

17-24

中国大陆强震中期预报指标研究*

p 315.7

王振亚, 杨立明

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在总结近几年预报经验的基础上, 主要依据地震活动性资料, 从分析全球大震活动规律入手, 采用概率预测推理方法对一些重要的相关地震事件或现象进行了深入的分析研究, 提出了一系列可用于中国大陆7级大震预测及趋势估计的中期指标。

关键词: 中国; 预报指标; 概率预测方法; 地震活动状态

中图分类号: P315.5; P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)01-0017-09

中期预报, 强震

0 引言

根据系统论的相关性原理, 如果将整个地球看成是一个大的孕震系统, 那么发生在地球上各个地区的一些复杂的地震现象彼此之间不是孤立的, 而是相互联系、相互作用、相互依存、相互制约的。贝塔朗菲^[1]曾用一组联立的微分方程描述系统各要素之间的关系, 这些方程组表明, 系统中任一元素随时间的变化是系统所有其它元素的函数, 任一元素的变化都会引起其它元素的变化以及整个系统状态的变化。

本文以上述系统论相关性原理做为主导思想, 采用概率预测推理方法对一些尺度相当的地震现象进行了统计分析, 从而得出了一系列可用于中国大陆7级以上大震预报的中期指标, 这些指标在近几年的预测实践中曾取得过良好的效果。

1 全球强震活动状态追踪分析

如果将全球看成是一个大的孕震系统, 中国大陆地区即为该系统的一个组成部分(要素), 其地震活动状态的发展变化将与全球的强震总体活动水平演变相关。

因此, 为了预测中国大陆未来的地震趋势, 应先从全球的地震活动状态的追踪分析入手。

图1和图2分别为本世纪以来全球8.3级和8.5级大震 $M-t$ 图。图中显示本世纪最后2次8级以上地震分别是1985年9月19日墨西哥近海8.3级地震和1964年3月28日阿拉斯加8.5级地震。

2次地震后的平静时间分别约为13年和34年, 都已超过本世纪以来平静时间的最大值。因此未来几年内全球强震活动可能会有所增强。

从能量释放角度来分析, 也可以得出同样的结论。

收稿日期: 1998-05-17

* 中国地震局“九五”项目(95040602)资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC1999010。

第一作者简介: 王振亚, 男, 1941年6月生, 研究员, 从事地震综合分析预报研究工作。

图3为本世纪以来全球7级以上地震能量变化曲线.从图中可以看出大致存在一个40多年的周期性峰值衰减过程.1950年出现的第二个峰值至1997年底已衰减了47年,超过了第一个峰值的衰减周期,因此未来几年内全球强震活动很可能出现第三个峰值.

2 中国大陆强震活动中期预测指标

2.1 中国大陆地震活动分期研究

根据对 $M-t$ 图(图4)、能量释放曲线(图5)和地震间隔时间的研究,我们将本世纪以来中国大陆的地震活动分为6个平静期和6个活跃期,见表1.

活跃期的判定指标为:7级以上地震时间间隔小于41个月;至少发生一次 $M_S \geq 7.5$ 地震;7级和7级以上地震次数不少于4;持续时间在6年以上.平静期的判定指标为51个月以上无7级地震发生.

2.2 中国大陆7.6级以上大震活动丛集现象分析

本世纪以来中国大陆共发生 $M_S \geq 7.6$ 地震15次,如果算上1997年玛尼地震就是16次(表2).从 $M-t$ 图上可以明显看出,这16次地震形成了5丛,除第一丛外,第二、第三和第四3丛都发生了4次7.6级以上地震,见图6和表3.

从图6可以看出,将玛尼地震的震级定为7.6以上是合理的,因为自1988年11月6日澜沧7.6级地震之后,第五丛内7.6级以上地震的间隔时间已经超过前4丛地震的间隔时间的

最大值,发生一次7.6级以上地震是可能的.此外在第二、第三和第四丛中都出现过2年之内连续发生2次7.6级以上地震的现象.第五丛地震活动的持续时间,按最长的第二丛来估计与按地震活动分期的第六活跃期结束时间一致.

当然,如果目前正处于更高一层次丛集活动间歇期的话,那么7.6级地震的平静时间也有可能还要延续下去.

2.3 中国大陆地震能量曲线演变趋势分析

图7为以3年为单位的累积能量释放曲线.由图可见,在能量曲线处于低谷

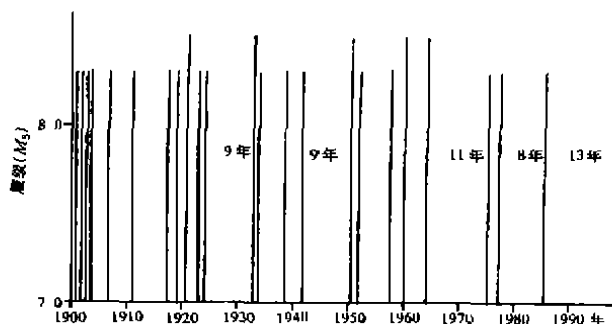


图1 全球8.3级以上地震 $M-t$ 图

Fig.1 $M-t$ diagram of $M_S \geq 8.3$ earthquakes on a global scale

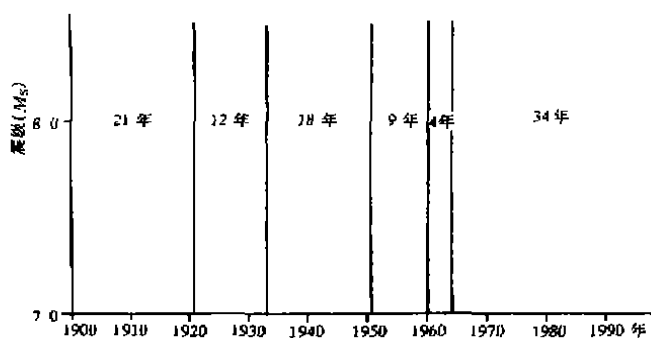


图2 全球8.5级以上地震 $M-t$ 图

Fig.2 $M-t$ diagram of $M_S \geq 8.5$ earthquakes on a global scale.

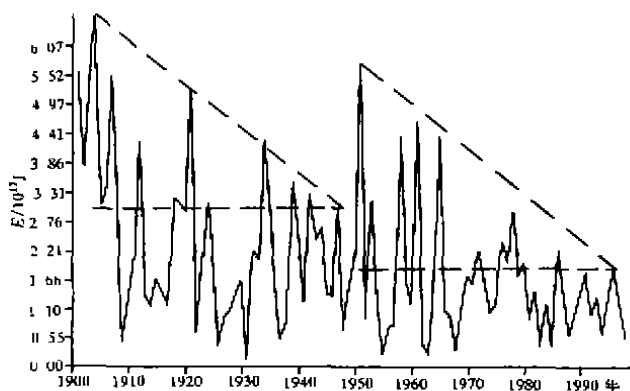
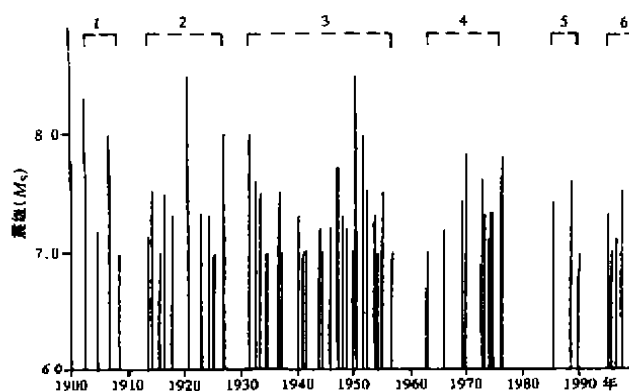


图3 全球7级以上地震能量变化曲线

Fig.3 Change of energy of $M_S \geq 7$ earthquakes on a global scale.

图 4 中国大陆 7 级地震 $M-t$ 图Fig. 4 $M-t$ diagram of $M_s \geq 7$ earthquakes on a Chinese mainland.

2.4 地震成带分布空间有序现象

1990 年 5 月以来, 中国大陆 $M_s \geq 6.0$ 地震形成了 4 条较明显的 NE 向或近 EW 向巨大地震活动带(图 8), 表明印度板块向 NE 方向挤压作用增强. 这 4 条地震活动带分别是: 新疆西部带、喀喇昆仑-包头带、谢通门-包头带及川滇带. 在这 4 条地震活动带中以谢通门-包头带最为明显, 其规模也较大.

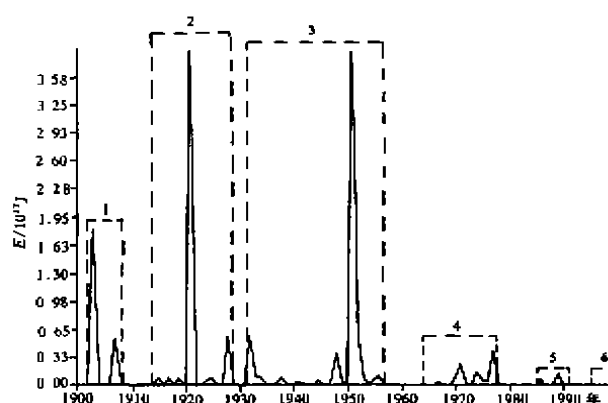


图 5 中国大陆 6 级以上地震能量释放曲线

Fig. 5 Curve of energy released by $M_s \geq 6$ earthquakes on Chinese mainland.

表 1 中国大陆地震活动分期

编号	平静期						活跃期					
	时间段	持续时间/年	$M_s \geq 7.0$ 地震总次数	最大震级 (M_s)	$M_s \geq 7.0$ 地震平均频次	年均能量/ 10^{15} J	时间段	持续时间/年	$M_s \geq 7.0$ 地震总次数	最大震级 (M_s)	$M_s \geq 7.0$ 地震平均频次	年均能量/ 10^{15} J
1	1897~1901	5	0	6.4	0	0.2	1902~1908	7	4	8.4	0.6	29.9
2	1909~1912	4	0	6.4	0	0.4	1913~1927	15	14	8.5	0.9	33.2
3	1928~1930	3	0	6.4	0	0.6	1931~1957	27	27	8.6	1.0	30.2
4	1958~1962	5	0	6.8	0	1.4	1963~1976	14	17	7.8	1.2	12.3
5	1977~1984	8	0	6.9	0	1.0	1985~1990	6	5	7.6	0.8	7.7
6	1991~1993	3	0	6.9	0	1.4	1994~?	(5)	5	7.5	1.0	6.64

表2 本世纪以来中国大陆 $M_s \geq 7.6$ 地震目录(据《中国地震目录》, 1988)

编号	时 间	震 中 位 置		地 点	震级 (M_s)	能 量 / $10^{16}J$
		北 纬	东 经			
1	1902-08-22	39.9°	76.2°	阿图什	8.4	15.18
2	1906-12-23	43.5°	85.0°	沙 湾	7.7	2.24
3	1920-12-16	36.7°	104.9°	海 原	8.5	35.48
4	1927-05-23	37.7°	102.2°	古 浪	8	6.31
5	1931-08-11	47.1°	89.8°	富 蕴	8	6.31
6	1932-12-25	39.7°	96.7°	昌 马	7.6	1.58
7	1947-03-17	33.3°	99.5°	达 日	7.7	2.24
8	1947-07-29	28.6°	93.6°	朗 县	7.7	2.24
9	1950-08-15	28.4°	96.7°	察 隅	8.6	50.12
10	1951-11-18	31.1°	91.4°	当 雄	8	6.31
11	1970-01-05	24°12'	102°41'	峨 山	7.7	2.24
12	1973-02-06	31°18'	100°42'	炉 霍	7.6	1.58
13	1973-09-29	41.9°	131.0°	珙 县	7.7	2.24
14	1976-07-28	39.4°	118.0°	唐 山	7.8	3.16
15	1988-11-06	22.9°	100.1°	澜 沧	7.6	1.58
16	1997-11-08	35.2°	87.3°	玛 尼	7.5	1.12

1997 年地震活动的这种有序现象变得更加明显. 在新疆西部的伽师地区又发生了 7 次 6 级以上地震. 4 条地震活动带中目前唯有谢通门-包头带内没有发生 7 级以上地震(共和 7.0 级地震不算在内, 因为它是在条带形成之前发生的). 1998 年 1~5 月发生的 5 次 5 级以上地震也基本落入上述 4 个条带之中. 2 次 6 级以上地震及 1 月 10 日的张北尚义 6.2 级地震位于 B 带, 3 月 19 日新疆阿图什 6.0 级地震位于 A 带.

据中国地震局分析预报中心统计^[2], 1898 年以来中国西部曾出现过 2 次类似的地震空间分布有序现象(但成带地震为 5 级以上), 后来都对应了较强地震.

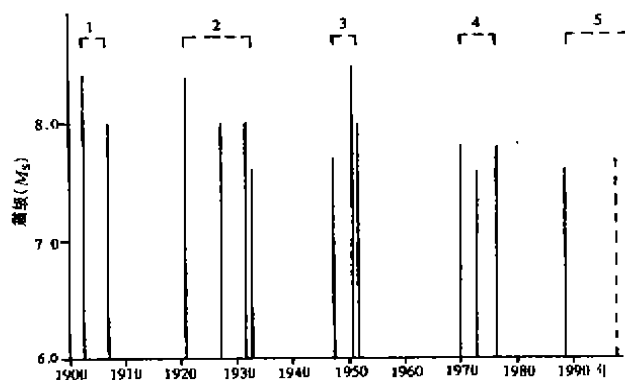
图6 中国大陆 7.6 级以上地震 $M-t$ 图Fig. 6 $M-t$ diagram of $M_s \geq 7.6$ earthquakes in Chinese mainland

表3 中国大陆地区 7.6 级以上地震丛集活动

活 动 类 别	第一丛 活 动	第一 间歇期	第二丛 活 动	第二 间歇期	第三丛 活 动	第三 间歇期	第四丛 活 动	第四 间歇期	第五丛 活 动
时 段	1902 至 1906 年	1907 至 1919 年	1920 至 1932 年	1933 至 1946 年	1947 至 1951 年	1952 至 1969 年	1970 至 1976 年	1977 至 1987 年	1988 年
持续时间(年)	5	13	13	14	5	18	7	11	(11)
$M_s \geq 7.6$ 级地震数	2	0	4	0	4	0	4	0	(2)
丛内最大地震震级	8.3	—	8.5	—	8.6	—	7.8	—	(7.6)
积累能量/ $10^{16}J$	17.42	—	49.68	—	60.91	—	9.22	—	2.70

2.5 自然发震概率分析

自1899年以来,中国大陆地区共发生71次7级以上的大地震,不考虑平静期、活跃期情况,求取平均的自然发震概率,结果见表4。从表中可以看出,每3年发生一次7级以上地震的自然发震概率为0.88。当然,由于样本数较少,影响了该值的信度。

2.6 多种时间序列模型外推计算

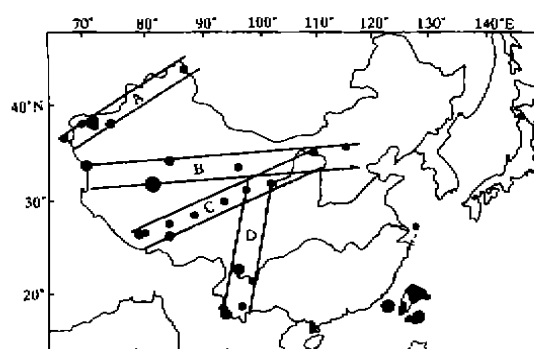


图8 中国大陆1990年5月~1998年5月6级以上地震震中分布图

Fig.8 Distribution of $M_S \geq 6$ earthquakes from May, 1990 to May, 1998 on Chinese mainland.

A 新疆西部带; B 喀喇昆仑-包头带;
C 谢通门-包头带; D 川滇带

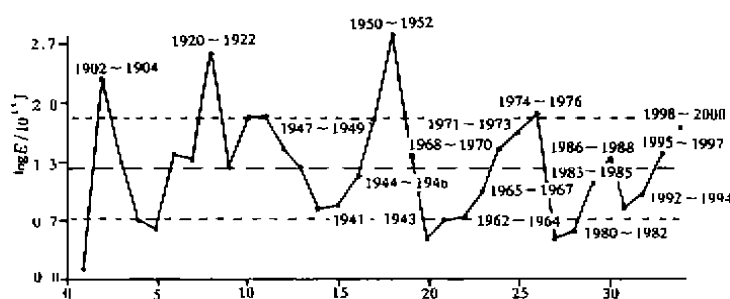


图7 中国大陆3年累积能量释放曲线

Fig.7 Accumulated energy in three years released by earthquakes on Chinese mainland.

从1899年开始,以3年为1组将地震划分为33组,然后求出每组的最大震级和累积能量对数,分别形成了新的震级系列样本和能量系列样本,见表5。然后采用多种时间序列模型分别对震级系列和能量系列进行拟合一步外推,其结果见表6和表7。从中可以看出各种方法预测结果比较吻合:震级预测结果为7.9,7.8,7.5和7.5级,平均为7.7级,标准差0.21;能量预测结果为1.4963,0.9697,1.611和0.987,还原为震级分别相当于7.8,7.4,7.8和7.4级,平均为7.6级,标准差0.23。也可以根据需要,按其它时间长度对地震进行分组和外推预测。

表4 自然发震概率

时间单位	样本数	有震样本数	发震自然概率
1年	99	48	0.47
2年	49	34	0.69
3年	33	28	0.88

2.7 西北太平洋地震带的平静及其预测意义

本世纪以来,西北太平洋地震带共出现过10次超过11个月没有发生7级以上地震的平静现象,其中8次之后在1~3年内中国大陆都发生了7.5级以上地震。因此,该现象也可以做为中国大陆强震中期预测指标之一,见表8。

2.8 新疆西部伽师及其邻近地区6级以上地震预测意义

本世纪以来该区曾出现过9次半年之内发生2次以上 $M_S \geq 6$ 地震的现象,其后几年内中国大陆都发生了7级以上地震,见表9。

我们在1997年11月8日玛尼7.5级地震发生之前,就注意到这种现象,并将它做为预测中国大陆将发生7级以上地震的依据之一。实践证明,伽师及其邻近地区6级地震集中活动现象可做为中国大陆强震的中期预报指标之一。

表 5 中国大陆地区以 3 年为时间单位的样本值

编号	时间段	3 年中的最大震级	3 年累积能量对数/ 10^{15} J	编号	时间段	3 年中的最大震级	3 年累积能量对数/ 10^{15} J
1	1899~1901	6.7	0.13	18	1950~1952	8.6	2.77
2	1902~1904	8.3	2.26	19	1953~1955	7.5	1.40
3	1905~1907	7.7	1.38	20	1956~1958	7.0	0.48
4	1908~1910	7.0	0.68	21	1959~1961	6.7	0.70
5	1911~1913	7.0	0.59	22	1962~1964	7.0	0.69
6	1914~1916	7.5	1.42	23	1965~1967	7.2	1.00
7	1917~1919	7.5	1.39	24	1968~1970	7.7	1.50
8	1920~1922	8.5	2.56	25	1971~1973	7.7	1.67
9	1923~1925	7.3	1.28	26	1974~1976	7.8	1.90
10	1926~1928	8.0	1.82	27	1977~1979	6.8	0.48
11	1929~1931	8.0	1.85	28	1980~1982	6.9	0.54
12	1932~1934	7.6	1.50	29	1983~1985	7.5	1.03
13	1935~1937	7.5	1.25	30	1986~1988	7.6	1.39
14	1938~1940	7.3	0.81	31	1989~1991	7.0	0.81
15	1941~1943	7.0	0.86	32	1992~1994	7.3	0.99
16	1944~1946	7.2	1.14	33	1995~1997	7.5	1.41
17	1947~1949	7.7	1.76	34	1998~2000	?	?

表 6 最大震级预测

模型名称	模型内容	结果
AR(n)	$X_n = 1.1578 X_{n-1} - 0.3642 X_{n-2} - 0.2005 X_{n-3} + 0.4671 X_{n-4} - 0.6139 X_{n-5} + 0.5537 X_{n-6}$	预测结果:7.487 2 还原成震级:7.94
时变参数	$X_n = \alpha_1(n)X_{n-1} + \alpha_2(n)X_{n-2} + \alpha_3(n)X_{n-3}$ 其中: $\alpha_1(n) = 0.0737$ $\alpha_2(n) = 0.3775$ $\alpha_3(n) = 0.5847$	作出一步预测值为: $X_{n+1} = 7.47$ 还原成震级:7.8
门限自回归	$X_n = \begin{cases} 4.206 + 2.607 X_{n-1} - 2.169 X_{n-2} & (X_{n-5} > 7.3) \\ 2.185 + 0.706 X_{n-1} & (7.3 \leq X_{n-1} < 7.5) \\ 1.470 + 1.276 X_{n-1} - 0.470 X_{n-2} & (7.5 \leq X_{n-1} < 7.7) \\ 8.352 + 0.937 X_{n-1} - 1.049 X_{n-2} & (7.7 \leq X_{n-1}) \end{cases}$	作出一步预测: $X_{n+1} = 7.409$ 还原成震级: $X_{n+1} = 7.5$
人工神经网络	—	一步预测:7.5

表 7 能量预测

模型名称	模型内容	结果
AR(8)	$X_n = 0.4215 X_{n-1} - 0.1755 X_{n-2} - 0.0584 X_{n-3} + 0.1252 X_{n-4} + 0.0508 X_{n-5} + 0.2565 X_{n-6} - 0.0499 X_{n-7} + 0.4117 X_{n-8}$	预测结果:1.496 3 相当于震级:7.8
时变参数	$X_n = \alpha_1(n)X_{n-1} + \alpha_2(n)X_{n-2} + \alpha_3(n)X_{n-3}$ 其中: $\alpha_1(n) = 0.021$ $\alpha_2(n) = 0.1234$ $\alpha_3(n) = 1.0098$ SETAR(3, 6, 1, 2, 1)	作出一步预测值为: 0.969 7 相当于震级:7.4
门限自回归	$X_n = \begin{cases} 0.277 + 0.946 X_{n-1} & (X_{n-6} < 0.7) \\ 0.835 + 0.286 X_{n-1} - 0.227 X_{n-2} & (0.7 \leq X_{n-6} < 1.4) \\ 0.198 + 1.617 X_{n-1} - 3.466 X_{n-2} + 3.745 X_{n-3} & (1.4 \leq X_{n-6} < 1.8) \\ 0.823 + 1.582 X_{n-1} + 0.023 X_{n-2} - 1.048 X_{n-3} & (X_{n-6} > 1.8) \end{cases}$	作出一步预测:1.611 相当于震级:7.8
人工神经网络	—	一步预测:0.987 相当于震级:7.4

表8 西北太平洋地震带平静现象统计

编号	平静时段	平静时间/月	中国大陆 $M_s \geq 7.5$ 地震	间隔时间/月	编号	平静时段	平静时间/月	中国大陆 $M_s \geq 7.5$ 地震	间隔时间/月
1	1900-01~1900-12	12	1902-08 阿图什 $8\frac{1}{4}$	20	2	1902-09~1903-12	15	1906-12 新疆沙湾 7.7	36
3	1911-09~1912-08	11	1914-08 巴里坤 7.5	24	4	1934-04~1935-04	12	1937-12 托素湖 7.5	32
5	1954-02~1955-03	13	1955-04 康定 7.5	1	6	1964-07~1966-03	20	—	—
7	1966-03~1968-01	22	1970-05 峨山 7.5	24	8	1980-02~1981-01	11	—	—
9	1984-12~1986-08	20	1988-11-06 澜沧 7.6	27	10	1986-11~1988-02	15	1988-11-06 澜沧 7.6	9

表9 新疆伽师及其邻近地区6级地震集中活动资料统计

次序	6级地震持续活动			持续时间/月	中国大陆后续7级首震及滞后时间/月
	时间	震中位置	震级(M_s)		
I	1903-10-19	39.3°N 74.5°E	6.2	4	1904-08 道孚 $M_s 7.0$ (10)
	1904-02-05	40.0°N 78.0°E	6.1		
II	1959-06-28	41.9°N 80.0°E	6.7	5	—
	1959-11-15	38.7°N 75.3°E	6.4		
	1961-04-01	39.9°N 77.8°E	6.7		
III	1961-04-04	39.9°N 77.8°E	6.4	5	1963-04 阿拉克湖 $M_s 7.0$ (24)
	1961-04-14	39.9°N 77.7°E	6.8		
	1961-09-05	38.5°N 73.2°E	6.0		
IV	1963-08-29	39.8°N 74.2°E	6.5	2	1966-03 河北宁晋 $M_s 7.2$ (31)
	1963-10-16	38.8°N 73.3°E	6.6		
V	1971-03-23	41.4°N 79.2°E	6.0	0	1973-02 炉霍 $M_s 7.6$ (23)
	1971-03-24	41.3°N 79.3°E	6.1		
VI	1983-02-13	40.2°N 75.3°E	6.8	2	1985-08 乌恰 $M_s 7.4$ (30)
	1983-04-05	40.2°N 75.1°E	6.2		
VII	1987-01-24	41.2°N 79.4°E	6.4	5	1988-11 唐古拉山 $M_s 7.0$ (22)
	1987-04-30	40.0°N 75.0°E	6.0		
VIII	1990-04-17	39.5°N 74.5°E	6.4	1	1990-04 共和 $M_s 7.0$ (0)
	1990-05-15	37.2°N 73.8°E	6.0		
	1997-01-21	39.6°N 77.4°E	6.4		
IX	1997-01-21	39.6°N 77.4°E	6.3	3	1997-11-08 西藏玛尼 $M_s 7.5$ (7)
	1997-03-01	39.5°N 76.9°E	6.0		
	1997-04-06	39.5°N 76.8°E	6.3		
	1997-04-06	39.6°N 76.9°E	6.4		
	1997-04-11	39.2°N 76.8°E	6.6		
X	1997-04-16	39.6°N 76.9°E	6.4	1	?
	1998-08-02	39.6°N 77.5°E	6.0		
	1998-08-27	39.9°N 77.9°E	6.6		

3 中国大陆地区强震重点危险区空间分布基本格局分析

未来数年内中国强震的主体活动地区仍然在西部,主要是南北地震带和喜马拉雅地震带,其主要依据如下:

1877年以来中国大陆及邻区强震的主体活动地区为“大三角”地带,即帕米尔-贝加尔地震带、南北地震带及喜马拉雅地震带,此外还有环渤海湾地区.主体活动地区的空间图象存在一个20年左右的演化周期,不同周期中主体活动地区重复出现,大致80年左右完成一个轮回,基本图象有以下4种:

图象1——帕米尔、贝加尔地震带和喜马拉雅地震带(1897~1917年);

图象2——喜马拉雅地震带和南北地震带(1918~1937年);

图象3——帕米尔、贝加尔地震带和南北地震带(1938~1957年);

图象4——帕米尔、贝加尔地震带、南北地震带和环渤海地震带(1958~1977年).

按上述4种图象变换顺序,1978~1997年应出现图象1,而1877~1896年应出现图象4,地震活动实况证明果然如此.假定这种周期变换规律延续下去,则1998~2017年将出现图象2,那么未来1~3年强震的主体活动地区就应该是南北地震带和喜马拉雅地震带(据刘百篪,1997).

4 结语

本文提出的一些强震中期预报指标都是采用概率预测推理得到的,由于这种推理属于不完全归纳推理范畴,故此它的结论的正确性是或然的.要想提高预测结论的信度,一是要通过长期的观测,增加样本数,二是要采取动态追踪的方法,不断地根据客观情况及时修正、补充和完善这些预测指标.

参考文献

- [1] 曾广容,等.系统论、控制论、信息论与哲学[M].武汉:中南工业大学出版社,1988.43~44
- [2] 中国地震局分析预报中心.中国地震趋势预测研究(1998年度)[R].北京:地震出版社,1997.

STUDY ON MEDIUM-TERM PREDICTION INDEXES OF STRONG EARTHQUAKE IN THE MAINLAND OF CHINA

WANG Zhen-ya, YANG Li-ming

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou Gansu 730000)

Abstract

On the basis of experiences for earthquake prediction in recent years, in the light of the data of seismicity, starting with analysis of the law of great earthquake activity in global, adopting the method of reasoning from probability calculation, some important relative events and phenomena are deeply studied.

A series of medium-term prediction indexes are developed which can be used to forecast the large earthquake ($M_s \geq 7.0$) in the mainland of China.

Key words: China; Prediction index; Method of probability forecast; State of seismic activity