

徐清华, 杨林根, 张明哲. 方差分析叠加周期外推法在地震预测中的应用[J]. 华南地震, 2015, 35 (1): 74–83. [XU Qinghua, YANG Linggen, ZHANG Mingzhe. The Application in Earthquake Prediction of Variance Analysis Superimposed by Periodic Extrapolation Method[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(1): 74–83.]

方差分析叠加周期外推法在地震预测中的应用

徐清华¹, 杨林根², 张明哲³

(1. 淮北市地震局, 安徽 淮北 235000; 2. 巢湖市地震办, 安徽 巢湖 238000; 3. 安徽财经大学, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 首先介绍方差分析叠加周期外推法, 并以郯庐地震带公元 1400 年以来 40 次 $M_s \geq 5$ 级以上地震为例说明方差分析叠加周期外推法的应用方法, 应用该方法分析了不同区域、不同震级的地震序列。结果显示: 郯庐断裂地震带、北京–渤海地震带、苏鲁皖交界地区、安徽地区的地震存在显著周期, 从统计学的角度可以预测下一次地震的范围。而河北平原地震带、淮河地震带、华东地区的地震经度或纬度则不存在显著周期, 无法外推下一次地震的范围。方差分析叠加周期外推法用于地震预测尚属于一种尝试。外推预测值与原始实测值虽然存在一定的误差, 但方法的意义在于应用统计理论上把预测地点进行了定量化, 缩小了监视范围。从某种意义上, 还为研究地震机理, 探索地震在时、空、强的演变规律上, 提供研究方向。

关键词: 方差分析; 外推法; 地震预测

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2015) 01-0074-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.01.012

The Application in Earthquake Prediction of Variance Analysis Superimposed by Periodic Extrapolation Method

XU Qinghua¹, YANG Linggen², ZHANG Mingzhe³

(1. Earthquake Administration of Huaibei City, Huaibei 235000, China; 2. Earthquake Administration of Chaohu City, Chaohu 238000, China; 3. Anhui Finance and Economics University, Bengbu 233000, China)

Abstract: This paper firstly introduces variance analysis superimposed by periodic extrapolation and takes 40 earthquakes with $M_s \geq 5$ in Tanlu seismic belt since 1400 B.C as an example to illustrate the application of variance analysis superimposed by periodic extrapolation. The paper analyzes the seismic sequences of different regions, different earthquake magnitude by using this method. The results show that significant earthquake cycle exists in Tanlu fault earthquake zone, Beijing–Bohai seismic belt, Jiangsu–Shanghai–Anhui border area and Anhui region. From a statistical point of view, we can predict the next earthquake. But there's no significant period in Hebei plain seismic belt, Huaihe seismic zone, and earthquake longitude or latitude in eastern China, which cannot extrapolated for the range of next quake. Variance analysis superimposed periodic extrapolation for earthquake prediction is still an attempt. In addition, the article also pointes out that there may be some errors

收稿日期: 2014-05-27

作者简介: 徐清华 (1969–), 女, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: xu.qinghua666@163.com.

between extrapolation forecast value and measured value. But the significance lies in the application of statistical theory to predict the locations quantitatively, and narrowing the monitoring range. In a sense, it also provides research directions for the study of mechanism of earthquake, the exploration of earthquake rules in time, space and strength revolution.

Keywords: Variance analysis; Extrapolation method; Earthquake prediction

0 前言

某一时间序列的历史数据,包括基本模式和随机起伏,预测就是力图将基本模式从随机性变化中分解出来,用基本模式来推测未来^[1]。方差分析叠加周期外推法作为统计预报实践中的一类时序周期外推法,在气象、水文、农业、地质等各方面已得到大量的应用,但在地震预测预报方面的应用尚不多见。

方差分析叠加周期外推法是一种统计分析方法^[2]。它可以分析与地震活动有关因子的变化是否异常,也可以用它摸索地震本身的活动规律进行外推预报。不过,这两者都必须依附在这些因子变化的过程中确实存在有周期性变化的客观事实上。

地震是一种自然现象,一般是不可能有严格的周期。邓韞^[3]认为准确地说应该叫“拟周期或准周期”。因此,本文所讨论的周期都是指具有某种概率的周期性。当然,如果有一些因子能够呈现周期,只是在某一时段受到其他因子的影响,其运行规律受到破坏,那么我们可以应用这种方法找出这一异常的起点,进行试验和探索^[4-5]。

1 方差分析叠加周期外推法简介

1.1 基本原理

方差分析叠加周期外推法就是把某一要素序列按不同的间隔进行分组,并分别计算出不同组别下的组间方差与组内方差的比值 F ,通过 F 大小的比较,选取出最大的 F 进行某信度下的周期是否显著的检验,通过检验的可以确定在该信度下可能存在相应的周期,然后从原序列中剔除该周期的影响,在残差序列中再选下一个周期,依次类推,直至残差序列稳定(即 F 检验不显著)为止,具体方法流程见图 1,最后通过时间外延来预报某些要素的未来变化。

1.2 计算方法^[2]

1.2.1 组间离差平方和与组内离差平方和的计算^[6-7]

把 n 个观测数据 X_1, X_2, \dots, X_n 排列成表 1

的形式,其中: j 表示组别, $j=1, 2, \dots, b$; i 为每组的项数, $i=1, 2, \dots, a$ 。 $T = \sum_{j=1}^b T_j$, 其中, T 为总数; T_j 为每组的合计数; \bar{X}_j 为每组的组平均值(表 1)。

组间离差平方和与组内离差平方和的计算公式为:组间离差平方和 $S_1 = a \sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$; 组内离差平方和 $S_2 = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$; $\sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$ 表示各组平均值 \bar{X}_j 对总平均值 \bar{X} 的离差平方和,在 $\sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$ 前面再乘以 a , 这是因为考虑到每组

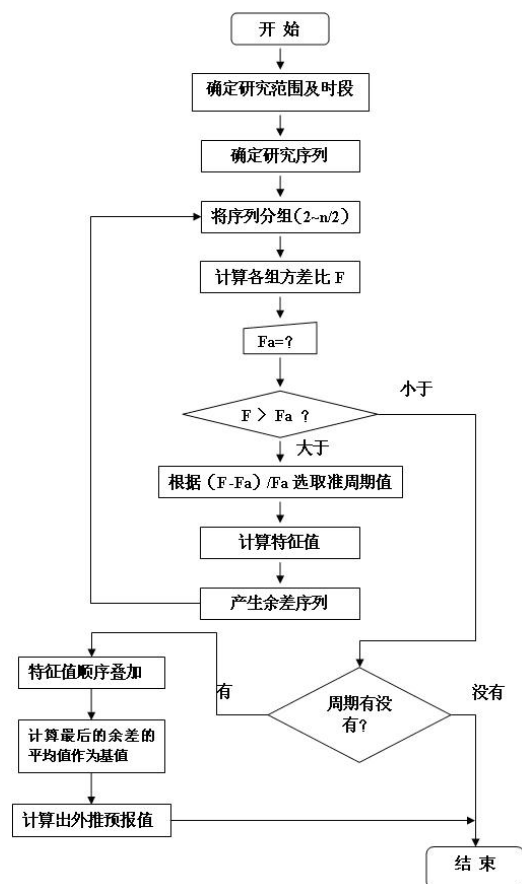


图 1 方差分析叠加周期外推法的具体步骤

Fig.1 Concrete steps of variance analysis superimposed by periodic extrapolation method

内又有 a 项的关系, 它表达了组与组之间数据的差异情况。组内离差平方和是指同组之内各个数据 X_{ij} 对组内平均值 \bar{X}_j 的离差平方和, 即 $\sum_{i=1}^a (X_{ij} -$

$\bar{X}_j)^2$, 它代表了每组内部数据的差异情况, 由于共有 b 组, 还要把各组的 $\sum_{j=1}^b (\bar{X}_j - \bar{X})^2$ 相加, 所以

表 1 试验周期分组表
Table 1 The grouped table of test cycle

每组项数 i	试验周期分组 j			
	1	2	.....	b
1	X_{11}	X_{12}	.....	X_{1b}
2	X_{21}	X_{22}	.....	X_{2b}
...
...
a	X_{a1}	X_{a2}	.....	X_{ab}
组合计 T_j	T_1	T_2	.....	T_b
均值 \bar{X}_j	\bar{X}_1	\bar{X}_2	.....	\bar{X}_b
T_j^2	T_1^2	T_2^2	.....	T_b^2
T_j^2/a_j	T_1^2/a_1	T_2^2/a_2	.....	T_b^2/a_b

$$S_2 = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a (X_{ij} - \bar{X}_j)^2。$$

1.2.2 方差比 F 的确定与 F 检验

由于做周期分析时, 事先并不知道周期数目, 因此需要从可能存在的周期中反复排列各种数值。根据方差比:

$$F = \frac{\text{组间方差}}{\text{组内方差}} = \frac{S_1 f_1}{S_2 f_2} \quad (1)$$

式(1)中, S_1 、 S_2 分别为组间离差平方和与组内离差平方和的; f_1 、 f_2 分别为组间离差平方和与组内离差平方和的自由度。 $f_1 = b-1$, $f_2 = n-b$ 。

方差比 F 在一定的条件下可以证明是一个随机变量, 而且是服从 F -分布的。 F -分布可以计算, 也可用 F -分布表查询, 因此可以用 F 检查的方法来检验该组周期特征是否具有显著性。

1.3 具体计算步骤

将选定区域地震的经纬度进行分组, 依次取信度 $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.10$ 、 $\alpha=0.20$, 计算各组 F 值找出第一准周期, 当取信度 $\alpha=0.01$ 时, 若无显著周期, 则降低信度, 取 $\alpha=0.05$, 如仍无显著周期, 再降低信度, 取 $\alpha=0.10$, 如也无显著周期, 再取 $\alpha=0.20$, 仍无显著周期, 则不再计算。计算第一准周期各组平均值, 找出准周期各组平均值的最小值, 将各组平均值减去各组平均值当中的最小值作为第一准周期的特征值, 得出第一准周期特征值。

第一准周期特征值按序重复排列, 将原经纬度序列对应减去第一准周期特征值, 得出第一余差序列。

对第一余差序列再进行分组, 计算各组周期 F 值, 依次取信度 $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.10$ 、 $\alpha=0.20$, 按照上面计算第一准周期的方法, 计算第二准周期特征值, 得出第二余差序列。

对第二余差序列再进行分组, 重复上面的步骤, 计算第三准周期特征值, 得出第三余差序列。对第三余差序列再进行分组, 重复上面的步骤, 直至无显著周期。

将最后余差序列的均值作为基值, 将第一准周期特征值、第二准周期特征值、第三准周期特征值等特征值叠加基值, 得外推预测值。

2 实例分析

为了说明方差叠加周期外推法在地震预报中的情况, 本文尝试选取不同区域、不同震级的地震进行地点外推预测。

根据地震区、地震亚区、地震带的划分方法, 华北地震区分为鄂尔多斯地震亚区、冀鲁豫地震亚区。其中, 冀鲁豫地震亚区又分为河北平原地震带、郯庐地震带、淮河地震带、长江中下游~南黄海地震带。郯庐地震带地震强度最高, 曾发生 1668 年郯城 8.5 级地震; 河北平原地震带强度次之, 最高震级 8 级; 淮河地震带强度最小, 最大 6.5 级。本文分别对这三个地震带 1400 年以来的 5

级以上地震进行方差分析, 叠加周期外推, 预测下一次地震可能发生的大概位置。

2.1 郯庐地震带

以郯庐断地震带为例说明方差分析叠加周期外推法的应用方法。

郯庐断裂带^[9-11]是中国东部一条巨大北北东走向的断裂带, 郯庐断裂带从南端的湖北广济到沈

阳以北, 全长 1 400 km。郯庐断裂带东、西两侧的磁场特征不论是异常值的大小、规模, 还是总体形态和走向均存在明显的差异。以郯庐断裂带为界, 其西以北西西向走向为主, 其次为北东走向; 其东地区以北东走向为主, 其次有北北东、北东东走向断裂。

2.1.1 郯庐地震带地震目录^[12-13]

本文使用的郯庐地震带地震目录包含根据地

表 2 郯庐地震带 $M_s \geq 5.0$ 级以上地震目录
Table 2 Catalogue of earthquakes with $M_s \geq 5$ in Tanlu seismic belt

序号	时间/年-月-日	震中位置			震级
		纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$	地点	
1	1485-03-15	35.3	117.9	山东费县	5.5
2	1485-03-25	35.8	117.0	山东泰安南	5.0
3	1517-10-01	37.6	119.2	山东掖县西莱州湾	5.5
4	1543-05-08	35.2	118.5	山东临沂东	5.0
5	1546-09-29	34.5	117.7	江苏邳县寨山	5.5
6	1548-09-22	38.0	121.0	渤海	7.0
7	1568-05-05	39.0	119.0	渤海	6.0
8	1568-05-07	39.0	119.0	渤海	5.0
9	1584-03-00	37.5	119.2	山东莱州湾	5.0
10	1588-07-02	37.5	118.5	山东利津东	5.0
11	1597-10-06	38.5	120.0	渤海	7.0
12	1620-10-19	37.1	117.5	山东齐东(旧)	5.0
13	1622-03-18	35.5	116.0	山东恽城南	6.0
14	1622-04-17	36.6	116.8	山东长清一带	5.5
15	1624-02-01	38.5	118.0	渤海	5.5
16	1624-04-17	39.5	118.8	河北滦县	6.5
17	1624-04-19	38.5	118.0	渤海	5.5
18	1668-07-25	34.8	118.5	山东郯城	8.5
19	1668-07-26	36.4	119.2	山东安丘	6.8
20	1668-08-24	36.5	118.5	山东临朐一带	5.8
21	1668-09-18	36.2	117.1	山东泰安东北	6.0
22	1670-12-00	35.3	118.0	山东费县	5.0
23	1671-09-00	35.3	118.0	山东费县一带	5.0
24	1672-06-17	35.6	118.8	山东莒县	6.0
25	1675-08-03	35.6	116.8	山东兖州	5.0
26	1730-00-00	36.9	117.9	山东长山(旧)	5.0
27	1796-03-00	36.0	119.4	山东诸城	5.0
28	1797-08-05	39.4	118.9	河北乐亭	5.0
29	1805-08-05	39.7	119.2	河北昌黎	5.5
30	1829-11-19	36.6	118.5	山东益都一带	6.3
31	1835-06-06	36.3	116.4	山东平阴	5.0
32	1852-11-17	36.0	118.8	山东诸城西	5.0
33	1859-03-12	35.2	118.2	山东临沂西	5.5
34	1888-06-13	38.5	119.0	渤海湾	7.5
35	1922-09-29	39.2	120.5	渤海	6.5
36	1934-10-27	39.9	119.2	河北抚宁	5.0
37	1945-09-23	39.5	119.0	河北滦县	6.3
38	1969-07-18	38.2	119.4	渤海	7.4
39	1969-07-18	38.0	119.0	渤海	5.1
40	1995-09-20	35.0	118.0	山东苍山费县间	5.2

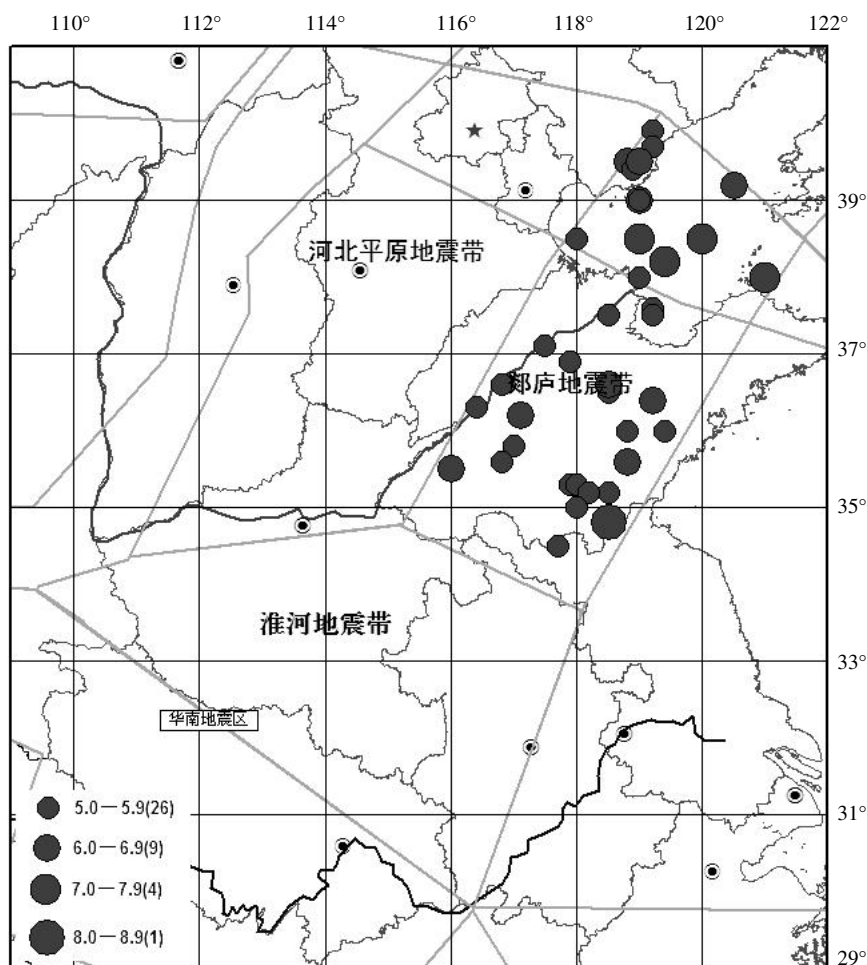


图 2 郯庐地震带 1400 年以来 M_s 5 级震中分布图

Fig.2 Distribution map of epicenters of M_s 5 earthquakes since 1400 in Tanlu seismic belt

震区、地震亚区、地震带的划分范围中的 5 级以上地震。具体地震见表 2、图 2。

2.1.2 经度外推

采用上述方法，按照表 1 步骤，对郯庐地震带 1400 年以来 40 次地震经度进行分组计算，求各组周期的 F 值，当取信度 $\alpha=0.01$ 、0.05、0.10 时，进行 F 检验，均未找到显著周期。取信度 $\alpha=0.20$ ，进行 F 检验，得到 $F_8=1.82 > F_{0.20(7,32)}$ ，则 8 组周期比较显著，为第一准周期。计算第一准周期各组平均值，找出准周期各组平均值的最小值，将各组平均值减去各组平均值当中的最小值作为第一准周期的特征值，得出第一准周期特征值分别为 0.22、0.38、1.86、0.72、0.00、0.94、0.28、0.88。第一准周期特征值按序重复排列，将原经度序列对应减去第一准周期特征值，得出第一余差序列。

对第一余差序列再进行分组计算各组周期 F 值，当信度 $\alpha=0.01$ 、0.05、0.10 时仍无显著周。取信度 $\alpha=0.20$ ，进行 F 检验，得到 $F_9=1.81 > F_{0.20(8,31)}$ 。

则余差 1 中，9 组周期比较显著，为第二准周期，计算第二准周期特征值分别为 1.25、1.22、0.68、0.00、0.48、1.60、1.14、1.20、1.46。将余差 1 减去第二准周期特征值得第二余差序列。

对第二余差序列再进行分组，取信度 $\alpha=0.01$ 、0.05、0.10、0.20 时，已无显著周期。

计算第二余差序列的均值(116.82)作为基值，将第一准周期特征值(0.22)、第二准周期特征值(0.48)、基值(116.82)叠加得外推预测值。具体结果见表 3，由表 3 可知，郯庐地震带下一次 M_s 5 级以上地震可能在东经 117.52°附近。

2.1.3 纬度外推

用同样的方法，同理得出纬度的第一准周期，在信度 $\alpha=0.01$ 的情况下，得到 $F_{20}=3.10 > F_{0.01(19,20)}$ ，第一准周期特征值分别为 0.70、0.50、1.40、0.35、0.00、2.40、2.45、4.15、3.55、2.00、2.35、1.50、0.30、2.50、3.80、4.65、3.95、1.45、2.15、0.70。对纬度余差 1 求第二准周期， $F_9=6.27 > F_{0.01(8,31)}$ ，第

表 3 郧庐地震带 1400 年以来 M_s 5 级以上地震方差周期法经度外推表

Table 3 The longitude extrapolation table of variance cycle method for earthquakes with $M_s \geq 5$ since 1400 in Tanlu seismic belt

序号	时间/年	原始值	第一特征值	余差 1	第二特征值	余值 2	外推值	误差绝对值
1	1485	117.90	0.22	117.68	1.25	116.43	118.28	0.38
2	1485	117.00	0.38	116.62	1.22	115.40	118.42	1.42
3	1517	119.20	1.86	117.34	0.68	116.66	119.36	0.16
4	1543	118.50	0.72	117.78	0.00	117.78	117.54	0.96
5	1546	117.70	0.00	117.70	0.48	117.22	117.30	0.40
6	1548	121.00	0.94	120.06	1.60	118.46	119.36	1.64
7	1568	119.00	0.28	118.72	1.14	117.58	118.24	0.76
8	1568	119.00	0.88	118.12	1.20	116.92	118.90	0.11
9	1584	119.20	0.22	118.98	1.46	117.52	118.50	0.70
10	1588	118.50	0.38	118.12	1.25	116.87	118.44	0.06
11	1597	120.00	1.86	118.14	1.22	116.92	119.90	0.10
12	1620	117.50	0.72	116.78	0.68	116.10	118.22	0.72
13	1622	116.00	0.00	116.00	0.00	116.00	116.82	0.82
14	1622	116.80	0.94	115.86	0.48	115.38	118.24	1.44
15	1624	118.00	0.28	117.72	1.60	116.12	118.70	0.70
16	1624	118.80	0.88	117.92	1.14	116.78	118.84	0.04
17	1624	118.00	0.22	117.78	1.20	116.58	118.24	0.23
18	1668	118.50	0.38	118.12	1.46	116.66	118.66	0.16
19	1668	119.20	1.86	117.34	1.25	116.09	119.92	0.72
20	1668	118.50	0.72	117.78	1.22	116.56	118.76	0.26
21	1668	117.10	0.00	117.10	0.68	116.42	117.50	0.40
22	1670	118.00	0.94	117.06	0.00	117.06	117.76	0.24
23	1671	118.00	0.28	117.72	0.48	117.24	117.58	0.42
24	1672	118.80	0.88	117.92	1.60	116.32	119.30	0.50
25	1675	116.80	0.22	116.58	1.14	115.44	118.18	1.38
26	1730	117.90	0.38	117.52	1.20	116.32	118.40	0.49
27	1796	119.40	1.86	117.54	1.46	116.08	120.14	0.74
28	1797	118.90	0.72	118.18	1.25	116.93	118.78	0.12
29	1805	119.20	0.00	119.20	1.22	117.98	118.04	1.16
30	1829	118.50	0.94	117.56	0.68	116.88	118.44	0.06
31	1835	116.40	0.28	116.12	0.00	116.12	117.10	0.70
32	1852	118.80	0.88	117.92	0.48	117.44	118.18	0.62
33	1859	118.20	0.22	117.98	1.60	116.38	118.64	0.44
34	1888	119.00	0.38	118.62	1.14	117.48	118.34	0.66
35	1922	120.50	1.86	118.64	1.20	117.44	119.88	0.63
36	1934	119.20	0.72	118.48	1.46	117.02	119.00	0.20
37	1945	119.00	0.00	119.00	1.25	117.75	118.06	0.94
38	1969	119.40	0.94	118.46	1.22	117.24	118.98	0.42
39	1969	119.00	0.28	118.72	0.68	118.04	117.78	1.22
40	1995	118.00	0.88	117.12	0.00	117.12	117.70	0.30
	下一次		0.22		0.48	116.82	117.52	

二准周期特征值分别为 1.01、2.01、1.53、0.60、0.23、1.09、1.73、0.80、0.00，对纬度余差 2 再进行分组计算 F 值，当信度 $\alpha=0.01$ 、 0.05 时，无显著周期。当信度 $\alpha=0.10$ 时求得第三准周期， $F_{14}=1.84>F_{0.10(13,26)}$ 。第三准周期特征值分别为：0.62、0.00、0.76、0.80、0.61、1.03、1.30、1.34、0.89、

1.30、0.95、0.66、0.91、0.90。对纬度余差 3 进行分组计算 F 值，发现已无显著周期。

求余差 3 的平均值作为基值，根据第一准周期特征值、第二准周期特征值、第三准周期特征值和最后的基值，进行外推预测，可知，该区域内下一个 M_s 5 级以上地震可能发生在北纬 34.95~

表 4 郟庐地震带 1400 年以来 M_s 5 级以上地震方差周期法纬度外推表

Table 4 The latitude extrapolation table of variance cycle method for earthquakes with $M_s \geq 5$ since 1400 in Tanlu seismic belt

序号	时间	原始值	第一特征值	余差 1	第二特征值	余差 2	第三特征值	余值 3	外推值 $\alpha=0.01$	外推值 $\alpha=0.10$	误差 $\alpha=0.01$	误差 $\alpha=0.10$
1	1485	35.30	0.70	34.60	1.01	33.60	0.62	32.98	35.73	35.49	0.43	0.19
2	1485	35.80	0.50	35.30	2.01	33.30	0.00	33.30	36.53	35.67	0.73	0.13
3	1517	37.60	1.40	36.20	1.53	34.68	0.76	33.91	36.95	36.85	0.65	0.75
4	1543	35.20	0.35	34.85	0.60	34.26	0.80	33.46	34.97	34.91	0.23	0.30
5	1546	34.50	0.00	34.50	0.23	34.28	0.61	33.66	34.25	34.00	0.25	0.50
6	1548	38.00	2.40	35.60	1.09	34.51	1.03	33.48	37.51	37.68	0.49	0.32
7	1568	39.00	2.45	36.55	1.73	34.83	1.30	33.52	38.20	38.64	0.80	0.36
8	1568	39.00	4.15	34.85	0.80	34.05	1.34	32.71	38.98	39.45	0.02	0.45
9	1584	37.50	3.55	33.95	0.00	33.95	0.89	33.06	37.58	37.61	0.08	0.11
10	1588	37.50	2.00	35.50	1.01	34.50	1.30	33.19	37.03	37.47	0.47	0.03
11	1597	38.50	2.35	36.15	2.01	34.15	0.95	33.20	38.38	38.47	0.12	0.03
12	1620	37.10	1.50	35.60	1.53	34.08	0.66	33.41	37.05	36.85	0.05	0.25
13	1622	35.50	0.30	35.20	0.60	34.61	0.91	33.69	34.92	34.97	0.58	0.53
14	1622	36.60	2.50	34.10	0.23	33.88	0.90	32.98	36.75	36.79	0.15	0.18
15	1624	38.50	3.80	34.70	1.09	33.61	0.62	32.99	38.91	38.67	0.41	0.17
16	1624	39.50	4.65	34.85	1.73	33.13	0.00	33.13	40.40	39.54	0.90	0.04
17	1624	38.50	3.95	34.55	0.80	33.75	0.76	32.99	38.78	38.68	0.27	0.18
18	1668	34.80	1.45	33.35	0.00	33.35	0.80	32.56	35.48	35.41	0.68	0.61
19	1668	36.40	2.15	34.25	1.01	33.25	0.61	32.63	37.18	36.93	0.78	0.53
20	1668	36.50	0.70	35.80	2.01	33.80	1.03	32.77	36.73	36.90	0.23	0.40
21	1668	36.20	0.70	35.50	1.53	33.98	1.30	32.67	36.25	36.69	0.05	0.49
22	1670	35.30	0.50	34.80	0.60	34.21	1.34	32.87	35.12	35.60	0.18	0.30
23	1671	35.30	1.40	33.90	0.23	33.68	0.89	32.78	35.65	35.68	0.35	0.38
24	1672	35.60	0.35	35.25	1.09	34.16	1.30	32.86	35.46	35.91	0.14	0.31
25	1675	35.60	0.00	35.60	1.73	33.88	0.95	32.93	35.75	35.84	0.15	0.24
26	1730	36.90	2.40	34.50	0.80	33.70	0.66	33.04	37.23	37.03	0.33	0.13
27	1796	36.00	2.45	33.55	0.00	33.55	0.91	32.64	36.48	36.53	0.48	0.53
28	1797	39.40	4.15	35.25	1.01	34.25	0.90	33.35	39.18	39.22	0.22	0.18
29	1805	39.70	3.55	36.15	2.01	34.15	0.62	33.53	39.58	39.34	0.12	0.36
30	1829	36.60	2.00	34.60	1.53	33.08	0.00	33.08	37.55	36.69	0.95	0.09
31	1835	36.30	2.35	33.95	0.60	33.36	0.76	32.59	36.97	36.87	0.67	0.57
32	1852	36.00	1.50	34.50	0.23	34.28	0.80	33.48	35.75	35.69	0.25	0.31
33	1859	35.20	0.30	34.90	1.09	33.81	0.61	33.20	35.41	35.17	0.21	0.04
34	1888	38.50	2.50	36.00	1.73	34.28	1.03	33.25	38.25	38.42	0.25	0.08
35	1922	39.20	3.80	35.40	0.80	34.60	1.30	33.30	38.63	39.07	0.58	0.13
36	1934	39.90	4.65	35.25	0.00	35.25	1.34	33.91	38.68	39.15	1.23	0.75
37	1945	39.50	3.95	35.55	1.01	34.55	0.89	33.65	38.98	39.01	0.52	0.49
38	1969	38.20	1.45	36.75	2.01	34.75	1.30	33.44	37.48	37.92	0.72	0.28
39	1969	38.00	2.15	35.85	1.53	34.33	0.95	33.38	37.70	37.79	0.30	0.21
40	1995	35.00	0.70	34.30	0.60	33.71	0.66	33.04	35.32	35.12	0.32	0.12
下一次									34.95	35.00		

35.00°附近。

图 3、图 4 分别是郟庐地震带 1 400 年以来 M_s 5.0 级以上地震实测经、纬度与外推经、纬度对比曲线，从表 3、表 4、图 3、图 4 中可以看出，经度外推值与实测值之间误差较大，当信度 $\alpha=0.20$ 时，误差绝对值在在 0.04°~1.64°之间；纬度外推值与实测值误差较小，当信度 $\alpha=0.01$ 时，误差在

在为 0.02°~1.23°之间；当信度 $\alpha=0.10$ 时，误差在 0.04°~0.75 之间。

2.2 其它地震区、地震带分析结果

用同样的方法对河北平原地震带、淮河地震带、北京-渤海地震带、华东地区、安徽地区、苏鲁皖交界地区进行方差分析，结果见表 5、实测值

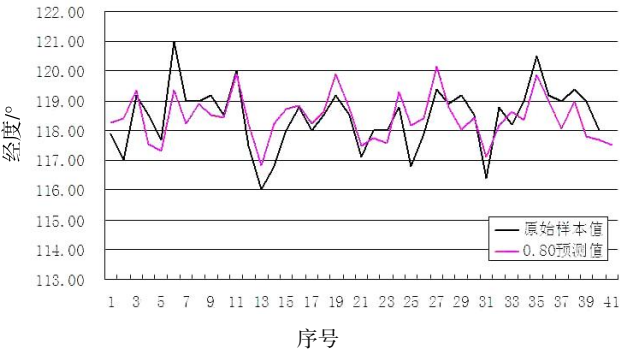


图 3 郯庐地震带 M_s 5.0 级以上地震实测经度与外推预测值对比曲线

Fig.3 The comparison curve between measured longitude and extrapolation predictive value for earthquakes with $M_s \geq 5$ in Tanlu seismic belt

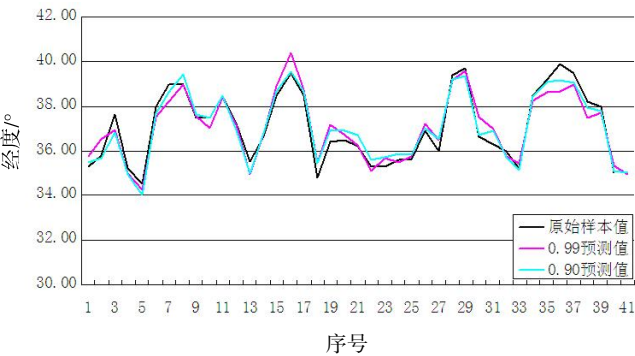


图 4 郯庐地震带 M_s 5.0 级以上地震纬度原始值与外推值对比曲线

Fig.4 The comparison curve between the original value and extrapolated value of latitude of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Tanlu seismic belt

表 5 北京-渤海地震带、苏鲁皖交界地区、安徽地区方差分析外推结果表

信度	北京-渤海地震带 M_s 5.5		苏鲁皖交界地区(32~37N, 115~120E) M_s 5.0		安徽地区 M_s 4.75	
	纬度/°	经度/°	纬度/°	经度/°	纬度/°	经度/°
0.01	39.10					
0.05	39.43				33.03	
0.10		116.25	34.46		33.54	117.59
0.20	39.30			119.27	34.06	
误差范围	0.0~0.65	0.04~1.70	0.04~1.03	0.13~2.15	0.07~1.63	0.02~0.89
	0.02~0.52				0.03~0.85	
	0.0~0.31				0.02~0.69	

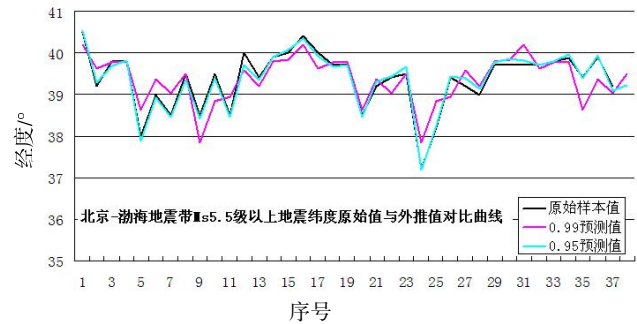


图 5 北京-渤海地震带 M_s 5.5 级以上地震纬度原始值与外推值对比曲线

Fig.5 The comparison curve between the original value and extrapolated value of latitude of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Beijing-Bohai seismic belt

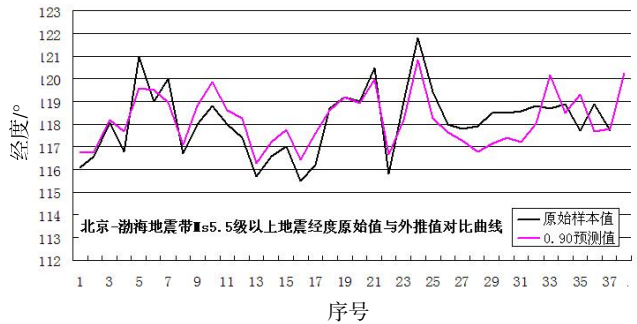


图 6 北京-渤海地震带 M_s 5.5 级以上地震经度原始值与外推值对比曲线

Fig.6 The comparison curve between the original value and extrapolated value of longitude of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Beijing-Bohai seismic belt

与外推值对比曲线见图 5~10。

北京-渤海地震带 M_s 5.5 级以上地震纬度取信度 $\alpha=0.05$ 、经度取信度 $\alpha=0.10$ 时，外推该区域下一个 M_s 5.5 级地震有可能发生在北纬 39.43°、东经 116.25°附近。苏鲁皖交界地区(32°~37°N, 115°~120°E) M_s 5.0 级以上地震方差分析外推结果显

示，当纬度取信度 $\alpha=0.10$ 时有显著周期，外推该区域下一个 M_s 5 级地震在北纬 34.46°附近；当经度取信度 $\alpha=0.20$ 时存在显著周期，外推该区域下一个 5 级地震可能发生在东经 119.27°附近。安徽地区 M_s 4.75 级以上地震纬度在信度 $\alpha=0.05$ 、0.10、0.20 时均有显著周期，外推结果分别是北纬

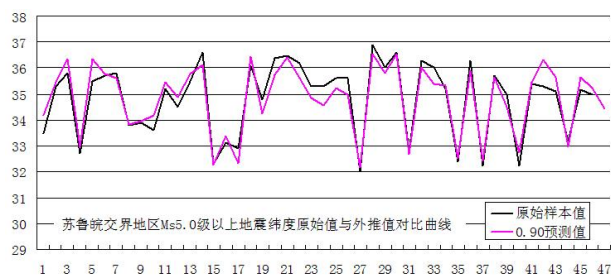


图7 苏鲁皖交界地区 M_s 5.0 级以上地震纬度原始值与外推值对比曲线

Fig.7 The comparison curve between the original value and extrapolated value of latitude of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Jiangsu-Shandong-Anhui border area

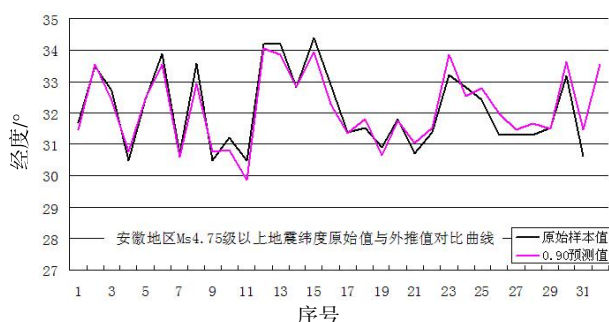


图9 安徽地区 M_s 4.75 级以上地震纬度原始值与外推值对比曲线

Fig.9 The comparison curve between the original value and extrapolated value of latitude of earthquakes with $M_s \geq 4.75$ in Anhui region

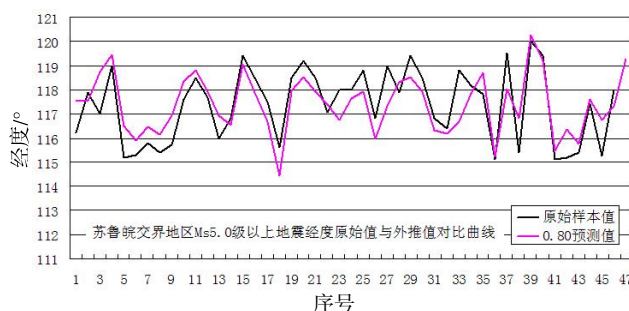


图8 苏鲁皖交界地区 M_s 5.0 级以上地震经度原始值与外推值对比曲线

Fig.8 The comparison curve between the original value and extrapolated value of longitude of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Jiangsu-Shandong-Anhui border area

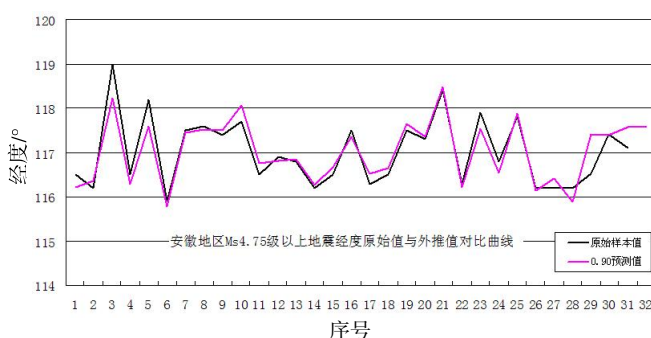


图10 安徽地区 M_s 4.75 级以上地震经度原始值与外推值对比曲线

Fig.10 The comparison curve between the original value and extrapolated value of longitude of earthquakes with $M_s \geq 4.75$ in Anhui region

33.03°、33.54°、34.06°附近，经度在信度 $\alpha=0.10$ 时存在显著周期，外推结果东经 117.59°附近。

从表 5 可知，纬度的周期性好于经度，且纬度的误差范围小于经度。也就是说纬度有较好的南北迁移特征。高信度的外推值误差范围大于低信度的外推值误差范围。

河北平原地震带、淮河地震带、华东地区 M_s 5 级地震纬度在某一信度下存在显著周期，但经度在 $\alpha=0.01\sim0.20$ 范围内均不存在显著周期。

3 结语

(1) 方差分析叠加周期外推法是数理统计上常用的方法，用于地震预测预报只是一种尝试。它可以用来研究地震震中在空间上的迁移特性，也可分析在时间序列、震级强度变化上是否具有周期性。

(3) 通过对不同地区、不同震级的地震采用方差叠加周期外推法分析，结果显示，郯庐断裂

带 5 级、北京-渤海地震带 5.5 级、苏鲁皖交界地区 5 级、安徽地区 4.75 级以上地震在 $\alpha=0.01\sim0.20$ 范围内存在显著周期，可以外推出下一次地震的预测范围。另外，河北平原地震带、淮河地震带、华东地区 M_s 5 级地震纬度在某一信度下存在显著周期，但经度在 $\alpha=0.01\sim0.20$ 范围内均不存在显著周期。

方差分析叠加周期外推法对某些范围内对存在显著周期的地震能够进行外推预测，对某些范围内不存在显著周期的地震不能够进行外推预测。能否进行外推预测，主要取决于某一序列的数据是否具有显著周期。

(3) 外推预测值与实测原始值存在一定的误差，纬度的误差范围小于经度的误差范围。且对于同一序列的数据，信度增高，外推值的误差范围扩大，信度降低，外推值的误差范围缩小。不同区域地震方差分析结果显示，纬度的显著周期高于经度，说明纬度有较好的南北迁移特征。

(5) 方差分析叠加周期外推法的意义在于应

用统计理论上把预测地点进行了定量化,缩小了监视范围。从某种意义上,还为研究地震机理,探索地震在时、空、强的演变规律上,提供研究方向。

参考文献:

- [1] 车文, 宫英丽. 方差分析滤波法在时间序列预测分析中的应用[J]. 数理医学杂志, 2001, 14 (2): 157-159.
- [2] 杜晓林. 概率论与数理统计[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [3] 邓韞. 地震周期的存在及形成机制讨论[J]. 华南地震, 2003, 23 (01): 51-56.
- [4] 王国英. 关于地下水氡浓度的周期变化-水氡潮[J]. 华南地震, 1982, 1 (04): 63-69.
- [5] 柯龙生. 地震活动周期的谱分析[J]. 华南地震, 1989, 9 (1): 17-22.
- [6] 杨长登. 用方差分析周期叠加外推法在预报年降水量[J]. 贵州气象, 1998, 22 (1): 23-25.
- [7] 邢兰辉, 吕惠萍, 张锦辉. 周期叠加方差分析法预报河川径流量[J]. 水文, 2007, 27 (4): 41-44.
- [8] 张绍治. 多因子方差分析 BASIC 程序[J]. 华南地震, 1988, 8 (1): 67-72.
- [9] 李起彤, 南金生, 苏顺昌, 等. 华东地区中强地震构造背景和地质标志研究[J]. 华南地震, 1990, 10 (1): 1-14.
- [10] 张鹏, 王良书, 钟 锴, 等. 郯庐断裂带的分段性研究[J]. 地质评论, 2007, 53 (5): 586-593.
- [11] 汪素云, 许忠淮. 中国东部大陆的地震构造应力场[J]. 地震学报, 1985, 7 (1): 19-34.
- [12] 闵子群, 吴 戈, 江在雄, 等. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪-公元 1911 年)[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [13] 汪素云, 时振梁. 中国近代地震目录(公元 1912~公元 1990, $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.