

广西及其邻近地区未来 10 年地震活动趋势研究

吴时平 黄瑞和

(广西壮族自治区地震办公室, 南宁)

提 要 广西及其邻近地区(以下简称广西地区)的地震活动周期约为 360 年, 在地震活跃期, 尚存在 21 年左右的地震周期变化, 目前广西地区的地震活动正处于地震活跃期的后期。多种数值预报方法预测: 九十年代中期该地区可能会发生 5 级以上破坏性地震, 其地点有可能在已形成的地震空区一带。

关键词 地震趋势预测 最大熵谱 富里埃周期 预测模型 震中适移 小震圈空

本文在探讨未来 10 年地震发展趋势时所选定的空间系指如下地区: 即西起云南小江断裂带以东, 向东南经黔西南、桂西、桂东南延伸至广东阳江以西的地区; 它还包括了越南及北部湾的部份区域(图 1)。该区域的具体位置为 (105°E, 26.5°N), (103°E, 23°N), (108.5°E, 20°N), 111.5°E, 21.5°) 111.5°E, 23°N)。因广西占了本文所讨论区域的大部, 故以下简称广西地区。

1 地震序列的数值分析

广西地区自公元 1000 年以来共记载 3 级以上地震 565 次。其中 4.75 级以上地震 57 次。1000 年以来的 4 级以上地震分布见图 1。从现有的历史地震资料看: 广西地区的地震活动明显存在着两个活动周期, 其第二活动周期大约开始于 1690 年。目前广西地区地震活动正处于第二活动期的活跃期, 该活跃期始于 1857 年。

本文以单位时间内的最大地震震级作为特征量, 对广西地区地震序列选取不同的时段作了熵谱分析和富里埃周期分析, 以获取地震周期的时间尺度估计。

数据的预处理: 对 1450 年以来的地震资料分别以采样步长 10 年、5 年、3 年的最大地震震级作为特征量。如果单位时间内无地震记录, 则分别视 10 年、5 年、3 年的采样步长人为地补足一个 4 级、3.5 级、2.5 级地震。这种处理方法应该说是符合广西地区地震活动实际水平的。对由此获得的等间隔时间序列, 先作三点加权滑动平均, 进而求取零均值平稳序列, 以此为样本作熵谱分析和富里埃周期分析。

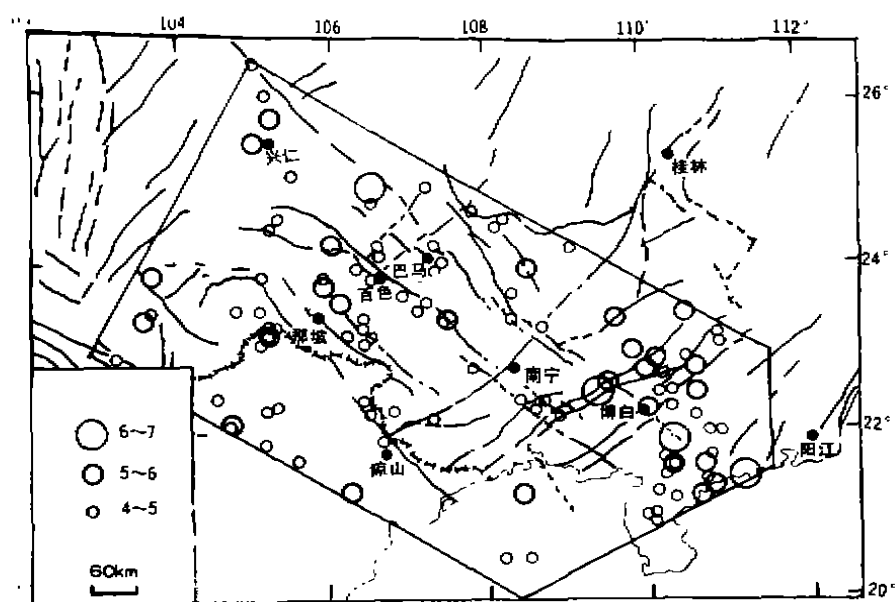


图 1 广西及邻近地区地震震中分布图 (公元 1000—1990 年, $M \geq 4$)

Fig. 1 Epicentre distribution in and near Guangxi (1000—1990 $M \geq 4$)

1.1 最大熵谱分析^{[1][2]}

用 Burg 迭代法求出各序列最大熵谱估计中诸自回归参数和白噪声方差,按 FPE 最小准则确定 AR 模型的最佳拟合阶数。各时间序列经熵谱分析求得显著周期按其功率谱大小列于表 1。图 2 是其中的一幅熵谱图。

表 1 广西地区地震时间序列的最大熵谱分析结果

Tab. 1 Result of the analysis about the maximum entropy spectrum of seismic time series

单位时间	统计时间	周期 1 (年)	周期 2 (年)	周期 3 (年)
10 年	1451—1990	357	89	133
5 年	1601—1990	384	93	63
3 年	1601—1990	462	95	20
3 年	1778—1990	353	67	21
3 年	1856—1990	21	182	38
3 年	1900—1990	21	100	3.5

从表 1 常出现的重复数据看,广西地区地震活动周期平均约为 360 年,次显著周期约为 90 年。最后两行 21 年的周期则反映了活跃期更细微的周期变化。

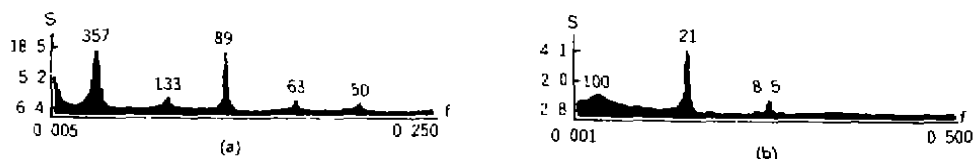


图 2 广西地区地震时间序列的最大熵谱分析周期图

a 采样步长 10 年 (1471-1990); b 采样步长 3 年 (1900-1990)

Fig. 2 Periodogram of the analysis about the maximum entropy spectrum of seismic time series in Guangxi

1.2 富里埃周期分析

表 2 广西地区地震时间序列富里埃周期分析结果

Tab. 2 Results of the analysis about Fourier period of seismic time period in Guangxi

采样 步长 (年)	时 段	样 本 数	周 期 图 1				周 期 图 2			
			周 期	功 率	周 期	Fisher 值	周 期	功 率	周 期	Fisher 值
10	1470-1830	36	90	.355	2.27	2.82×10^{-4}				
10	1520-1880	36	90	.373	2.50	1.93×10^{-4}				
10	1570-1930	36	120	.351	2.21	3.94×10^{-3}	90	.334	2.01	3.34×10^{-6}
10	1630-1990	36	360	.671	8.12	2.44×10^{-4}				
5	1560-1920	72	360	.497	8.88	8.33×10^{-4}	90	.387	5.40	8.83×10^{-4}
5	1590-1950	72	360	.762	20.9	1.06×10^{-9}				
5	1630-1990	72	360	.855	26.3	1.05×10^{-12}				
3	1590-1950	120	360	.712	30.4	3.75×10^{-14}				
3	1630-1990	120	360	.919	50.6	2.54×10^{-20}				

富氏分析的局限性在于当取样长度 N 时, 富氏分析只能获得周期为 N/K ($K=1, 2, \dots, [N/2]$) 的频谱。由于我们仅拥有 1450 至 1990 年共 540 年的不完备的地震资料, 尚不足 2 个 360 年周期长, 因此只能以不同的采样长度, 不同的 360 年长的时段去进行多次离散富里埃变化, 以证实 360 年周期的客观性。其计算方法同文献 [3], 所得结果均通过置信度水平 0.01 的 Fisher 检验。表 2 是富里埃周期分析结果, 其周期按振幅谱大小排列。

表 2 显示 360 年和 90 年周期均多次出现, 它们的功率谱值也相当稳定。由功率谱值

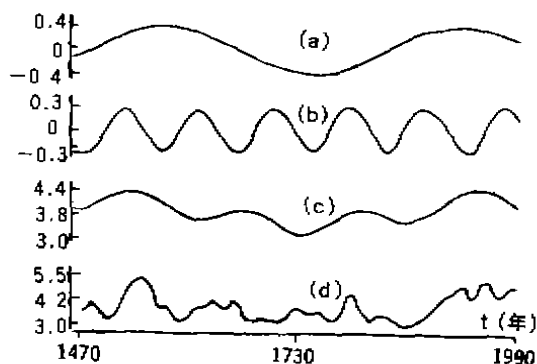


图 3 广西地区地震时间序列富里埃周期拟合曲线

a 360 年周期; b 90 年周期; c 拟合曲线; d 样本曲线

Fig. 3 Quasi-curve of Fourier period about seismic time series in Guangxi

大小可以判定 90 年周期没有 360 年周期显著。选取不同时段, 不同采样步长的值所作的 $S-t$ 曲线, 同样显示出 360 年和 90 年周期, 它们的相位基本一致。图 3 是富氏周期分析的拟合曲线图, 它较好地反映了广西地区地震时间序列的变化。目前该曲线尚处于高峰期的下降段。

本活跃期 21 年周期的存在同样得以验证。它们的周期对比图绘于图 4。

自进入本活跃期以来, 广西地区已发生 $M \geq 4.8$ 级地震 38 次。如图 4 所示, 其中 3 次 $M \geq 6$ 级地震和 65% 的 $M \geq 4.6$ 级地震发生在 21 年周期的峰期。若以谷底前后 3 年视为 21 年周期的相对平静期, 则有 71% 的 $M \geq 4.8$ 级地震发生在 21 年周期的相对活跃期。这说明该周期对活跃期的地震活动影响是很显著的。应该看到: 活跃期的 21 年周期变化必然要受到 360 年和 90 年地震周期的影响和制约。目前广西地区地震活动正处于 360 年和 90 年周期的峰段, 因此在 21 年周期的谷底也时有强震发生, 只是其频次和强度均较之峰期为弱罢了。

综上所述可以认为: 广西地区的地震活动期约 360 年。第二活动期始于 1690 年, 自 1857 年后进入活跃期。现今地震活动正处于 360 年周期的峰期下降段, 即活跃期的后期, 估计这一时期还将延续 60 年左右, 因此在未来 60 年内仍将发生多次中强震。

2 未来 10 年地震发展趋势

前已论及广西地区地震活动现今正处于 360 年周期的峰期下降段, 但目前地震活动也恰好处在活跃期 21 年周期的谷底 (图 4), 造成近几年地震频度和强度明显偏低的状态。约自 1991 年始, 地震活动将进入 21 年周期的上升期, 未来 10 年地震活动水平将逐年增强, 估计会有中强震发生。本文试图在这一节对未来地震的强度, 发震时间、地点作预测。

2.1 强度预测

2.1.1 震级—频度关系

震级—频度关系 $\lg N = a - bM$ 是表征一个地区地震活动特性地重要公式。

本文采用累计频度计算广西地区第二活动期的活跃期的 a 、 b 估值, 震级下限 4 级。由此求得的活跃期 5、5.5 和 6 级地震的复发周期分别为 6.7、15.6 和 36.5 年; 在假定强震的次数服从泊松分布的条件下求出未来 5—10 年内的 5、5.5 和 6 级地震的发震概率分别为 0.58、0.70 和 0.56。

用震频关系经验公式对 1960 年以来的 5 级以上地震作检验预报, 各次统计所得到的地震复发周期与上述结果基本一致, 理论缺震数均能由其后的实发地震数得到部份补足。检验预报表明: 当预测震级分别为 5 和 5.5 级时, 其概率在 0.55 和 0.70 以上时, 发震的危险性较大。上述结果表明未来 5—10 年内 5 和 5.5 级地震的发震概率均已达到或超过发震的阈值, 有可能发生 5 级以上地震。而 2000 年以前, 6 级地震的发震概率依然很小, 故不

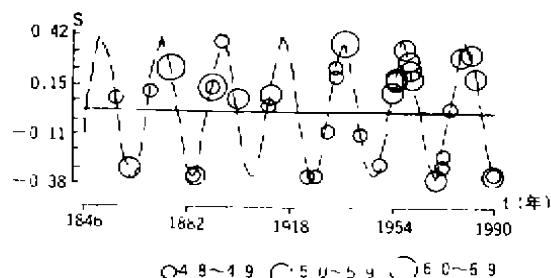


图 4 广西地区 21 年地震周期与活跃期地震活动的关系

Fig. 4 Relationships between the seismic period about 21 years and seismicities at active period in Guangxi

会发生 6 级以上地震。

2.1.2 0-1 序列的时序分析^{[1],[4]}

对于零均值平稳序列 $\{x_t\}$, 按下式对 x_t 作硬判决, 建立相应的 0-1 序列 $\{W_t\}$ 。

$$W_t = \begin{cases} 1 & x_t > 0 \\ 0 & x_t \leq 0 \end{cases}$$

可以证明: 零均值平稳序列的自相关函数可由它们相应的 0-1 序列的自相关函数求得, 进而求得 AR (P) 自回归模型的各项乘系数。

预测结果见表 3, 拟合曲线见图 5。若限定实发地震震级与一步预报震级之差在 ± 0.3 级内为预测准确, 对 1960 年以来的各外推单位时间内实际发生的最大地震作检验预报, 预测效果还是令人满意的: 在 16 次预报中, 报准了 12 次, 准确率为 75%。所以可以由表 3 推断在 5 年内广西地区发生 5.5 级左右地震的可能性约为 75%, 而在 1993 年以前, 最大地震震级也就是 4.5 级左右。

表 3 0-1 序列的时序分析结果

Tab. 3 Results of time series analysis of order 0-1

采样步长	统计时段	拟合阶数	均方差	一步预测之值
5 年	1510—1990	13	0.52	5.5
3 年	1610—1990	14	0.56	4.5

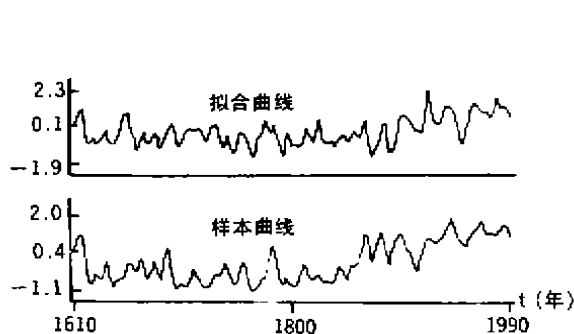


图 5 广西地区地震活动 (0-1) 序列时序分析拟合曲线

Fig. 5 Quasi-Curve of the analysis about seismic time series Corder, 0-1 in Guangxi

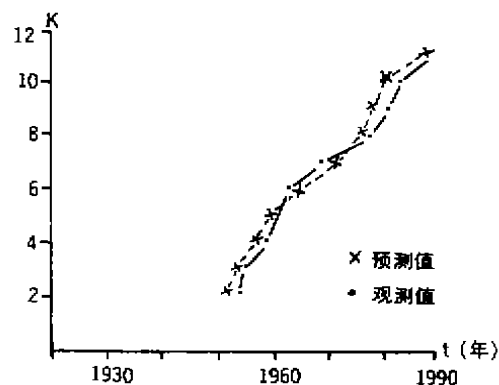


图 6 广西地区 GM (1, 1) 模型预测值与观测值图 (1920—1990)

Fig. 6 Predicting and observing values of GM (1, 1) model in Guangxi (1920—1990)

2.2 时间预测

本文运用 GM (1, 1) 灰色预测模型 [5] 对广西地区未来中强震的发展时间作预测。

在具体处理地震数据时, 对于广西地区两次相隔时间不到 1 年的强震, 只取用前者。我们发现拟合数据受统计的时间范围和震级下限的影响较大。经多次试算, 最终确定起算时间自 1920 年始, 震级下限为 5 级的拟合效果最佳, 其后验比小, 均方差亦最小。GM (1,

1) 模型预测值和观测值曲线见图 6, 其残差值均小于 2 倍均方差。

预测模型为:

$$X_{k+1} = 351.82e^{0.0862k} - 335.82$$

式中 k 为地震序号, X_{k+1} 为第 $k+1$ 次地震日期的累积生效数。由该预测模型可预报未来地震日期。用该方法对 1960 年以来各次 5 级以上地震的发展时间作检验预报。如一年内发生多次 5 级以上地震, 则只对第一次地震作预报。它们均能通过 $c < 0.35$ 的后验差检验, 小误差频率 P 均为 1。若限定预报日期的 ± 2 年内实际发展为报准, 则报准率 67%。

本文在预测震级强度时曾指出: 1993 年底以前不会发生 5 级以上地震, 考虑到地震活动的 21 年周期在 1995 年以后才进入峰期, 因此可以推断说: 1993 年以前不会发生 5 级以上地震, 最可能发生 5 级以上地震的时间应在九十年代中期。此外, 2000 年前不会发生 6 级以上地震。

2.3 地点预测

2.3.1 中强地震震中迁移规律

如图 1 所示, 广西地区基本包括了滇桂地震带和粤桂地震带的大部。北西向构造基本贯穿整个地区。巴马—昆仑关—博白断裂带、右江断裂带、那坡断裂带和红河断裂带是主要的北西走向的活动断裂带。4 级以上地震的空间分布基本是沿着这些断裂带排列的。说明广西地区的中强震活动主要是受北西向断裂带所控制。

本文着重研究 1900 年以来广西地区 28 次 $M \geq 4.8$ 级地震的迁移规律与北西向构造的关系。为此, 将这 28 次地震震中投影到北西与北东两条相互正交的坐标轴上 (图 7)。图 7 (a) 主要反映地震沿广西地区北西走向的迁移规律。可以看出: 当广西地区东南部发生地震后, 鲜有继续滞留在邻近地区发展的现象, 震中将渐次向西北迁移。而当震中位于广西地区中部或西北部时其邻近地区可能是下次发展的地点。但当震中位于西北部时, 下次地震也有跃迁至东南部发展的可能。图 7 (b) 则反映了地震在各北西向断裂带之间迁移的规律。经统计在 27 次震中迁过移程中, 有 22 次发生在带与带之间的迁移上, 占总次数的 81%。换句话说: 发生同带迁移的概率仅为 20%。

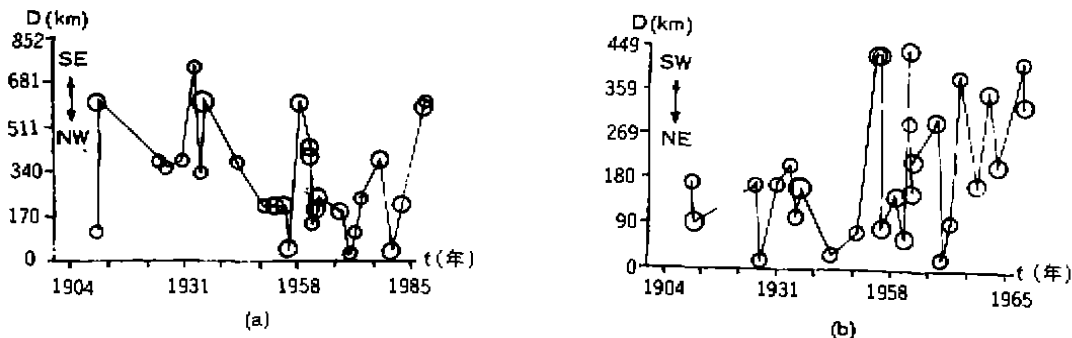


图 7 广西地区震中迁移图 (1900—1990)

Fig. 7 Epicentre shift in Guangxi (1900—1990)

最近一次 5 级地震发生在东南部的北部湾海域, 并可能位于那坡断裂带的延伸部位上。

按上述推断, 可以认为下次强震极有可能在广西地区中部发生, 且其构造位置当在红河断裂带或右江断裂带或巴马断裂带乃至更往东北的一些次一级的北西向断裂带上。

2.3.2 地震围空区

图 8 显示在广西那坡至南宁一带存在一个 $M_L \geq 3.0$ 级的地震围空区。该空区为那坡断裂带、巴马—博白断裂带、凭祥—南宁断裂带及通过百色附近的北东向断裂带所界定。空区长轴约 240 km, 短轴约 180 km。右江断裂带恰好穿过该空区。空区内原系地震活跃地区, 1977 年还曾发生过 5.0 级 (M_S) 地震。但自 1986 年始, 空区内地震日见稀少, 而在空区边界约 30 km 宽的环形带上, 自 1986 年始已发生 10 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 其中包括 1 次 4.0 级地震。

在对空区内和空区外围半径 240 km (与空区长轴等长) 的环形区域的地震频度、能量释放等指标的演变过程作研究后认为那坡—南宁空区的孕育约始于 1986 年初形成于 1990 年中。而该空区恰恰处于广西的中部, 与前述地震迁移规律的推断不谋而合。

综上所述: 广西地区的中部可能是未来 5 级以上地震的发震区域。

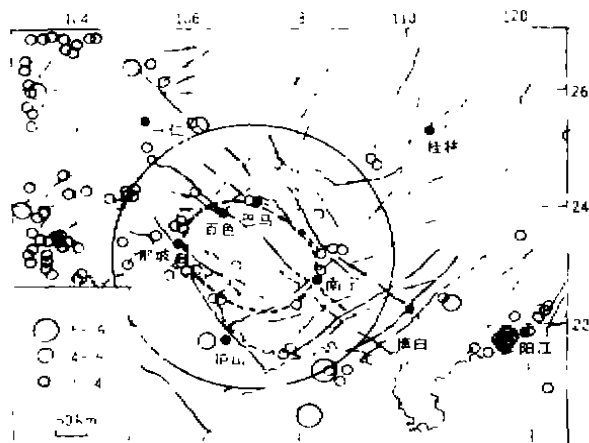


图 8 广西及其邻近地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布 (1985 年—1991 年 6 月)

Fig. 8 Epicentre distribution of $M_L \geq 3.0$ in Guangxi

3 结 论

3.1 广西地区的地震活动期约为 360 年。地震活动在受 360 年周期控制的同时, 还受到 90 年周期的影响。广西地区现今正处于地震活跃期的后期, 这一过程还将持续约 60 年。这期间还会有多次中强震发生。

3.2 在地震活跃期, 21 年的地震周期对地震活动的影响较为显著。目前地震活动正处于 21 年周期的谷底, 显示出相对平静的特征。自 1992 年始, 地震活动将转入上升期, 活动水平会逐步增强。

3.3 至 2000 年以前, 广西地区不会发生 6 级以上地震。但在 90 年代中期可能会发生 5—5.5 级左右的地震。其地点可能在已形成的地震围空区内。

参 考 文 献

- 1 项静恬, 等. 动态数据处理—时间序列分析. 气象出版社, 1986.
- 2 朱岳清, 等. 信息论最大熵谱方法的优良特性及其应用研究的新进展. 地震, 1985, (4).
- 3 龙安明. 广西及其邻区历史地震序列的周期图分析. 四川地震, 1988, (2).
- 4 石特临, 等. 应用动态序列建模方法研究我国大陆和青藏高原北部地区震活动大形势. 中国地震大形势预测研究. 地震出版社, 1990.

- 5 王湘南. 应用灰色理论估计我国大陆地区未来地震的大形势. 中国地震大形势预测研究, 地震出版社, 1990.
- 6 张嘉廷, 等. 河北及其邻区强震前地震空区的判定. 地震监测与预报方法清理成果汇编—测震学分册, 地震出版社, 1989.

A STUDY ON THE TREND OF SEISMIC ACTIVITY IN GUANGXI AND ITS SURROUNDING AREAS IN THE NEXT TEN YEARS

Wu Shiping and Huang Ruihe

(Seismological Office of Guangxi Zhuang Autonomous Region)

Abstract

The cycle of seismic activity is about 360 years in Guangxi and its surrounding areas (simply called Guangxi in this paper). There is still a seismic periodic variation approximate to 21 years in the seismo—active stage, which is evidently shown in the seismic activity.

The recent seismic activity in Guangxi is at the later seismo—active stage. By using several numerical prediction methods, the result indicates that earthquake larger than $M_s=5.0$ will occur in Guangxi at the middle of the nineties, the epicentre may be at the seismic gap which had justly formed between Nanning and Napo.

Key words: Trend predication, seismic activity, Maximum entropy spectrum, Fourier period, Predicting model, Epicentre migration.