. 这一理论结果与中国两千多年历史地震资料分析结论一致, 也为我国的地震活跃期持续 150 a 左右提供了理论依据. 同时, 根据地震活动周期性特征进行初步预测检验, 进而从理论上预测了未来中短期地震活动趋势.

关键词: 中国大陆及邻区, 年度地震能量, 强震活动预测, 振荡类比

PACC: 9130, 9130P, 9145B

1. 引言

2008 年 5 月 12 日, 处于南北地震带的汶川突然发生震级 $M_s = 8.0$ 的特大地震, 造成重大人员伤亡和财产损失, 分析我国未来地震活动趋势成为一个严峻课题. 南北地震带位于中国大陆东西构造体系的过渡带上^[1-5], 其构造活动是两侧地块相对运动的集中反映, 因此汶川地震直接标志乃至影响着整个大陆地震活动进程. 在南北地震带附近, 构造应力基本上为自西向东挤压^[6,7], 在这种应力背景下, 汶川地震对于认识和分析我国东部未来地震形势^[8-11] 具有十分重要的意义. 本文将汶川地震作为最末事件样本计入地震活动序列, 从地震能量释放特征来分析中国大陆及邻区未来地震形势. 为了尽可能合理地反映构造运动的自然进程, 需要考虑地震序列的完整性, 在研究区内按照强度和频度变化特征, 选取最近一百余年地震事件样本. 同时, 按照地质构造背景和地震活动特征划分研究区域, 基本

以青藏高原为主体, 包括从构造和应力直接受高原影响的周边相关地震区^[12, 13], 在地理上属于中国大陆及邻区. 在研究区域内仅考虑地震震级 $M_s \geq 6.0$ 的强震^[14-16], 由于研究的是地震能量释放特征, 因而所有强前震和余震都计算在内, 并将地震震级换算为能量, 然后按年度进行累加. 为了降低年度地震能量数据的离散度, 对数据进行了(加窗)褶积滤波. 通过进一步的数据分析和计算, 地震能量释放曲线显示出周期性衰减(阻尼)振荡, 在统计意义上将其应用于地震趋势预测具有可靠的物理基础. 我们利用地震能量衰减特征进行分析计算的结果表明, 中国大陆及邻区地震活跃期应持续 150 a 左右, 与中国两千多年历史地震资料统计分析结果^[17-19] 相符. 根据地震活动周期性特征所作分析预测显示, 当前地震活跃期应持续到 2010—2012 年, 随后出现相对平静期, 2020—2021 年前后开始下一个地震活跃期, 预期到 2040 年左右结束. 此后更长时间, 地震活动将进入平静期, 应表现为继续衰减特征.

* 国家自然科学基金重大计划(批准号:90814012)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: lipinglin@zzu.edu.cn

2. 地震区域划分和构造背景

地震震中分布形成庞大的地震带,中国大陆及邻区地震活动受欧亚地震带和环太平洋地震带控制^[11,12].从构造背景以及地震时间、频度、空间、强度等特征看,我国台湾和东南沿海(图1中Ⅸ区)以及日本、菲律宾地震属于环太平洋地震带,其他区域地震属于欧亚地震带.考虑到地震活动特征的一致性,本文研究范围仅限于欧亚地震带东段,未包括环太平洋地震带的台湾和东南沿海(图1中Ⅸ区)地震区.我们按地质构造和地震分布划分研究区域,其北界为帕米尔—贝加尔地震带(图1中Ⅴ区、Ⅵ区、Ⅶ区、Ⅹ区、Ⅺ区、Ⅻ区六个区),南界为喜马拉雅南缘地震带(图1中Ⅰ区),中部为青藏高原地震区和南北地震带(图1中Ⅱ区、Ⅲ区、Ⅳ区),东部为华北地震区(图1中Ⅷ区)^[18].这里所选区域基本以青藏高原为主体,包括从构造和应力直接受高原影响的周边相关地震区^[12, 13, 18],在地理上属于中国大陆及邻区.从地球动力学观点考察^[20],整个研究区域内构造展示了青藏高原及其周边山系形成的受力过程,所选各区地震活动均为这一长期受力

过程的当前反映.从大规模构造运动看,印度板块以每年约40 mm的速度向北推进,俯冲于亚洲板块之下,受力前缘形成喜马拉雅山系,北部受到西伯利亚地块阻挡,造成地壳缩短褶皱及青藏高原快速隆起,同时驱动高原物质不断向东涌挤推覆,由于受到以四川盆地前盾而岩石圈根基稳定的扬子地块抵抗,在高原东部造成强烈的向东挤压,迫使地壳物质沿高原东缘堆积,形成南北向挤压构造带(东经105°—110°),亦即表现为中国大陆及邻区最活跃的南北地震带.龙门山断裂带为该带最东缘的逆冲断层带,它由一系列北东向展布的三条主干大断裂和次级断层系组成^[3],是中国乃至全球地形陡度最大的一个构造带,作为两大不同构造体系边界带,地壳岩石圈结构表现为龙门山以东为薄壳薄幔,以西为厚壳厚幔.汶川特大地震现场的地表破裂特征明确显示,发震断裂上盘由西向东逆冲伴随右旋走滑活动,美国地质调查局和哈佛大学也提出震源机制属于逆冲为主加右旋走滑^[4].2001年11月昆仑山发生 $M_s=8.1$ 地震,表明高原向西北部推挤的能量基本得到释放.汶川地震揭示了青藏高原的挤压应力集中区由西北转向东部,其剩余应力将通过扬子地块向东传递,直接影响大华北地震活

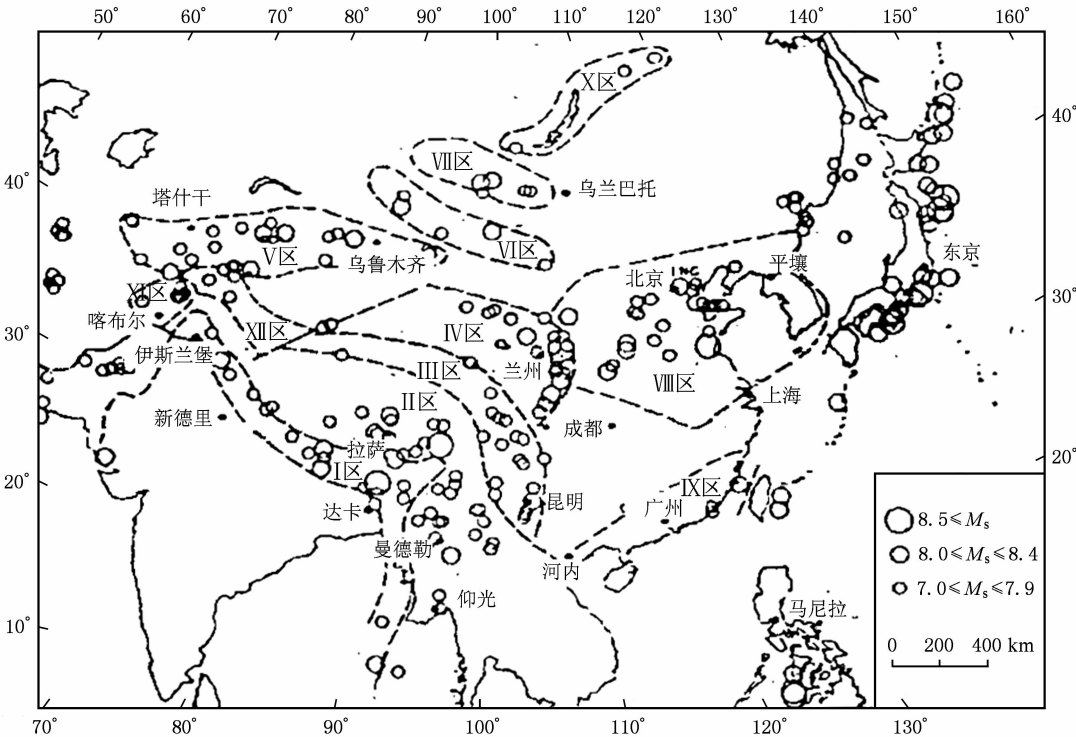


图1 东亚和中亚地区强震活动分区图^[18] I区为喜马拉雅南缘地震区,Ⅱ区为青藏高原南部地震区,Ⅲ区为青藏高原中部地震区,Ⅳ区为青藏高原北部地震区,Ⅴ区为天山地震带,Ⅵ区为阿尔泰地震带,Ⅶ区为抗爱山地震带,Ⅷ区为华北地震带,Ⅸ区为东南沿海地震带,Ⅹ区为贝加尔地震带,Ⅺ区为兴都库什地震带,Ⅻ区为帕米尔-西昆仑地震带

动.如果我们能够利用适当的地球物理方法分析地层中地震波特征^[21-25],以检测地壳中应力作用状态,对预测未来大地震活动应该具有重要意义.

3. 地震活动期与能量释放特征

在所选的地震区内,自 1897 年印度阿萨姆发生

$M_s=8.7$ 特大地震之后,大地震及特大地震异常活跃,而且显示出周期性活动特征.丁鉴海等^[26]在 1993 年指出,当前地震活动期从 1897 年算是合适的.到 2008 年底为止地震活动基本可以划分为五个活跃期^[11, 26],各活跃期时段及释放的总能量列于表 1.

表 1 中国及邻区五个地震活跃期及其释放总能量

地震活跃期	1	2	3	4	5
起止年份	1897—1914	1920—1937	1946—1957	1965—1976	1988—2012
总能量/ 10^{17} J	23.8886	9.2131	10.4537	2.5307	4.0296

自 1897 年 1 月到 2008 年 12 月,研究区域内发生 $M_s\geq 6.0$ 地震共 824 次.本文研究用地震目录资料主要根据文献[14—16]三份目录和根据中国地震信息网资料整理得到 1980—2008 年的地震目录.地震事件选取的原则如下:凡是三份目录中记载的时间空间强度三要素完全一致,即作为一个地震事件列入目录;仅在一份目录中出现的三要素独立且完整的地震,即使其他两份目录未记载也作为一个地震事件列入,这类事件一般为 $M_s<7.0$ 地震,数量较多,有的被视作前震或余震而在目录中未尽列入,这是造成不同目录存在差异的主要原因.由于研究的是地震能量释放特征,所有 $M_s\geq 6.0$ 的前震和余震都计算在内.利用下式将目录中的地震震级 M_s 换算为能量(单位为 J):

$$\lg E = 4.8 + 1.5M_s. \tag{1}$$

据此可以分析 $M_s<6.0$ 地震对计算结果的影响.有关研究结果^[19]显示,中国大陆的地震频次 N 和震级 M_s 的关系为

$$\ln N = 5.00200 - 0.57875M_s. \tag{2}$$

由(1)式可求得所有 $M_s<6.0$ 的地震总能量与 $M_s\geq 6.0$ 的地震总能量之比为 0.00172.所有 $M_s<6.0$ 的地震总能量不足所计算能量的 0.2%,故将其舍弃后对于计算地震活动弛豫时间和周期的影响甚微,可以忽略不计.因此,仅计算 $M_s\geq 6.0$ 地震能量不影响对地块活动分析的基本结论.利用(1)式计算每个地震能量,进而求年度之和,可得年度地震能量序列 $E_k(k=1,2,\cdots,n)$,这里 n 为年度地震能量和的样本数,即选取地震资料的年度数.为减小数据的离散度,对 E_k 进行褶积滤波,滤波后的年度地震能量序列记法不变.滤波公式为

$$E_k = \sum_{j=-N}^N h_j E_{k-j}, \tag{3}$$

式中 h_j 为窗函数,通过分析比较,取简单的矩形窗滤波效果最佳.由采样定理可知,滤波步长由振荡的最小周期确定,即奈奎斯周期 $T_{NQ} = T_{\min}$.由表 1 可知, T_{NQ} 为 19 a,由于 $\Delta T \leq T_{NQ}/2 = 9.5$,取其整数,即 $\Delta T = 9$,可以确定 $N=4$.地震能量序列的首尾点附近数据均用半窗向全窗过渡进行滤波处理,如 2008 年尾点数据用左半窗滤波等.为了突出能量变化量并便于作图,对 E_k 进行简单变换,变换后记为 $E_m(m=1,2,\cdots,n)$,即有

$$E_m = E_k/E_c, \tag{4}$$

式中 $E_c = 1.0 \times 10^{14}$ J.以 t (年份)为横轴,作 $\lg E-t$ 曲线,如图 2 所示.而 $\lg E$ 离散点基本呈直线分布,求其直线回归方程,可得

$$\lg E = 2.868 - 0.0113t. \tag{5}$$

相应的统计参数为相关系数 $r = -0.750871$,均方差 $\sigma_{n-1} = 0.449161$.显然, $|r| = 0.750871 > R\{n = 112, \alpha = 1\} \approx 0.241$,其中 R 为相关系数检验值, α 为信度.可见(5)式满足直线方程检验条件.由此可知,应用上述分析结果预测未来地震趋势是可行的.根据 $\lg E-t$ 回归直线和能量振荡曲线特征,可将其分别应用于长期和中短期地震活动预测.

4. 长期地震形势预测——振荡类比 I

在对数坐标上,方程(5)呈一条递减直线(图 2),而在线性坐标上则为一 条衰减曲线(图 3),结合上述能量准周期波动,显然可将中国及邻区大陆板块的地震活动类比为阻尼振荡和受迫阻尼振荡.地震能量不断释放如同阻尼一样消耗振荡能,所研究

区域地块受到印度板块持续挤压如同振荡受迫力. 振荡是自然界普遍存在的物理现象, 从中发现的运动规律具有普适性, 我们将地震活动以振荡类比, 用相应的参数描述地震活动具有明确的物理意义, 其中地震活动周期对应于振荡周期, 地震持续活动对应于地块的弛豫过程, 用这些活动规律适当外延即可预测未来地震活动趋势.

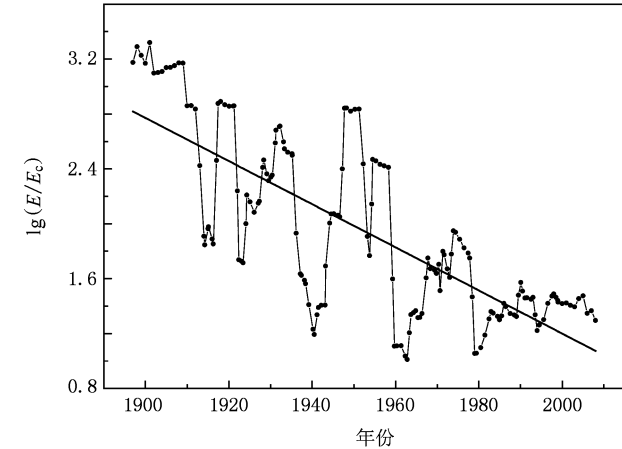


图2 中国大陆及邻区年度地震能量对数曲线 将 1897—2008 年 $M_s \geq 6.0$ 地震换算为能量并按年度累加

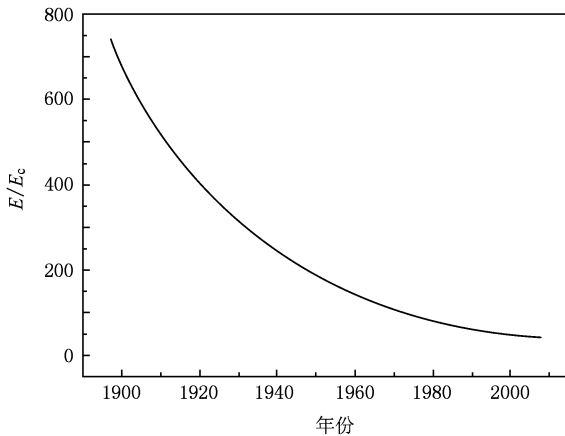


图3 中国大陆及邻区 1897—2008 年年度释放地震能量衰减特征

首先, 分析一个非平衡物理过程向平衡态过渡的振荡系统. 一般经过“弛豫时间”振荡之后标志着系统实现平衡态, 振荡基本结束, 如常见的阻尼振荡和受迫阻尼振荡. 这里阻尼振荡振幅为

$$A = A_0 \exp(-t/\tau). \quad (6)$$

阻尼振荡能量为

$$W(t) \propto A^2 = A_0^2 \exp(-2t/\tau), \quad (7)$$

其中 τ 为振荡的弛豫时间. 而受迫阻尼振荡周期 T

与固有周期 T_0 的关系为

$$T = \frac{4\pi\tau T_0}{\sqrt{16\pi^2\tau^2 - T_0^2}}. \quad (8)$$

当 $16\pi^2\tau^2 \gg T_0^2$ 时, $T \approx T_0$. 这样就有下列关系式: 受迫阻尼振荡位移振幅为

$$A = A_0 \exp(-t/2\tau). \quad (9)$$

受迫阻尼振荡能量为

$$W(t) \propto A^2 = A_0^2 \exp(-t/\tau). \quad (10)$$

为了便于类比, 将(5)式表示为下列形式:

$$\ln E = 6.6038 - 0.02602t, \quad (11)$$

$$E(t) = 737.9042 \exp(-0.02602t). \quad (12)$$

由(12)式得到的衰减指数曲线如图3所示. 弛豫时间 τ 是由振荡体固有结构等因素决定的, 这在物理学中是一个普适概念, 适用于非平衡态到平衡态过渡的任何物理过程, 将其用于描述地壳板块地震活动(非平衡态)向平静(平衡态)的过渡, 物理意义明确且容易确定各种参数. 记地壳板块地震活动弛豫时间为 τ_e . 比较(12)和(7)式可得 $\tau_e = 2 / 0.02602 \approx 76.864$ a. 由于印度板块对中国及邻区大陆板块的持续推挤作用, 使其地震活动呈现周期性起伏, 记该周期为 T_e , 由表1可得 $T_e \approx 22$ a. 显然, τ_e 和 T_e 满足(8)式中 $T \approx T_0$ 的条件. 因此可以认为板块受外力作用下的受迫振荡周期亦为地震活动周期 T_e , 那么板块活动的弛豫时间理应延长, 如同受迫阻尼振荡一样. 我们将受迫阻尼振荡弛豫时间记为 τ_r , 用能量关系表示, 即经历 τ_r 时间振荡后系统的能量衰减为初始能量的 $1/e^2$ 倍, 随后即可认为系统进入平衡态, 振荡趋于平静. 由(10)式可得

$$\begin{aligned} \frac{W(t_0 + \tau_r)}{W(t_0)} &= \frac{\exp[-(t_0 + \tau_r)/\tau]}{\exp(-t_0/\tau)} \\ &= \exp(-\tau_r/\tau) = 1/e^2, \end{aligned} \quad (13)$$

故有

$$\tau_r = 2\tau. \quad (14)$$

由于中国大陆及邻区地壳板块受印度板块持续挤压, 其构造和地震活动应视为受迫阻尼振荡, 其弛豫时间相应地记为 τ_{re} , 则有

$$\tau_{re} = 2\tau_e. \quad (15)$$

由(15)式计算可得 $\tau_{re} = 153.728$ a. 按照这一理论结果, 中国大陆及邻区的地震活跃期应该持续 154 a 左右. 如果以 1897 年阿萨姆 $M_s = 8.7$ 地震为本地震活跃期起始时间, 到 2050 年应基本结束, 尔后是 100 a 以上的平静期, 并为下个地震活跃期积累能量. 这一计算结果与中国两千余年历史地震研究结

论^[17]十分符合. 由于其他地区历史地震资料缺乏, 难以确定长期地震活动周期, 因此只能研究历史资料较丰富的华北和青藏高原东北部地区. 不同分析方法均显示地震活跃周期为 150 a 左右^[18, 19]. 而本文研究的理论结果为 $\tau_{re} = 153.7$ a, 表明中国及邻区地震活动周期基本稳定, 理论分析和历史地震资料统计结果也相当一致. 因此, 我们的研究不仅为统计结果找到了理论依据, 同时也表明对研究区域内地震活动趋势所作长期预测具有相当的可信度.

5. 中短期地震形势预测——振荡类
比 II

以上研究了 $\lg E-t$ 曲线的递减特征, 另外, 该曲线在对数坐标上亦呈现准周期性振荡. 为突出周期性波动成分, 我们对 $\lg E-t$ 曲线进行适当修正, 以消除其递减成分, 即用 $\lg E-t$ 曲线各点原始值减去回归直线方程(5)同年度理论值, 原曲线变换为沿水平轴波动的曲线(图 4), 尔后用傅里叶变换进行频谱分析, 并从频谱中选取主要周期成分进行叠加. 进一步, 将波动曲线适当外延, 以预测中短期的周期性地震活动形势.

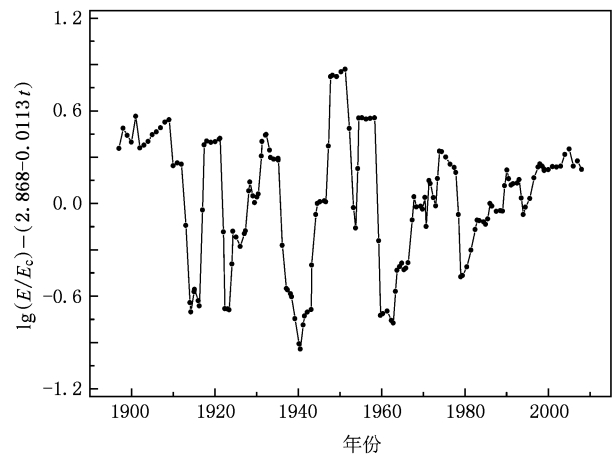


图 4 1897—2008 年年度地震能量波动曲线

为了对地震活动作振荡周期分析, 需要对修正后的地震能量序列 $\{E_m\}$ 进行下列快速傅里叶变换:

$$F_k = \sum_{m=1}^n E_m \exp\{-2\pi i k(m-1)/n\}, \quad (16)$$

式中 $m = k = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$. 求得的频谱序列为 $\{F_k\}$, 图 5 所示为地震能量波动频谱特征, 由图 4 中 1897—2008 年资料进行傅里叶变换得到, 而仅用 1897—1999 年资料进行傅里叶变换得到的频谱特

征与图 5 类似, 故省略之. 从图 5 中选取前 8 个主要频率(周期)成分进行叠加, 并将叠加得到的曲线适当延长即可对未来地震活动趋势进行理论预测.

我们先对预测效果进行初步检验, 尔后再作较长时间预测. 如图 6 所示, 我们仅用 1999 年之前的地震能量序列进行分析, 并选取前 8 个主要频率成分进行叠加, 由此得到的波动曲线基本符合地震活动的周期和振幅. 如图 6 中的水平线基本为波动中值线, 地震能量在水平线之上视为地震活跃期, 这

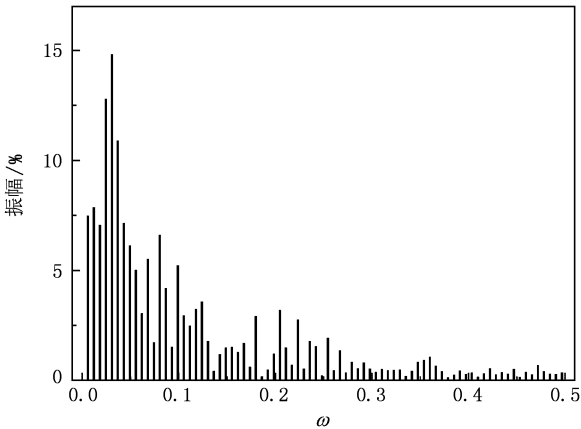


图 5 1897—2008 年地震能量波动频谱特征

样划分的活跃期时间基本符合目前地震界认可的时间段^[11, 21]. 将曲线延长至 2020 年, 可见当前地震活跃期峰值位于 2004—2005 年, 大约持续到 2010 年基本结束. 如果第 5 活跃期为 1988—2010 年, 估计期内释放的总能量约为 3.9546×10^{17} J, 尽管地震能量释放显示为趋势性衰减, 然而, 由于该活跃期持续约 23 a, 明显较以前各期时间更长, 释放能量甚至大于第 4 活跃期. 2010 年之后进入相对平静的波谷阶段, 到 2019 年或者 2020 年前后进入下一个活跃期. 对于汶川地震, 从理论预测曲线可知该地震应该属于当前活跃期的尾声, 这也与下面补充 2000—2008 年地震资料后的分析预测结论基本相同.

我们以 2008 年为地震能量序列终点, 按照上述方法进行分析预测, 结果如图 7 所示. 仍然选取前 8 个主要频率(周期)成分进行叠加, 由此得到的波动曲线与图 6 相比略有变化, 主要是 2000—2008 年地震能量继续上升引起的差别. 初步预测理论曲线中 1988 年之后仅显示一个上升台阶, 而加入 2000 年之后数据的理论预测曲线显示出两个上升台阶, 理论能量峰值时间相应延迟 3.5 a 左右, 位于 2008 年. 然而, 地震活跃期结束时间延迟仅 2 a, 于 2012

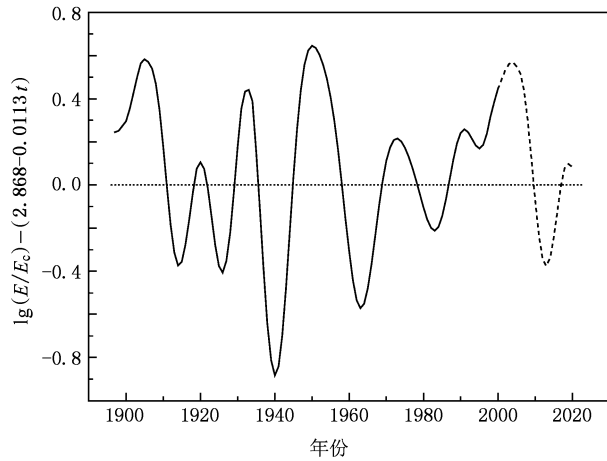


图6 1897—2020 年地震活动及趋势预测

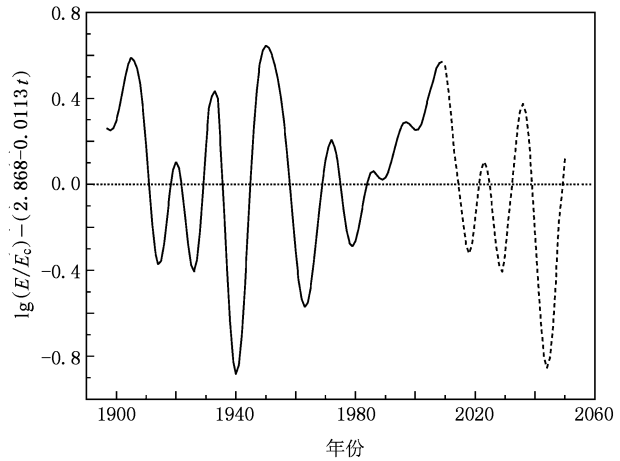


图7 1897—2050 年地震活动及趋势预测

年结束. 这可能主要是由于前期百余年地震活动周期性特征信息所致, 限制了活跃期结束时间任意延迟. 如果第 5 活跃期为 1988—2012 年, 估计期内释放的总能量约为 4.0296×10^{17} J, 与上述 2010 年结束第 5 活跃期的估计结果相比略有增加. 2012 年之后进入较平静的波谷阶段, 2020 年或者 2021 年进入下一个(第 6)地震活跃期, 直至 2040 年前后活跃期结束. 第 6 活跃期持续时间约为 20 a, 与第 1 活跃期到第 4 活跃期相比较长, 主要受当前活跃期(第 5 活跃期)持续时间影响之故. 按照理论预测曲线估计, 第 6 活跃期内释放的总能量约为 5.2278×10^{16} J, 折合为震级大约相当于 1 个 $M_s = 8.0$ 地震, 或者 5 个 $M_s = 7.5$ 地震, 如果仅发生一些 $M_s = 7.0$ 地震, 大约还有 25 个左右. 第 6 活跃期之后进入 2050 年的活跃期结束阶段, 地震活动应持续减弱, 尔后可能出现 100 a 以上的地震平静期.

6. 结 论

根据东亚大陆地质构造和地震活动特征划分研究区域, 区域内 1897—2008 年共发生 $M_s \geq 6.0$ 地震 824 次. 本文用自然界普遍存在的振荡现象作类比, 计算得到中国及邻区大陆板块地震活跃时间应持续 153.7 a, 这与中国两千多年历史地震资料分析结论一致, 也为我国的地震活跃期持续 150 a 左右提供了理论根据. 对周期性地震活跃期进行初步预测检验, 表明预测结果基本符合地震活动进程. 对未来几十年中国及邻区地震活动趋势进行了理论预测. 预测结果显示: 于 2010—2012 之后将进入地震相对平静期, 2020—2021 年前后进入下一个地震活跃期, 预期到 2040 年左右结束. 随后更长时间的地震活动将进入一个世纪以上的相对平静期.

- [1] Teng J W, Bai D H, Yang H, Yan Y F, Zhang H S, Zhang Y Q, Ruan X M 2008 *Chin. J. Geophys.* **51** 1385
- [2] Wang W M, Zhao L F, Li J, Yao Z X 2008 *Chin. J. Geophys.* **51** 1403
- [3] Zhang Z, Wang Y, Chen Y, Houseman G A, Tian X, Wang E, Teng J 2009 *Geophys. Res. Lett.* **36** 17310
- [4] Hubbard J, Shaw J H 2009 *Nature* **458** 194
- [5] Guo L Q, Li Y X, Hu X K, Liu X 2009 *Chin. J. Geophys.* **52** 531 (in Chinese) [郭良迁、李延兴、胡新康、刘 峡 2009 地球物理学报 **52** 531]
- [6] Wang Y P, Ma J, Li C Y 2007 *Seismology and Geology* **29** 1 (in Chinese) [汪一鹏、马 瑾、李传友 2007 地震地质 **29** 1]
- [7] Xu J R, Zhao Z X, Ishikawa Y 2008 *Chin. J. Geophys.* **51** 770

- (in Chinese) [徐纪人、赵志新、石川有三 2008 地球物理学报 **51** 770]
- [8] Parsons T, Ji C, Kirby E 2008 *Nature* **454** 509
- [9] Fu Z X, Ding X, Wang X Q 2006 *Earthquake* **26** 35 (in Chinese) [傅征祥、丁 香、王晓青 2006 地震 **26** 35]
- [10] Chen X Z 2007 *Earthquake* **27** 41 (in Chinese) [陈学忠 2007 地震 **27** 41]
- [11] Su N Q 2003 *Inland Earthquake* **17** 190 (in Chinese) [苏乃秦 2003 内陆地震 **17** 190]
- [12] Deng Q D, Zhang Y M, Xu G L, Fan F T 1979 *Seismology and Geology* **1** 11 (in Chinese) [邓起东、张裕明、许桂林、范福田 1979 地震地质 **1** 11]
- [13] Shi Z L, Huan W L, Lu S D 1982 *Sci. China B* **12** 840 (in Chinese) [石志林、环万里、卢世德 1982 科学通报 **12** 840]

Chinese) [时振梁、环文林、卢寿德 1982 中国科学 B **12** 840]

[14] Shi Z L, Zhao R G, Wang S Z, Wang J X 1986 *World Earthquake Catalog* (1900—1980, $M_s \geq 6.0$) (Beijing: Cartographic Publishing House) pp236—269 (in Chinese) [时振梁、赵荣国、王淑贞、王敬贤 1986 世界地震目录(1900—1980, $M_s \geq 6.0$) (北京:地图出版社) 第 236—269 页]

[15] Gu G X 1983 *China Earthquake Catalog* (B. C. 1831—1979) (Beijing: Science Press) (in Chinese) [顾功叙 1983 中国地震目录 (北京:科学出版社)]

[16] Ganse R A, Nelson J B 1988 *BC2000—1979 Global Great Earthquake Catalog* (Beijing: Seismology Press (in Chinese)) [甘斯 R A、纳尔逊 J B 1988 公元前 2000 年—公元 1979 年全球重大地震目录(中译本) (北京:地震出版社)]

[17] Zhu C Z 1990 *The Study of Earthquake Trends Forecast in Chinese Mainland* (Beijing: Seismology Press) pp63—77 (in Chinese) [朱传镇 1990 中国地震大形势预测研究 (北京:地震出版社) 第 63—77 页]

[18] Wang L M 1990 *The Study of Earthquake Trends Forecast in Chinese Mainland* (Beijing: Seismology Press) pp114—124 (in Chinese) [汪良谋 1990 中国地震大形势预测研究 (北京:地震出版社) 第 114—124 页]

[19] Lu Z Y 1990 *The Study of Earthquake Trends Forecast in Chinese Mainland* (Beijing: Seismology Press) pp34—49 (in Chinese) [陆忠远 1990 中国地震大形势预测研究 (北京:地震出版社) 第 34—49 页]

[20] Li S J 2007 *J. Geomech.* **13** 25 (in Chinese) [李述靖 2007 地质力学学报 **13** 25]

[21] Cui Z W, Wang K X, Hu H S, Sun J G 2007 *Chin. Phys. B* **16** 746

[22] Liu J X, Cui Z W, Wang K X 2007 *Chin. Phys. B* **16** 2180

[23] Du Q Z, Liu L L, Sun J B 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6143 (in Chinese) [杜启振、刘莲莲、孙晶波 2007 物理学报 **56** 6143]

[24] Li H X, Tao C H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2836 (in Chinese) [李红星、陶春辉 2009 物理学报 **58** 2836]

[25] Du Q Z, Yang H Z 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2801 (in Chinese) [杜启振、杨慧珠 2004 物理学报 **53** 2801]

[26] Ding J H 1993 *In 1994 on Trends in China's Earthquake Study* (Beijing: Seismology Press) pp1—63 (in Chinese) [丁鉴海 1993 1994 年地震趋势研究报告 (北京:地震出版社) 第 1—63 页]

The trend of seismic activities in China and adjacent regions after Wenchuan earthquake^{*}

——Research of seismic energy release with
“oscillation analogy”

Hu Wei-Jian¹⁾ Sang Hong¹⁾ Liu Hui-Juan²⁾ Wang Fu-Yun³⁾ Li Ping-Lin^{2)†}

1) (National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

2) (School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

3) (Geophysical Exploration Center of China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, China)

(Received 23 July 2009; revised manuscript received 13 January 2010)

Abstract

According to the geological structure and characteristics of seismic activity in the eastern segment of Eurasian seismic zone, China and adjacent regions are chosen as the research regions, where earthquakes of $M_s \geq 6.0$ happened 824 times in total from 1897 to 2008. The sum of the yearly released energy is filtered and studied systematically. The results show that the release of seismic energy features a periodic damped oscillation. Through the oscillation analogy, we can forecast quantitatively the long-term and medium- and short- term seismic situations in China and adjacent regions. Theoretical analysis confirms that the earthquake vibrancy in the continental plates should last 153.7 a, namely, 1897—2050. Such a result is consistent with the conclusions from the analysis of Chinese historical seismic data collected for more than 2000 a, and it may be regarded as a theoretical basis that the periodic seismic activity lasts about 150 a in China and adjacent regions. According to the periodic characteristic of the seismic activity, we can forecast theoretically that the current active duration will close in 2010—2012, furthermore, the next active duration will begin near 2020—2021, and then end in 2040 around. Subsequently, the earthquake process will completely enter into a relatively quiet duration for over one century after 2050.

Keywords: China and adjacent regions, yearly seismic energy, forecast of strong earthquake activity, oscillation analogy

PACC: 9130, 9130P, 9145B

^{*} Project supported by the Major Research Plan of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 90814012).

[†] Corresponding author. E-mail: lipinglin@zzu.edu.cn