

# 中国大陆西部及邻区各地震活动区 地震活动关系研究\*

李英, 赵卫明, 盛菊琴

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

**摘要** 利用相关函数分析方法对1900年以来缅甸转换构造区、滇西南旋转构造域和兴都库什中深源地震区的7.0级以上地震与中国大陆西部及邻区的其它各地震活动区7.0级以上地震的相互关系进行研究。结果表明 缅甸转换构造区、滇西南旋转构造域和兴都库什中深源地震区的地震活动与其它各地震活动区的地震活动在时间和空间上存在一定的对应关系。这一结果对中国大陆西部及邻区强震的预报有一定的意义。

**关键词** : 中国大陆西部及邻区 ; 地震活动区 ; 相关函数 ; 互相关系数

中图分类号 : P315.5 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-0844(2004)02-0154-08

## 0 引言

由于印度板块与欧亚板块之间的碰撞,在喜马拉雅至贝加尔湖的广大“三角形”(中国大陆西部及其邻区)地区产生NE—SW方向的主压力,使该区出现了全球最大幅度的隆起和断陷<sup>[1]</sup>,引起频繁的强震活动。本文称上述区域为亚洲大陆大三角形地震活动区(简称大三角地震活动区)。据张国民研究<sup>[2]</sup>,太平洋和印度洋板块边界的活动对我国大陆强震活动的时空分布有重要的影响,其中大陆西部的地震活动主要受印度板块的控制和制约。马宗晋等认为<sup>[3]</sup>,在大三角形地震活动区西南角和东南角有两个中、深震的丛集区,是多组构造复合的纽结点。这两个中、深震丛集区为反映印度洋板块俯冲强度的两个“触角”,其地震活动应与大三角地震活动区内各分区地震的活动有一定关系。本文采用相关函数方法,对两个“触角”的地震活动与各构造分区地震活动进行研究,探寻它们之间的相互关系,并为大三角地震活动区的强震活动提供判定依据。

## 1 地震目录选取、区域划分和计算方法

### 1.1 地震目录的选取

使用中国地震局分析预报中心提供的全球1900年以来7.0级以上地震目录,其中近几年的地震目录选自中国地震局网上发布的地震快报。

### 1.2 区域划分

在大三角地震活动区的西南角,地震比较密集,能定出的震源深度多在200 km左右。设该区域为两块体相撞的W区(兴都库什中深源地震区)。东南角地震集中分布的区域有两个带:一是从藏、滇、缅交界至缅甸的NNE向地震带,能定出的震源深度多在100 km左右,称之为缅甸转换构造区;另一个是从滇南至老挝的NNW向地震带,震源均在壳内,该区域是在印度板块的推挤下,隆起的喜马拉雅弧东端的滑脱部分,称之为滇西南旋转构造域。本文将这两个区域合并一起作为E区。设不包含上述两个区域的中

\* 收稿日期 2003-08-18

基金项目:“十五”国家科技攻关(2001BA601B01-03-04)项目部分成果

作者简介:李英(1963-),女(汉族),宁夏银川人,高级工程师,主要从事地震分析预报工作。

国西部及邻区为 A 区,并进一步按地质构造将 A 区分成 4 个地震亚区<sup>[4]</sup>:设阿尔泰—贝加尔地震亚区为 C1 区,新疆天山地震亚区为 C4 区,青藏高原昆仑山地震亚区为 C2 区,青藏高原唐古拉—喜马拉雅地震亚区为 C3 区。又将 C2、C3 和 C4 三区合并一起作为 B 区。在进行相关系数计算时,假定 E 区和 W 区为影响区,A、B、C1、C2、C3 和 C4 区为受影响区,图 1 为分区示意图。

### 1.3 计算方法

影响区和受影响区研究的时间长度相同。设两区域地震序列的起止时间为  $t_1$  和  $t_2$ ,起始震级分别为  $m_1$  和  $m_2$ ,两区域地震序列频次扫描时间间隔为  $D$  年,步长为  $S$  年;两区域的地震频次序列分别为  $x_i$  和  $y_{i+\tau}$ 。则两区域地震频次序列的互相关系数为

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i \bar{x})(y_{i+\tau} \bar{y})}{\left[ \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N-\tau} (y_{i+\tau} \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (1)$$

其中

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{N-\tau} x_i / (N - \tau) \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^{N-\tau} y_{i+\tau} / (N - \tau) \quad (2)$$

式中  $N$  为两区域研究时间内地震序列的总长度, $\tau$  为受影响区地震序列的延迟时间; $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  分别为两区域地震频次序列  $x_i$ 、 $y_{i+\tau}$  的平均值;互相关系数  $R_{xy}$  的大小反应了两区域地震发生的相关性,也反应了两区域地震发生数量的相关性。若对地震频次序列有震时取为 1,无震时取为 0,则相关系数  $R_{0xy}$  仅反应了两区域是否发生地震的相关性。

E、W 区起始震级均取 7.0 级;A、B 和 C2 区起始震级分别取 7.0 级和 7.5 级;C1、C3 和 C4 区因 7.5 级以上地震数量少,起始震级均只取 7.0 级。各分区的地震个数见表 1。 $\tau$  值分别取  $\tau = 0, 1, \dots, 10$ ;时间扫描窗长分别取 1 年和 2 年,滑动步长均取 1 年。对于以上的  $\tau$  值,参与计算互相关系数的数据个数在 92 ~ 103 之间,因相关系数检验值在此数据个数之间衰减较小,取置信度为  $\alpha = 0.05$  时,通过该置信度检验的互相关系数最大值是 0.205。

## 2 计算结果及分析

表 1、表 2 给出了所有计算的不同影响区和受影响区的互相关系数及是否通过检验的情况,图 2、图 3 给出了通过检验的互相关系数曲线。在计算时改变地震的起始时间,对相同的区域和震级所求出的相关系数变化曲线基本一致,即互相关系数出现峰值的延迟时间基本一致,从而可说明按照上述方法进行相关分析结果具有一定的稳定性。具体分析如下。

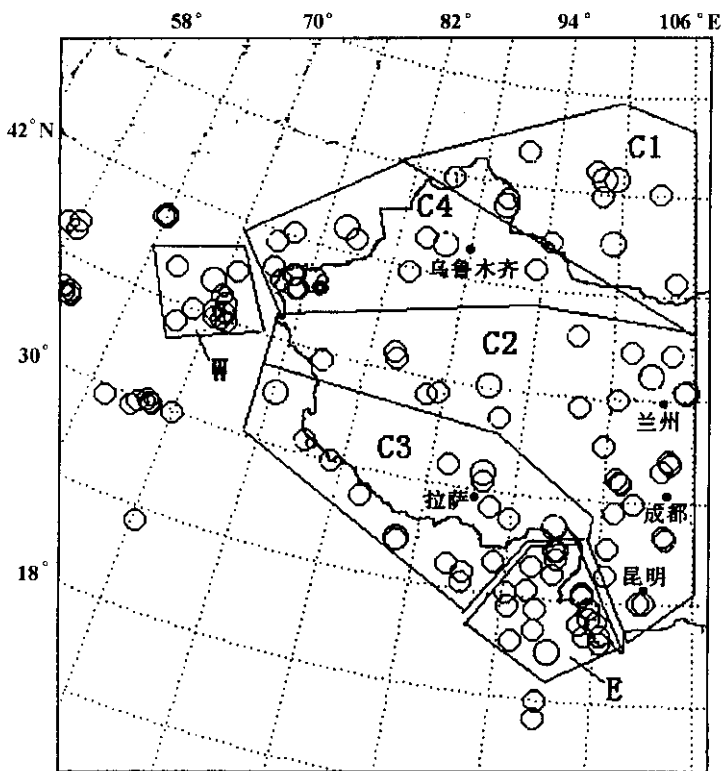


图 1 中国大陆西部及邻居地震活动分区示意图

(A 区 = C1 + C2 + C3 + C4, B 区 = C2 + C3 + C4)

Fig. 1 Sketch map of divided seismic active areas in west Chinese mainland and its neighbouring region.

2.1 E区与其他各区地震活动的相关性

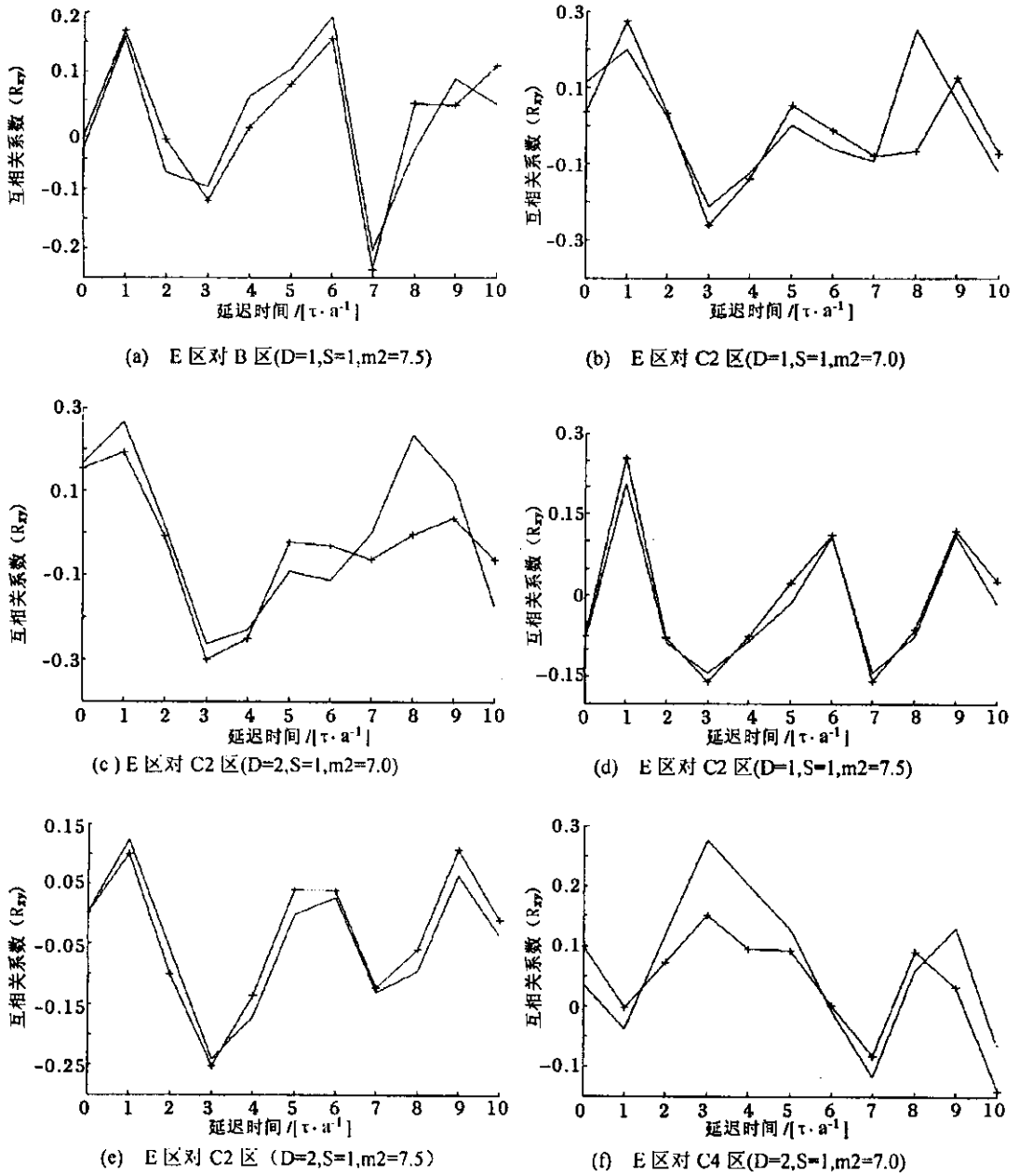


图2 E区与其他分区通过检验的互相关系数图

(实线为互相关系数  $R_{xy}$  曲线, 十字线为互相关系数  $R_{0xy}$  曲线)

Fig. 2 Figure of interrelation coefficients  $R_{xy}$  and  $R_{0xy}$  in region E with other regions having passed test.

表1、图2显示,E区与B、C2和C4区的地震活动有一定的相关性。其中B区7.0级以上地震的4个互相关系数中只有1个通过检验,且互相关系数的峰值时间也不一致,表明虽有一定的相关,但不显著;与B区7.5级以上地震有3个互相关系数通过检验,分析认为E区1~2年的地震与延迟7年后B区1~2年的7.5级以上地震存在负相关。与C2区7.0和7.5级以上地震活动均存在很好的相关性,8个互相关系数中有7个通过检验。通过分析延迟时间并考虑到互相关系数的第二峰值等,认为E区1~2年7.0级

以上地震与延迟 1 年后的 1~2 年 7.0 地震存在正相关;与延迟 3 年后的 1~2 年 7.5 级以上地震存在负相关。与 C4 区的地震活动也有一定的相关性,E 区 1~2 年的地震活动与 C4 区延迟时间 3 年后的 1~2 年 7.0 级以地震活动存在正相关。

E 区与 A、C1 和 C3 区的互相关系数均未通过检验,地震活动的相关性不明显。

表 1 E 区与各分区互相关系数检验表

影响区		受影响区		D /年	R <sub>xy</sub> 最大			R <sub>0xy</sub> 最大			
代码	地震个数	代码	m2 地震个数		$\tau$ /年	R <sub>xy</sub>	检验情况	$\tau$ /年	R <sub>0xy</sub>	检验情况	
E	23	A	7.0	75	1	8	0.167	×	1	0.145	×
					2	0	0.174	×	1	0.117	×
			1	6	0.169	×	1	0.189	×		
		B	7.5	31	2	5	0.160	×	5	0.125	×
					1	0	0.140	×	1	0.140	×
			2	1	0.225	√	0	0.120	×		
	C1	7.0	12	1	7	-0.205	√	7	-0.238	√	
				2	5	0.234	√	5	0.171	×	
	C2	7.5	26	1	1	0.206	√	1	0.254	√	
				2	3	-0.241	√	3	-0.253	√	
				1	3	0.117	×	0	0.100	×	
	C3	7.0	16	2	3	0.167	×	0	0.094	×	
				1	3	0.258	√	3	0.181	×	
	C4	7.0	15	1	3	0.258	√	3	0.181	×	
2				3	0.277	√	3	0.150	×		

注:√表明通过  $\alpha=0.05$  置信度检验,×表明未通过检验。

## 2.2 W 区与其他各区地震活动的相关性

由表 2、图 3 可知,W 区分别与 A、B 和 C2 区的 7.5 级以上地震活动有一定的相关性,与 C3 和 C4 区 7.0 级以上地震活动也存在较好的相关性。与 A 区的 7.0 级以上地震不相关,但与 A 区 7.5 级以上地震存在明显的延迟时间为 3 年和 9 年的正相关。与 B 区 7.5 级以上地震也存在较明显的延迟时间为 3 年的正相关。对比相应的互相关系数曲线(图 3(a)、(c)和图 3(b)、(d)),其相应的互相关系数变化形态基本一致,峰值出现的延迟时间相同,据此分析认为 W 区与 A 区地震活动的对应关系,应主要反映了包含在 A 区内部的 B 区的对应关系。与 C2 区 7.0 级以上地震活动相关性不显著,但与 C2 区延迟 1 年后 1~2 年的 7.5 级以上地震活动存在负相关。与 C3 区在 4 个最大的互相关系数的计算结果中,有 3 个通过检验,且延迟时间一致,表明 W 区 1~2 年 7.0 级以上地震活动与 C3 区延迟 6 年后 1~2 年 7.0 级以上地震存在显著的正相关。W 区 1~2 年的地震活动与 C4 区在当年和延迟 3 年后 1~2 年的 7.0 级以上地震存在正相关。

## 2.3 W 区与 E 区的相互关系

W 区与 E 区互相关系数值虽有少数能通过检验,但峰值延迟时间差异较大,其相关性不显著(见表 2)。

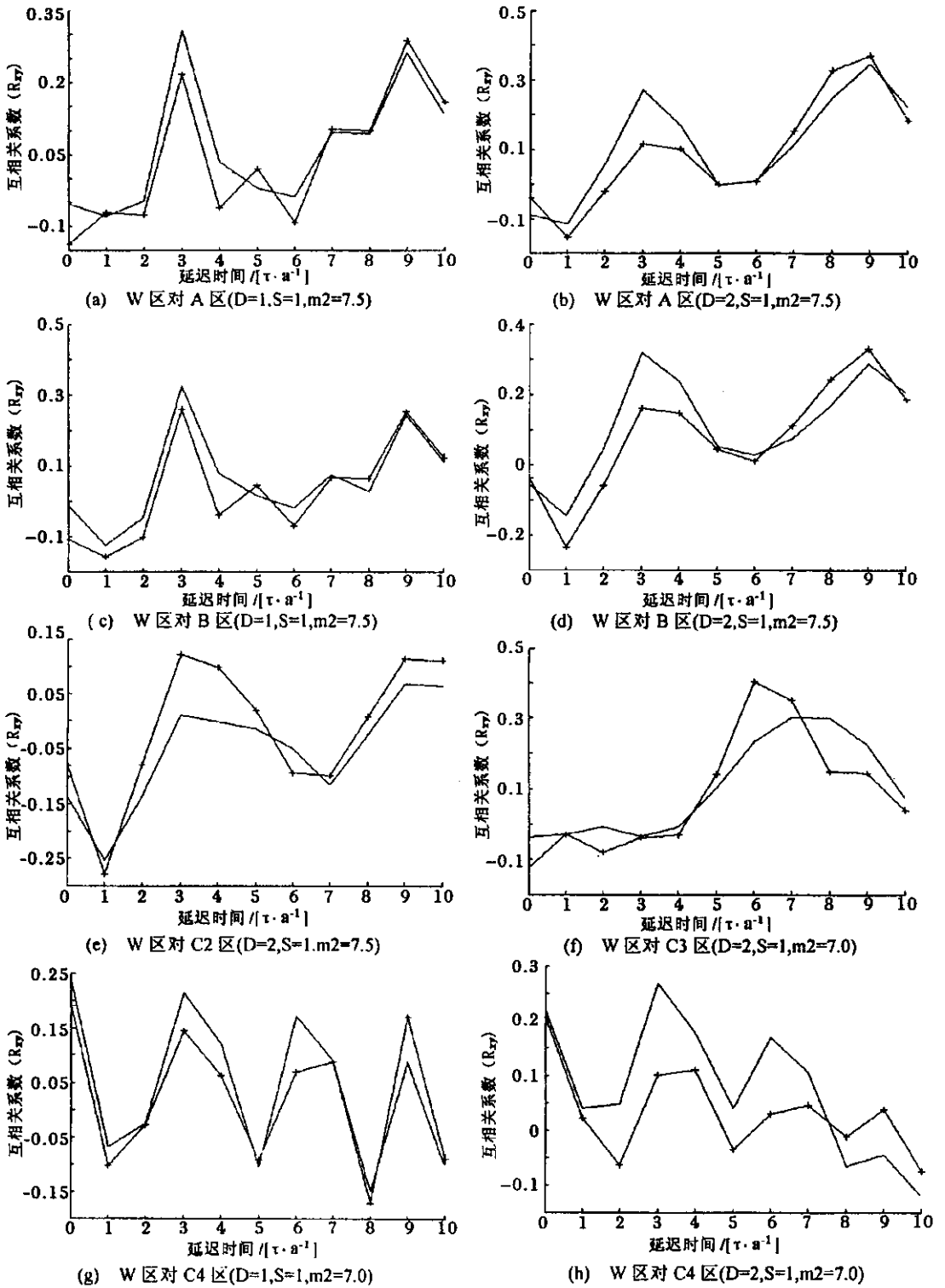


图3 W区与其他分区通过检验的互相关系数图

(实线为互相关系数  $R_{xy}$  曲线, 十字线为互相关系数  $R_{oxy}$  曲线)

Fig. 3 Figure of interrelation coefficients  $R_{xy}$  and  $R_{oxy}$  in region W with other regions having passed test.

表2 W区与各分区及两触角互相关系数检验表

影响区		受影响区		D /年	R <sub>xy</sub> 最大			R <sub>0xy</sub> 最大			
代码	地震个数	代码	m2 地震个数		$\tau$ /年	R <sub>xy</sub>	检验情况	$\tau$ /年	R <sub>0xy</sub>	检验情况	
W	25	A	7.0	75	1	6	0.143	×	9	0.185	×
					2	6	0.202	×	3	0.149	×
			7.5	31	1	3	0.309	√	9	0.285	√
					2	9	0.345	√	9	0.368	√
		B	7.0	64	1	6	0.200	×	3	0.190	×
					2	6	0.240	√	7	0.190	×
			7.5	26	1	3	0.327	√	3	0.261	√
					2	3	0.319	√	9	0.332	√
	25	C1	7.0	12	1	6	-0.123	×	6	-0.138	×
					2	0	-0.170	×	0	-0.135	×
			7.0	32	1	5	0.121	×	5	0.141	×
					2	1	-0.197	×	1	-0.223	√
		C2	7.5	11	1	1	-0.161	×	1	-0.172	×
					2	1	-0.255	√	1	-0.279	√
			7.0	16	1	7	0.176	×	6	0.241	√
					2	7	0.302	√	6	0.404	√
C4	7.0	15	1	0	0.238	√	0	0.192	×		
			2	3	0.268	√	0	0.206	√		
25	E	7.0	23	1	1	0.128	×	1	0.160	×	
				2	8	-0.148	×	1	0.126	×	
23	W	7.0	25	1	4	-0.193	×	4	-0.229	√	
				2	10	0.191	×	10	0.240	√	

W和E区与C1区的互相关系数均未通过检验,因此W和E区两区域均与C1区无明显的相关性。

### 3 检验

选取相关性较好的区域进行地震预报检验。预报能力评分R的计算公式为<sup>[5]</sup>

$$R = \text{有震报准率} + \text{无震报准率} - 1$$

R=1表示全部报准,R=-1表示全部报反,R为负值时,可将报有震的准则改为报无震,报无震的准则改为报有震(本文R值为负时,将报有震改为报无震)。表3为R值计算结果,检验的置信水平97.5%。

由表3可得E区发生地震后,延迟时间1年,报C2区1年内发生7.0级以上地震25次,报对9次,漏报16次,报对无震次数68次,虚报为9次。R值评分为0.310,完全能通过97.5%置信水平的检验。E区1~2年发生地震后延迟3年在C2区1~2年应报没有7.5级以上地震发生。该区共发生7.5级以上地震21次,其中只有2次发生在该时段内,R=-0.221,预报无震通过了置信水平的检验。

W区1~2年发生地震后,延迟时间6年,应报C3区1~2年发生7.0级以上地震25次,其中报对17次,漏报8次,报对无震次数54次,虚报8次,R=0.371,完全能通过检验。其它区域的计算结果见表2,这里不一一赘述。

总之在互相关系数和通过 $\alpha=0.05$ 置信度检验时,预报能力评分R值基本上均能通过97.5%置信水平的检验。

### 4 结论及讨论

(1)在印度板块的推挤、碰撞作用下,中国大陆西部及邻区各地震活动区7.0级以上地震的发生不是孤立的。喜马拉雅弧两端的“触角区”(缅甸转换构造区和滇西南旋转构造域,兴都库什中深源地震区)的

表3 预报评分R值检验表

影响区	受影响区			D/年	R最大			报准 有震数	报准 无震数	虚报 地震数	漏报 地震数
	代码	m2	地震个数		$\tau$ /年	R	检验情况				
E	B	7.5	26	1	7	-0.253	√	0	59	17	20
				1	1	0.310	√	9	68	9	16
	C2	7.0	32	2	1	0.201	√	19	43	15	24
				1	1	0.206	×	5	78	13	6
				2	3	-0.221	√	2	48	30	19
A	7.5	31	1	3	0.278	√	9	63	11	17	
			2	8	0.334	√	21	43	13	17	
			1	3	0.275	√	9	66	11	14	
			2	9	0.334	√	20	44	14	15	
W	B	7.5	26	2	1	-0.237	√	2	46	34	19
				2	6	0.371	√	17	54	17	8
	C2	7.5	11	2	0	0.182	×	13	54	24	11
				2	0	0.182	×	13	54	24	11

地震活动,与中国大陆西部及邻区内各地震活动区的地震活动有明显的相关性,本文从相关函数分析结果较好地说明了这一点。

(2)上述两“触角区”与两个大的区域A区和B区7.0级以上地震活动相关性不明显,但与这两个区域7.5级以上地震活动有一定的相关性。

(3)两“触角区”的主要影响区域为青藏高原昆仑山地震亚区。其中缅甸转换构造区及滇西南旋转构造域1~2年的7级以上地震活动与昆仑山地震亚区延迟1年后1~2年的地震活动存在正相关;与延迟3年后1~2年的7.5级以上地震存在负相关。

(4)兴都库什中深源地震区与昆仑山地震亚区7.5以上地震存在延迟时间为1年负相关;与喜马拉雅地震亚区延迟6~7年后的地震活动存在正相关。与C4区当年(延迟时间为0年)的地震活动存在正相关。

(5)W区和E区与各分区的相互关系,在时间和空间上不仅与其距离的大小有关,而且还与它们的构造应力场性质有关。空间上,随着与板块边界的距离增加,受到的影响在减少<sup>[6]</sup>。如C1区在最北部,所以W、E区与C1区地震活动的相关性不显著;与石鉴邦等认为的新疆准葛尔盆地以北即本文C1区的强震活动主要受西伯利亚块体及贝加尔裂谷带活动的影响,受印度板块活动影响不大的结论是一致的<sup>[7]</sup>。时间上,W区与C4、C2和C3区地震延迟时间是逐步延长的。值得说明的是,由于E区表现出明显的右旋剪切运动<sup>[8]</sup>,发生地震后首先应对C2区产生作用,据此分析E区与C2区的地震活动有一定的关系,与其西邻的C3区关系不显著。

(6)从图2中发现,互相关系数的变化曲线有一定的周期变化,且互相关系数峰值又多数出现在延迟时间分别为3、6和9年,有一定的倍数关系,其原因还有待进一步研究。

#### [参考文献]

- [1] 傅征祥. 中国大陆地震活动性力学研究[M]. 北京:地震出版社,1997. 118—123.
- [2] 张国明,姜秀娥,等. 本世纪90年代我国大陆强震活动趋势研究[A]. 见:中国地震大形式预测分析[C]. 北京:地震出版社,1990. 25—33.
- [3] 马宗晋,陈章立,朱岳清,等. 大陆地震的基本特征[A]. 见:大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集[C]. 北京:地震出版社,1984. 171—180.
- [4] 国家地震局. 中国地震烈度区划图(1990)概论[M]. 北京:地震出版社,1990.
- [5] 国家地震局监测预报司. 地震学分析预报方法程式指南[M]. 北京:地震出版社,1990. 72—75.
- [6] 时振梁,环文林,等. 东亚、中亚大陆地震活动特征[A]. 见:大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集[C]. 北京:地震出版社,

86-99.

- [7] 石鉴邦,冯先岳,等.新疆富蕴地震断裂带[A].见:大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集[C].北京:地震出版社,1982.207-210.
- [8] 邓起东,张裕明,许桂林,等.中国构造应力场特征及其与板块运动的关系[J].地震地质,1979,1(1):11-21.

## STUDY ON RELATIONSHIP OF SEISMICITIES AMONG THE DIVIDED SEISMIC ACTIVE AREAS IN WEST CHINESE MAINLAND AND ITS NEIGHBOURING REGION

LI Ying, ZHAO Wei-ming, SHENG Ju-qin

(*Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China*)

**Abstract** :Using the analytic method of correlation function, study is done on the interrelations among strong earthquakes with  $M > 7.0$  occurred in Burma convert construct area, Southwest Yunnan revolve construct area, Xingdukushi moderate-deep source earthquake area and those occurred in West Chinese mainland and its neighbouring region since 1900. The results show that seismicities in Burma convert construct area, Southwest Yunnan revolve construct area and Xingdukushi moderate-deep source earthquake area have certain corresponding relation with that of other seismic active areas in time and space. This result has significance on the strong earthquake prediction in West Chinese mainland and its neighbouring region.

**Key words** : West Chinese mainland and its neighbouring region ; Seismic active area ; Correlation function ; Interrelation coefficient