

利用门限自回归建模和样条函数拟合方法 研究甘肃东南部地区地震活动特征

郭大庆 杨立明

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文应用数学门限自回归模型和样条函数,研究了甘肃东南部的地震活动特征。结论如下:(1)甘肃东南部的地震活动具有“准周期”现象,本世纪以来已经历了三个“准周期”,目前,处于第三活动期。(2)1900年以来的地震活动处于较低的水平,大多数地震的震级为5—6级。根据本文的研究,下一次地震的震级约为5级左右,目前发震的概率为0.74。(3)震级大于4.7级地震的空间分布图象与数字模拟实验结果一致。

前 言

甘肃东南部地区指 $N33^{\circ}-36^{\circ}$, $E103^{\circ}-106^{\circ}$ 范围内的区域,其构造位置属于南北地震带北段的南部,亦属青藏高原北部地震区的东北部。区内构造复杂,近南北向的断裂和北西西向的断裂纵横交错。地震活动非常频繁。历史上多次发生巨大地震,如1654年天水8级地震、1718年陇西、甘谷、通渭一带的 $7\frac{1}{2}$ 级地震和1879年武都8级地震等。本世纪以来,青藏高原北部地震活动经历了五个高潮期,目前处于第六个地震活动高潮期,甘肃东南部的地震活动亦随之起伏。本文采用门限自回归建模和样条函数拟合等方法,对甘肃东南部的地震活动进行研究,以揭示其特征。

一、门限自回归模型和样条函数拟合的原理

1. 门限自回归模型及其建模、预报

门限自回归模型是具有较广泛意义的一类非线性模型,其基本思想是利用门限值把非线性模型按状态空间取值,并采用逐段线性化来处理非线性过程,可以有效地描述具有复杂周期规律的随机系统。

设 $\{x_t\}$ 是单变量的观察序列,门限自回归模型定义为:

$$x_t = \varphi_t^{(j)} + \sum_{i=1}^{p_j} \varphi_t^{(j)} x_{t-i} + a_t^{(j)}, \quad r_{j-1} < x_{t-d} \leq r_j. \quad (1)$$

其中 $j = 1, 2, 3, \dots, l$; d 为延迟参数; $\{a_t^{(j)}\}$ 为相互独立的白噪音序列; r_j 称为门限值 ($j = 1, 2, \dots, l-1$); $\{\varphi_t^{(j)}\}$ 为模型参数序列 ($i=0, 1, 2, \dots, p_j$); p_j 为模型的阶数。

公式 (1) 记为 SETAR (d, l, p_1, \dots, p_l), 表明把观察序列依门限值划分为 l 段, 当 x_{t-d} 落入第 j 段时就采用第 j 个阶数为 p_j 的自回归模型来描述。

选择最优的门限值 r_j , 门限延迟参量 d , 及各段模型的阶数 p_j , 即可建立理想的门限自回归 SETAR (d, l, p_1, \dots, p_l) 模型。

利用所建 SETAR (d, l, p_1, \dots, p_l) 模型可进行任意的 m 步预报。其中 m 为预报步长。当 $m < d$ 时, x_{n+m-d} 的样本值已经观察到, 它属于哪一个门限区间是确定的, 对于 x_{n+m} 就可采用相应区间上的 AR (p_j) 模型进行预报:

$$\hat{x}_{n+m|n} = a_t^{(j)} + a_1^{(j)} x_{n+m-1|n} + a_2^{(j)} x_{n+m-2|n} + \dots + a_{p_j}^{(j)} x_{n+m-p_j|n}.$$

当 $m > d$ 时, 由于 x_{n+m-d} 的样本尚未观察到, 可先作一步预报。因为 x_{n+1-d} 是已观察到的, $x_{n+1|n}$ 是可预报的。然后以 $x_{n+1|n}$ 作为 x_{n+1} 的观察值。用同样方法, 求得 $x_{n+2|n+1}$ 作为 x_{n+2} 的观察值, 依此类推, 便可求得任意的 m 步预报。

2. 样条函数拟合

样条函数拟合是一种非线性的曲线拟合方法, 采用光滑的样条函数来拟合具有随机起伏的数据。它以分段多项式的形式来满足数据的起伏变化, 而在分点上强调连续性和可微性, 来约束实际的连续过程。

样条函数拟合是指根据观察数据, 拟合如下模型:

$$x_k = \varphi(x_k) + \varepsilon_k, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

其中 $\varphi(x_k)$ 称为样条函数, 其定义为

$$\varphi(x) = \begin{cases} \alpha_1^{(1)} + \alpha_2^{(1)}x + \dots + \alpha_{p_1}^{(1)}x^{p_1-1}, & a_0 < x \leq a_1; \\ \alpha_1^{(2)} + \alpha_2^{(2)}x + \dots + \alpha_{p_2}^{(2)}x^{p_2-1}, & a_1 < x \leq a_2; \\ \vdots \\ \alpha_1^{(r)} + \alpha_2^{(r)}x + \dots + \alpha_{p_r}^{(r)}x^{p_r-1}, & a_{r-1} < x \leq a_r. \end{cases}$$

且 $\varphi(x)$ 满足以下微分连续性:

$$\begin{aligned} \frac{d^i \varphi(x)}{dx^i} \Big|_{x=a_j^-} &= \frac{d^i \varphi(x)}{dx^i} \Big|_{x=a_j^+}, \\ j &= 1, 2, 3, \dots, (r-1); \\ i &= 0, 1, 2, \dots, \tau_j. \end{aligned}$$

其中 a_1, a_2, \dots, a_{r-1} 为 $\varphi(x)$ 的结点; $p_1 - 1, p_2 - 1, \dots, p_r - 1$ 为 $\varphi(x)$ 逐段上的多项式阶数; $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{r-1}$ 为 $\varphi(x)$ 在结点上的连续可微的阶数。

可见, $\varphi(x)$ 为分段多项式, 但在结点处, 相邻两段多项式具有 τ_j 次的可微性。

由于样条函数的产生以插值为背景, 三次多项式样条函数常能给出满意的插值结果, 所以, 在多项式样条函数中, 以三次样条函数为主。下面我们就考虑多项式曲线拟合的问题。

由于三次样条函数共有 $4r$ 个参数, $3(r-1)$ 个约束条件, $r+3$ 个自由参数, 适当地使用这 $r+3$ 个自由参数, 就可以把多项样条函数写成以下形式:

$$\varphi(x) = \begin{cases} a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3, & a_0 \leq x \leq a_1; \\ a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5(x-a_1)^3, & a_1 < x \leq a_2; \\ a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5(x-a_1)^3 + a_6(x-a_2)^3, & a_2 < x \leq a_3; \\ \vdots & \vdots \\ a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5(x-a_1)^3 + \dots + a_{r+3}(x-a_{r-1})^3, & a_{r-1} < x \leq a_r. \end{cases}$$

$\varphi(x)$ 具有分段多项式的形式, 又满足约束条件, 于是, $\varphi(x)$ 就成为非约束型的有限参数模型。如果定义:

$$\begin{cases} \varphi_1(x) = x^{i-1} & (i = 1, 2, 3, 4); \\ \varphi_i(x) = \begin{cases} 0 & a_{i-4} \geq x \\ (x - a_{i-4})^3 & a_{i-4} < x \end{cases} & (i = 5, 6, \dots, r+3). \end{cases}$$

于是, $\varphi(x)$ 就可以写成:

$$\varphi(x) = a_1\varphi_1(x) + a_2\varphi_2(x) + \dots + a_{r+3}\varphi_{r+3}(x).$$

以上形式对于三次样条曲线模型的拟合转化为广义线性模型。采用最小二乘原理可以进行拟合。

二、本世纪以来甘肃东南部的地震活动特征

本世纪以来, 甘肃东南部的地震活动在强度和时间内具有强弱起伏的间歇特征形态, 而在空间上, 由于区内构造的制约, 亦具有一定的空间分布特征。

1. 甘肃东南部本世纪以来地震活动的时间分布特征

图 1 为 1900 年以来甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的 M-T 图。根据图 1 并按照地震活跃时序的疏密程度, 可以将 1900 年以来甘肃东南部的地震大致分成三个活跃期。第一活跃期由 1920 年 12 月 17 日甘肃靖远 5.0 级地震开始, 结束于 1939 年 3 月 13 日靖远 5.0 级地震。其间届时 20 年左右。第二活跃期开始于 1957 年 7 月 18 日定西 5.1 级地震, 结束于 1974 年 9 月 23 日玛曲 5.6 级地震, 届时 18 年左右。1979 年 7 月 25 日礼县 4.7 级地震亦可算入第二活跃期。第三活跃期可以认为开始于 1985 年 6 月 24 日宕昌 4.9 级地震, 之后连续发生 1987 年迭部 5.9 级地震和礼县 5.0 级地震。因此, 目前甘肃东南部地区的地震活动正处于第三个地震活跃期内。

进一步分析 M-T 图的时间结构, 甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震还可以分出更为密集的地震丛集群。比较显著的三个地震丛集时段为: 1920 年至 1925 年, 1927 年至 1938 年和 1951 年至 1965 年。

地震丛集的现象在本质上反映了地壳应力场的高强度背景, 并以地震活动的方式释放能量的状态。

甘肃东南部地区属南北地震带北段, 和祁连山地震带在一起, 可称之为青藏高原地震区东北部, 这一地区的地震活动本应具有总体的一致性和谐调性。历史资料表明, 甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的活动和祁连山海原地震带 7 级以上地震活动具有共时性。特

别是三次地震丛集群和祁连山、海原地震带上的 7 级以上地震在时间上显著相关。1920 年海原发生 8.5 级地震，甘肃东南部第一地震丛集群活动则从 1920 年至 1925 年，其间发生 9 次 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震；1927 年古浪发生 8.0 级地震，1932 年昌马发生 7.6 级地震，甘肃东南部地区第二个 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震丛集群发生于 1927 年至 1936 年，其间发生 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震 9 次；1954 年山丹、民勤两次 7 级地震后，甘肃东南部地区第三个地震丛集群发生在 1957 年至 1965 年间，其间共发生 10 次 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震。甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的这种呼应现象在第三活跃期亦有表现。1986 年 8 月 26 日门源发生 6.4 级地震之后，于 1987 年 1 月甘肃东南部迭部发生 5.9 级地震，随后于 10 月发生礼县 5.0 级地震；1990 年 10 月祁连山天祝—景泰发生 6.2 级地震，1991 年元月东南部漳县发生 4.0 级地震，5 月甘谷再次发生 4.0 级地震。应当提出的是，漳县和甘谷两次地震只有 4.0 级，震级均未上升到 $4 \frac{3}{4}$ 或 5 级左右。表 1 为 1900 年以来本区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震有关参数。其中地震的月统计频次和相应的直方图如表 2 及图 2 所示：

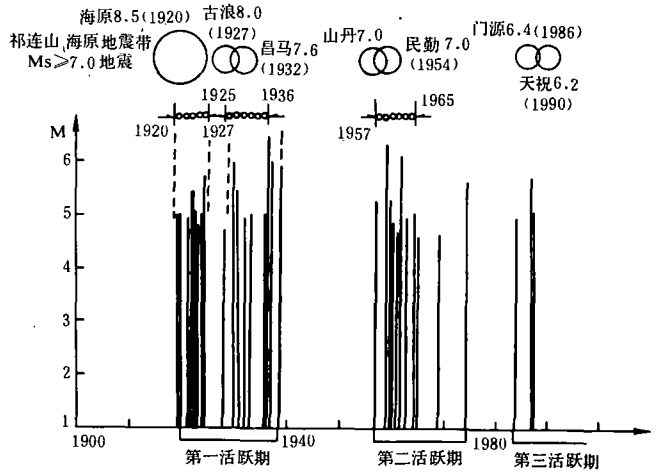


图 1 1900 年以来甘肃东南部 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震 M—T 图

Fig. 1 M—t diagram with $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ earthquakes since 1900 in the southeast Gansu Province

震的这种呼应现象在第三活跃期亦有表现。1986 年 8 月 26 日门源发生 6.4 级地震之后，于 1987 年 1 月甘肃东南部迭部发生 5.9 级地震，随后于 10 月发生礼县 5.0 级地震；1990 年 10 月祁连山天祝—景泰发生 6.2 级地震，1991 年元月东南部漳县发生 4.0 级地震，5 月甘谷再次发生 4.0 级地震。应当提出的是，漳县和甘谷两次地震只有 4.0 级，震级均未上升到 $4 \frac{3}{4}$ 或 5 级左右。表 1 为 1900 年以来本区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震有关参数。其中地震的月统计频次和相应的直方图如表 2 及图 2 所示：

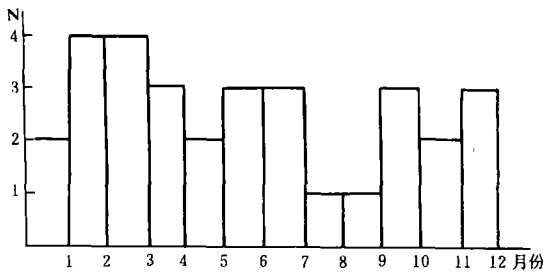


图 2 每月的 N—Month 频次直方图

Fig. 2 Bar chart of frequency versus month

2. 甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震空间分布特征

图 3 中绘出了甘肃东南部地区 1900 年以来 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的震中分布图。从图中可以看出，本世纪以来甘肃东南部地区中强地震在西秦岭北缘断裂带上是呈现较为密集的 Z 字型共轭分布状态。该地区主压应力是近东西向(秦保燕等)。陈 等用实验研究和数字模拟计算方法讨论了带有倾斜 45° 割缝的大理岩平板，在单轴压缩下塑性软化区的空间发展过程。图 4 为用有限单元法计算大理岩割缝中塑性变形区的展布图。实验

实验研究和数字模拟计算方法讨论了带有倾斜 45° 割缝的大理岩平板，在单轴压缩下塑性软化区的空间发展过程。图 4 为用有限单元法计算大理岩割缝中塑性变形区的展布图。实验

表1 1900年以来甘肃省东南部 $m_s \geq 4.75$ 级地震及有关参数表

序号	日期	地震位置			震级 (M_s)	时间间隔 (月)	对数值
		北纬	东经	地点			
1	1920年12月17日	36°48	104°36	靖远	5		
2	1920年12月20日		4.75	0.1	-1		
3	1921年02月15日	34°42	104°48	武山	5	3	0.48
4	1921年02月23日	35°00	105°12	通渭	5.5	0.25	-0.6
5	1921年03月27日	37°12	104°12	景泰	5.5	2	0.3
6	1921年05月04日	37°12	104°12	景泰	5	2	0.3
7	1921年11月23日	35°06	106°42	会宁	4.75	7	0.85
8	1924年04月22日	35°30	104°00	临洮	5.75	29	1.46
9	1928年03月21日	36°00	103°00	兰州	4.75		
10	1930年07月24日	34°24	104°48	漳县	5.5	28	1.45
11	1931年12月07日	34°30	102°00	玛曲	5.5	17	1.23
12	1932年	34°30	104°48	漳县	5	7	0.85
13	1933年11月03日	34°36	105°42	天水	4.75	11	1.04
14	1936年02月07日	35°12	103°42	康乐	6.75	27	1.43
15	1936年03月08日	35°48	103°06		5	1	0
16	1938年08月11日	34°24	105°48	天水	6	5	0.7
17	1939年03月13日	36°36	104°42	靖远	5	33	1.52
18	1957年07月18日	35°30	104°18	定西	5.1		
19	1959年01月31日	37°00	104°00	景泰	5.25	18	1.26
20	1960年02月03日	33°48	104°30	舟曲	5.25	13	1.11
21	1960年04月04日	35°12	103°06	和政	4.9	2	0.3
22	1961年04月12日	37°00	104°00	景泰	4.8	12	1.08
23	1961年06月05日	34°18	104°00	岷县	4.8	2	0.3
24	1961年10月01日	34°18	104°48	岷县	5.7	4	0.6
25	1962年12月11日	34°42	105°03	甘谷	5	2	0.3
26	1964年05月31日	35°18	103°18	和政	5	17	1.23
27	1965年06月24日	32°48	104°42	文县	4.75	13	1.11
28	1969年10月26日	37°08	103°36	景泰	4.7	52	1.72
29	1974年09月23日	33°45	102°30	玛曲	5.6	59	1.77
30	1979年07月25日	34°23	105°22	礼县	4.7		
31	1985年06月24日	33°59	104°20		4.9		
32	1987年01月08日	34°10	103°14	迭部	5.8	19	1.28
33	1987年10月25日	34°03	105°10	礼县	5.0	10	1
34	1991年01月24日	34°54	104°20	漳县	4.0	39	1.59
35	1991年05月25日	34°40	105°07	甘谷	4.0	4	0.6

表2 1900年以来甘肃东南部地区地震的月频次表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
频次	2	4	4	3	2	3	3	1	1	3	2	4

条件和甘肃东南部的压应力方向及断层的走向等条件具有很好的相似性。同时，结果亦有很大的一致性。因此，可以认为，甘肃东南部的康乐、和政、临洮、定西地区和武山、甘谷、礼县、通渭地区出现的地震密集分布状态是由应力场和地震地质条件所决定的。值得指出的是康乐、和政一带在历史上无7级左右地震发生，是西秦岭北缘断裂带上7级以上地震的空段，对这一地区应引起注意。

三、门限自回归建模和概率计算结果

由M-T图可以看出，甘肃东南部地区地震强度具有很大的强弱起伏性，倘若展开M-T关系，只考虑震级的强度序列变化，则表现出很强的非线性起伏状态。如图5所示用门限自回归模型来描述这类序列常能取得很好的结果。

表3列出了本世纪以来甘肃东南部 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的发展时间间隔(a)及其对数(b)的统计频次，图6则为相应的N-Δt图。由图可见，可以利用样条函数来拟合N-ΔT曲线。

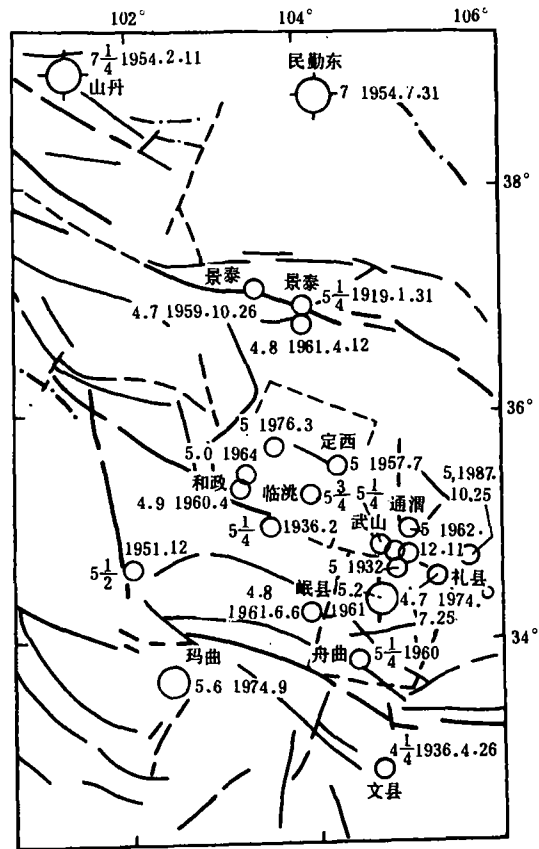


图3 1900年以来甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 地震震中分布图

Fig. 3 Distribution of epicentres with $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ since 1900 in the southeast Gansu Province

表3 1900年以来甘肃东南部地区的发展时间间隔(a)及其对数统计分布表(b)

	时间间隔	1—6	7—12	13—18	19—24	25—30	31—36	37—42	43—48	49—
a	频次	12	5	5	1	3	1	1	0	2
	n/n _Σ	0.4	0.16	0.16	0.03	0.1	0.03	0.03	0	0.07
b	时间间隔的对数	-1—	0—	0.31—	0.61—	0.91—	1.21—	1.51—	1.81—	
	频次	3	5	4	3	4	7	4	0	

1. 用门限自回归模型对甘肃东南部地区地震强度预测的结果

图7是对该区地震震级序列做对数预处理的经验分布图。该图呈现很明显的三段结构,其中每一个大的转折点,如A、B等,都表明在此之前数据的构成性态发生了突变。

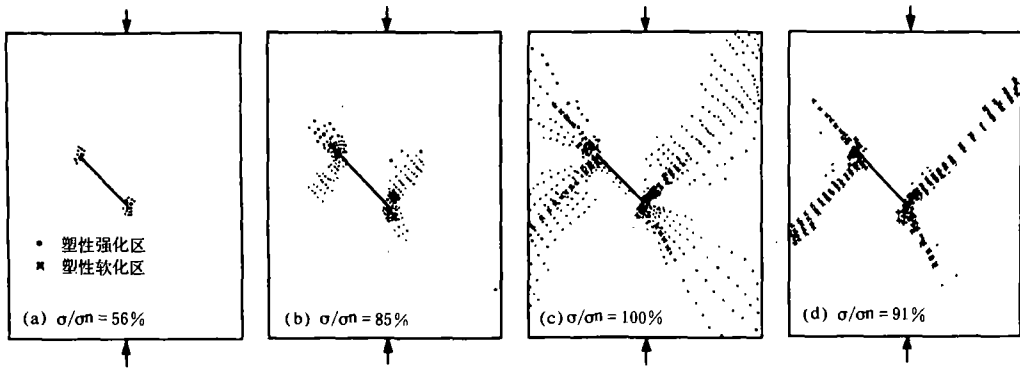


图4 用有限单元法计算的大理岩割缝中塑性变形区展布图

Fig. 4 Distribution of plastic deformation areas in slit on marble calculated by finite element method

仔细分析该经验分布图可以看出, I 段是由于引入了1991年1月24日漳县4.0级地震和1991年1月25日的甘谷4.0级地震的缘故。由于本序列中主要讨论 $4\frac{3}{4}$ 级以上的地震, 上述两个相邻的4.0级地震处于特殊位置, 可以不予考虑。这样, 图7中只有一个大的转折点B, 故建模时只取一个门限值。

表4中给出了甘肃东南部 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震的震级强度, 其中(a)为原始震级强度序列, (b)为作对数预处理后的序列。做对数预处理是为了使序列平稳化, 以减少建模误差。比较图5中的a、b两种情况就可看出, 预处理后的序列平稳了许多。

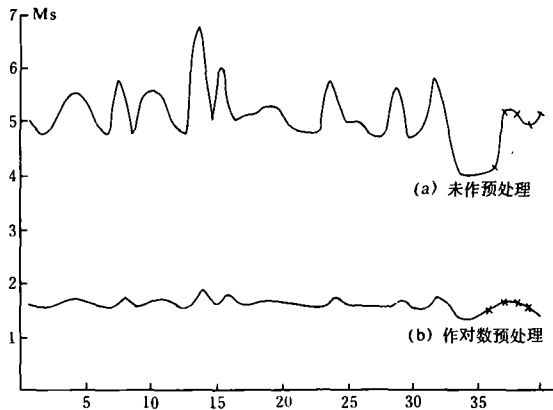


图5 1900年以来甘肃东南部地震震级序列变化图

Fig. 5 Change of sequence of magnitude in the southeast Gansu

表4 1900年以来甘肃东南部 $M_s \geq 4.75$ 级地震震级强度表

(a)未做预处理

5.00	4.75	5.00	5.50	5.50	5.00	4.75	5.75	4.75	5.00
5.50	5.00	4.75	6.75	5.00	6.00	5.00	5.10	5.25	5.25
4.90	4.80	4.80	5.70	5.00	5.00	4.75	4.70	5.60	4.70
4.90	5.80	5.00	4.00	4.00					

(b) 做对数预处理

1.61	1.56	1.61	1.70	1.70	1.61	1.56	1.75	1.56	1.70
1.70	1.61	1.56	1.91	1.61	1.79	1.61	1.63	1.66	1.67
1.59	1.57	1.57	1.74	1.61	1.61	1.56	1.55	1.72	1.55
1.58	1.76	1.61	1.39	1.39					

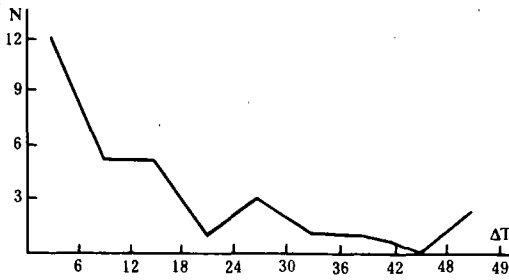


图 6 N-Δt 分布曲线

Fig. 6 Curve of N-T distribution

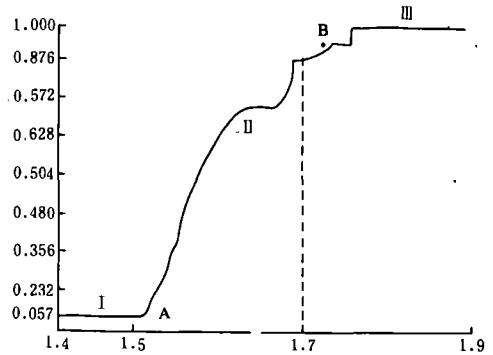


图 7 对数预处理震级序列经验分布图

Fig. 7 Empirical distribution of sequence of magnitude pretreated by logarithm

经过对取不同的门限值,不同的延迟量所得众多模型的最优选择,得到如下的门限自回归模型 SETAR (7, 2, 1, 3):

$$x_t = \begin{cases} 1.634 - 0.001x_{t-1} & , & (x_{t-7} \leq 1.7) \\ 1.322 + 0.12x_{t-1} + 0.113x_{t-2} - 0.073x_{t-3} & , & (x_{t-7} > 1.7) \end{cases}$$

其中,残差平方和分别为:

$$\sigma_1^2 = 0.11583 \quad ; \quad \sigma_2^2 = 0.49173 \times 10^{-5}$$

显然,模型是好的。

用该模型进行预报,取 5 步预报得到相应的预报值:

$$\begin{aligned} x_{(36)} &= 1.52752 & , & & x_{(37)} &= 1.63247 & , & & x_{(38)} &= 1.63237 & , \\ x_{(39)} &= 1.59084 & , & & x_{(40)} &= 1.63241 & . \end{aligned}$$

取反对数运算,转化成相应的震级为:

$$\begin{aligned} x'_{(36)} &= 4.6 & , & & x'_{(37)} &= 5.1 & , & & x'_{(38)} &= 5.1 & , \\ x'_{(39)} &= 4.9 & , & & x'_{(40)} &= 5.1 & . \end{aligned}$$

把上述 5 步预报画在图 5 的 a、b 上,以 * 表示,则很明显的是原序列的自然延伸,也进一步说明所建模型是合适的,预报是可信的。

因此,甘肃东南部地区在随后的时间里发震的震级在 5 级左右,而下一次地震的震级约为 Ms4. 6。

2. N- ΔT 曲线的样条函数拟合及地震的概率计算

对 N- ΔT 分布曲线采取线性插值处理, $\Delta T=3$ 个月为一基本采样点, 得到如下序列, 共 32 个点:

12.0,	10.5,	9.0,	7.0,	5.0,	5.0,	5.0,	5.0,	4.0,	3.0,
2.0,	1.0,	1.5,	2.0,	2.5,	3.0,	2.0,	1.7,	1.5,	1.0,
1.0,	1.0,	1.0,	1.0,	0.7,	0.4,	0.2,	0.0,	0.9,	1.3,
1.8,	2.0								

取结点数 $N_n=1$, ΔT_i 中 $i=12$ 处为样条函数的结点位置, 则得到如下的拟合模型:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 14.7 - 2.613t + 0.2024t^2 - 0.005681t^3 & (t \leq 12) \\ 14.7 - 2.613t + 0.2024t^2 - 0.005681t^3 + 0.006201(t-12)^3 & (t > 12) \end{cases}$$

最小残差平方和为 11.39%, 显然 $\varphi(t)$ 满足约束条件, 模型拟合结果是好的。

现在考虑随时间分布的概率问题, 令

$$\begin{aligned} Nm &= \int_0^T \varphi(t) dt \\ &= \int_0^{12} [14.7 - 2.613t + 0.2024t^2 - 0.005681t^3] dt \\ &\quad + \int_{12}^{32} [14.7 - 2.613t + 0.2024t^2 - 0.005681t^3 + 0.006201(t-12)^3] dt \end{aligned}$$

则

$$\begin{aligned} Nm &= 75.39 + 26.69 \\ &= 102.08 \end{aligned}$$

定义发震概率随时间的增长为:

$$P(t) = \int_0^t \varphi(t) dt / 102.08$$

利用 $P(t)$ 值可以计算在祁连山地震活动之后, 甘肃东南部中强地震发生随时间增长的概率。1990年10月甘肃天祝—景泰地震后, 至今已12个月。甘肃东南部地区 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震的发生概率为 0.74。

四、结论

综上所述, 可以得到如下的结论:

1. 甘肃东南部地震活动具有活跃期和平静期相间的整体变化形态。在前两个活跃期内, 均存在更为密集的地震丛集群, 目前处于第三活跃期。
2. 作为青藏高原北部地震区东北部的一部分, 甘肃东南部地区地震活动和祁连山地震带的7级大震活动具有共时性。
3. 甘肃东南部地区的中、强震在西秦岭北缘断裂带上呈现较为密集的Z字型共轭空间分布状态。
4. 在祁连山地震带发生地震活动之后, 甘肃东南部发震的概率随时间增长遵循:

$$P(t) = \frac{1}{102.08} \int_0^t \varphi(t) dt .$$

据此求得在1990年10月天祝——景泰地震后至今，甘肃东南部发生中强震的概率为：

$$p(t) = 0.74 .$$

5. 甘肃东南部地区地震强度序列具有明显的非线性特征，门限自回归建模预报结果表明本区在随后时间里发震的震级在5级左右，而下一次地震的震级约为Ms4.6。

本文所揭示的甘肃东南部地震活动的特点和规律，对该区地震活动的监测预报有一定的指导意义，提出的预报意见也有一定的实用参考价值。

(本文1991年12月24日收到)

参考文献

- (1) 杨位钦、顾岚，时间序列分析与动态数据建模，北京理工大学出版社，1988。
- (2) 安鸿志、顾岚，统计模型与预报方法，气象出版社，1986。
- (3) 陈颀等，地球物理学专集，Vol. 32, 1989。

A STUDY ON THE SEISMIC ACTIVITY FEATURE IN THE SOUTHEAST GANSU PROVINCE USING THE MATHEMATIC AUTOREGRESSIVE MODEL AND PISEWISE POLYNOMIAL

Guo Daqing, Yang Liming

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

In this paper, the authors have studied the seismic features in the southeast Gansu Province using the mathematic threshold autoregressive model and pisewise polynomial. The results are as follow:

1) The seismicity is of a "periodic phenomenon". There have been 3 cycles since this century. At present, the seismicity is in the third active "period".

2) Since 1900, the seismicity has been in lower level, most of earthquakes are ones with magnitude of 5 — 6. The next earthquake will be one with magnitude of about 5 according to the threshold autoregressive model, and its occurring probability at present is 0.74 based on the pisewise polynomial.

3) The pattern of space distribution of earthquakes ($M > 4.7$) is in accordance with analog - to - digital experiment.