

## 地震拟合相关系数在青海地区地震预报中的应用

李滔, 马建新

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:**根据 Gutenberg - Richter 公式对青海省东部及邻区 ( $N34^{\circ}$ — $39.5^{\circ}$ ,  $E96^{\circ}$ — $104^{\circ}$ ) 地震频次和震级的统计关系进行了研究。结果表明:中强地震前震中附近一定范围内中小地震的拟合相关系数有明显的下降现象。对研究区的地震进行统计计算,提取出了可信度较高的中期预报指标,预报评分为 0.631。

**关键词:**地震拟合相关系数; 青海省; 地震预报; 中期预报指标

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0844(2008)02 - 0184 - 05

### Application of Earthquake Fitting Correlation Coefficient in Earthquake Prediction in Qinghai Province

LI Tao, MA Jian-xin

(Earthquake Administration of Qinghai, Xining 810001, China)

**Abstract:** Using the G-R formula, the statistical relation of earthquake frequency and magnitude in east of Qinghai province and its adjacent region ( $N34^{\circ}$ — $39.5^{\circ}$ ,  $E96^{\circ}$ — $104^{\circ}$ ) is researched. The result shows that the earthquake fitting correlation coefficient of middle and small earthquakes descended obviously before strong shock in certain range near the epicenters. Through calculation a reliable medium-term earthquake prediction index for research area is obtained, with higher  $R$  value 0.631.

**Key words:** Earthquake fitting correlation coefficient; Qinghai province; Earthquake prediction; The medium-term prediction index

## 0 前言

从 Gutenberg - Richter 公式(以下简称 G - R 公式)  $\log N = a - bM$  的定义中可以看出,中强地震前一定时期  $b$  值的显著变化,是由于区域地震活动在震级分布上存在着明显的比例失调。当一个地区无中强地震孕育时,该区中小震活动在各震级档次内分配比例适当,拟合出的 G - R 公式就具有较好的相关性,其拟合相关系数  $r$  就趋近于 1;若该区有中强地震孕育时,在主破裂发生前的一段时期次级破裂的发生具有非均匀性。地震能量在主破裂面及邻区积累,必然导致中小地震的震级分配比例严重失调,这个时期拟合的 G - R 公式就会因为数据点太离散而使拟合相关系数降低。因此研究震前某一区域的

拟合相关系数  $r$  值的变化,符合 G - R 公式地震频次 - 震级统计式的主要思想,可以更加充分地利用小震活动所提供的信息,为中强地震的预报提供一定的参考意见<sup>[1]</sup>。

李志雄、张国民对中强地震前地震频次 - 震级关系式拟合相关系数变化进行过研究,认为地震拟合相关系数既符合 G - R 统计式,又能使预报指标具有统一性<sup>[1]</sup>。

本文选取了青海东部及其邻区的一部分中强地震,对其震前拟合相关系数进行计算和分析,找出其变化规律。同时把该方法应用到青海省及邻区中强地震的预报方面,提取了中期预报指标。

## 1 资料的选取

收稿日期: 2007-05-12

基金项目: 青海省地震科学基金课题(2006B03)

作者简介: 李滔(1973-),女(汉族),山西太原人,工程师,主要从事地震台站管理与监测工作。

本文计算所用的地震目录取自青海省地震局分析预报中心预报室提供的  $N31^{\circ}-39.5^{\circ}, E89^{\circ}-104^{\circ}, M_L \geq 2.0$  的地震目录。由于青海省的地震监测能力在全省分布不均,而青海省东部及其邻区 ( $N34^{\circ}-39.5^{\circ}, E96^{\circ}-104^{\circ}$ ) (以下简称研究区) 内地震的监测能力绝大部分都在 2.5 级以上,因此选

取此区域内的地震进行分析(图 1)。此区域以外由于监测能力比较低而未选入统计区。

由图 2 可以看出,当  $M_L \geq 2.5$ ,地震的  $\lg \Sigma N - M_L$  的曲线比较好的服从于线性分布,因此选取 2.5 级作为地震计算的下限。

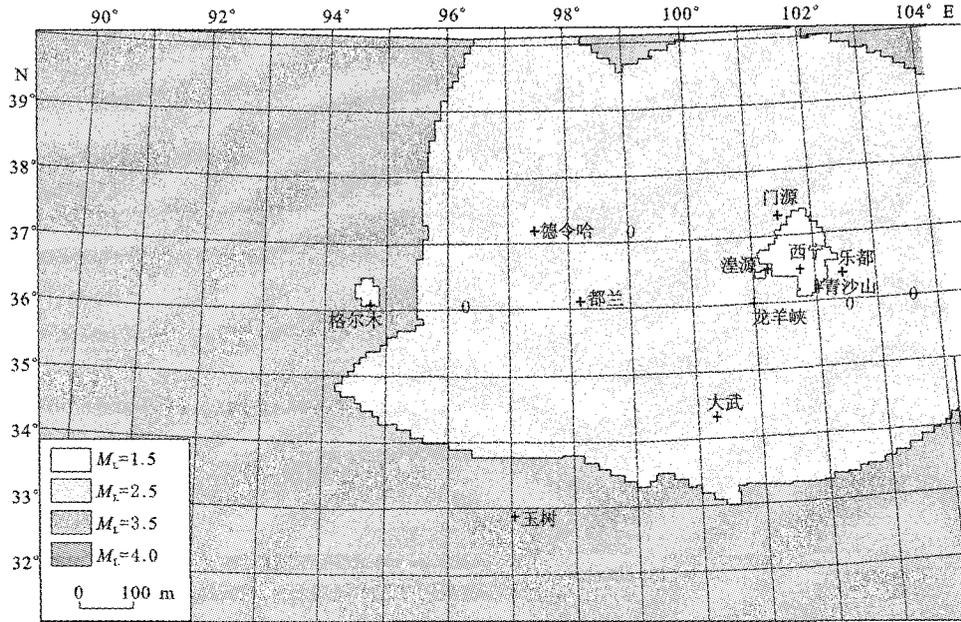


图 1 青海省地震监测能力分布图

Fig. 1 Distribution of earthquake monitoring capability in Qinghai province.

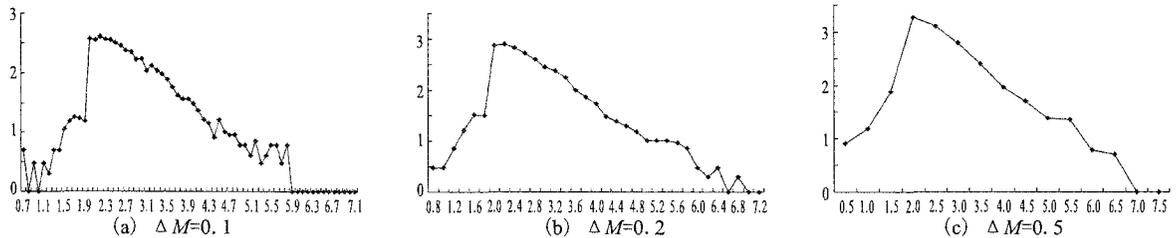


图 2 研究区 1970 - 2006 年地震  $\lg \Sigma N - M_L$  曲线图

Fig. 2 The curves of  $\lg \Sigma N - M_L$  from 1970 to 2006 in the research area.

用于震例计算的中强地震选取原则是:  $M_s \geq 5.8$ ,且基本位于所选定区域的中部,保证了所选取小震序列的完整性。采用 MAPSIS2.0 软件<sup>[3]</sup>,用主震震级法进行了余震删除。

## 2 地震拟合相关系数在青海地区地震预报中的应用

### 2.1 地震拟合相关系数的计算公式

以 G-R 关系式  $\log N = a - bM$  为基础,运用数理统计的方法对地震数据进行最小二乘法计算,可求出常数  $a$ 、 $b$  和相关系数  $r$ :

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}, \quad a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

式中

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}, \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

### 2.2 震例分析

以研究区 1980 年以来 6 次  $M_s \geq 5.8$  地震的震中为中心,取  $3^{\circ} \times 3^{\circ}$  的区域,以震前 5 年左右的时间

范围,取  $\Delta M = 0.5$ ,以1月为步长,1年为窗长滑动

计算  $M \geq 2.5$  地震拟合相关系数(图3)。

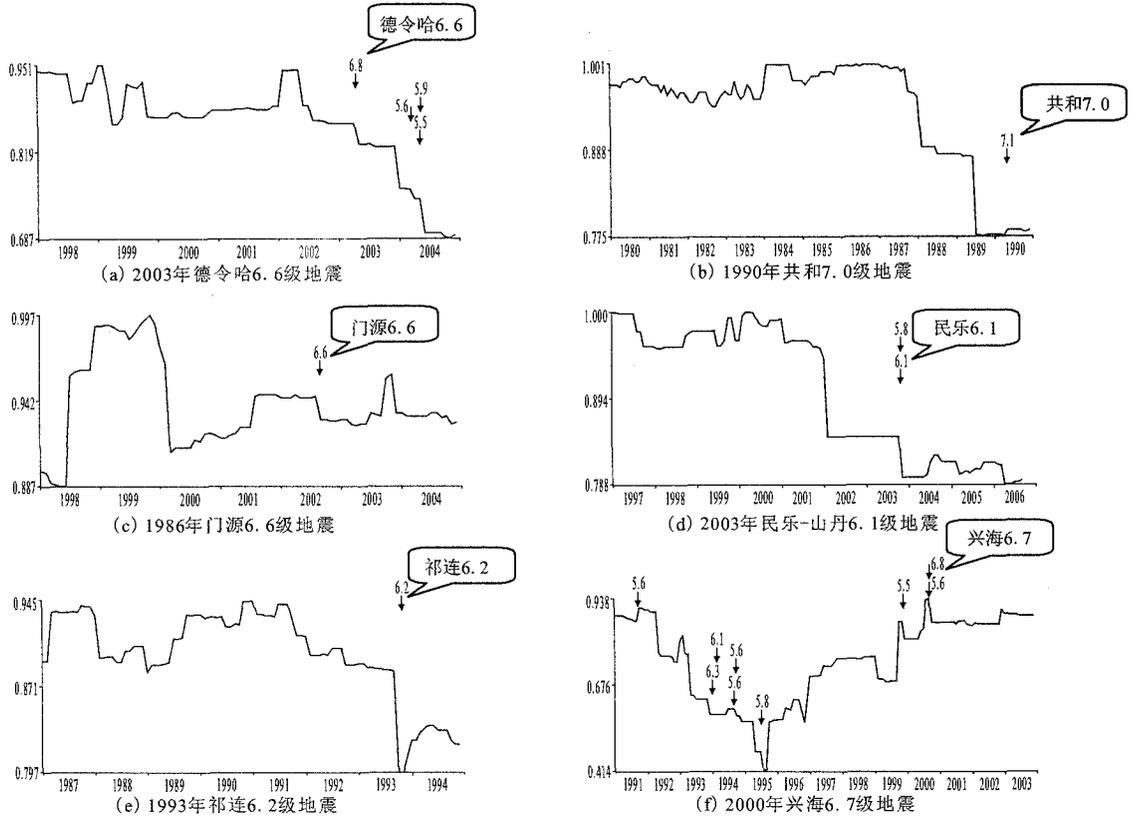


图3 青海省6次中强地震前r值变化曲线图

Fig. 3 The r value curves before six moderate-strong earthquakes in Qinghai province.

由图3中可以看出,每一个地震前r值都出现下降过程,其中以共和地震最为明显,从1988年10月开始下降,到1989年7月下降幅度达到了0.219,之后持续低值,1990年4月发生了共和7.0级地震。这6次地震中,有5次都是在r值处于相对低值时发震的,只有2000年9月12日的兴海6.7级地震是在一个明显的低值过程结束后发震的。

表1 中强地震前r值异常统计表

时间	震级/M	震中	异常发生时间	异常开始到发震时间/月
1986-08-26	6.5	门源	1983-12	9
1990-04-26	7.0	共和	1988-10	17
1993-10-26	5.9	祁连	1991-10	25
2000-09-12	6.7	兴海	1999-12	10
2003-04-17	6.6	德令哈	2002-06	11
2003-10-25	6.1	民乐	2002-01	22

### 2.3 预报指标的提取

选用研究区1987年以来  $M_L \geq 2.5$  的地震目录,取  $\Delta M = 0.5$ ,以1月为步长,1年为窗长来进行地震拟合相关系数的计算。结果如图4所示。

由于研究区内中强地震比较频繁,5级以上地震平均时间间隔只有5个月左右,因此将所分析的震级下限提高到5.8级。从图4看,地震的拟合相关

系数曲线在1987年以来有过5次明显的下降过程。每一次下降到回升过程中,大都对应了  $M_S \geq 5.8$  地震。只有1995年7月21日甘肃永登的5.9级地震发生在相对高值的阶段。设  $\Delta T$  为从异常发生之时到发震时刻的时间差,则除1995年12月18日玛多6.2级地震  $\Delta T = 4$  外,异常所对应的其他地震的  $\Delta T$  都在15~22个月之间。而且这些地震都是成组发生的,每组的持续时间最长为6个月,且都位于不同的构造带内。异常的幅度最小为0.026,最大达0.071,但异常的幅度与震级之间没有明显的对应关系。

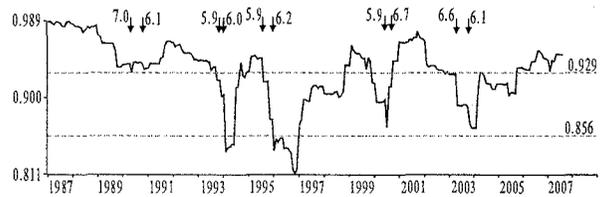


图4 研究区r值曲线和  $M_S \geq 5.8$  地震

Fig. 4 The r value curve and  $M_S \geq 5.8$  earthquakes in Qinghai province.

1987—2006年,研究区内发生过10次  $M_S \geq 5.8$

地震。除1995年甘肃永登的5.9级地震外,其余9个地震在震前均发生了拟合相关系数下降的现象。永登地震前的1994年2月该曲线也发生过明显的

下降,但幅度较小,为0.017,且当年7月回升至正常值,因此无法明确判断这次变化是否为永登地震的震前异常。

表2 r值异常与中强地震的对应关系表

编号	初始变化时间	发震前最大下降幅度	异常之后对应的地震	发震与异常开始的时间差/月
1	1989-01	0.050	1990-04-26 共和7.0级,1990-10-20 天祝6.1级	16,22
2	1992-05	0.039	1993-10-26 祁连5.9级,1994-01-03 共和6.0级	18,21
3	1995-08	0.071	1995-12-18 玛多6.2级	4
4	1999-03	0.066	2000-06-06 景泰5.9级,2000-09-12 兴海6.7级	16,19
5	2002-02	0.037	2003-04-17 德令哈6.6级,2007-10-25 民乐6.1级	15,21

由此提取出预报的指标:在 $N34^{\circ}-39.5^{\circ}$ , $E96^{\circ}-104^{\circ}$ 的区域内,地震的拟合相关系数 $r$ 值发生幅度大于0.030的持续下降之后,从开始下降的当月起算,在第15~22个月之间的时间段内,该区域范围内有发生 $M_s \geq 5.8$ 地震的可能。

### 2.4 预报水平评分

根据以上提取的预报指标,对青海及其邻区的 $r$ 值中期异常进行预报检验评分。采用许绍燮的预报评分公式进行 $R$ 值计算。

计算公式为:

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应报预报的地震次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}} \quad [4]$$

以月为单位统计,从1987年1月到2007年9月共237个月,其中发生异常达到预报指标5次,每次预报时间为8个月,共40个月。该时段共发生 $M_s \geq 5.8$ 地震10次,其中报对有8次。得到 $R$ 值为0.631,大大高于具有97.5%置信水平的最低 $R$ 值0.356。由此可以认为,该预报指标在青海及邻区的地震中期预报中有一定的应用价值。

## 3 几点认识

### 3.1 不同的震级分档对计算结果的影响

选取 $\Delta M = 0.2$ 和0.5两种不同的震级分档对青海及邻区进行 $r$ 值计算,得出的结果如图5所示。从图5看,选取 $\Delta M = 0.5$ 进行计算,所得出曲线的异常形态与地震的对应关系更为明显。因此在进行地震拟合相关系数计算时,选取 $\Delta M = 0.5$ 。

### 3.2 与其它地震学参数的相关性

采用青海及邻区的地震目录,分别进行地震拟合相关系数 $r$ 值、 $b$ 值、 $C$ 值、 $D$ 值、频度、缺震的计算,得出的结果如图6。从图中可以看出, $r$ 值曲线的异常对应地震最为明显,几乎每一次大的下降过程都对应了 $M_s \geq 5.8$ 地震。其他几种计算方法得出的曲线均不如 $r$ 值曲线明显。

## 4 结论与讨论

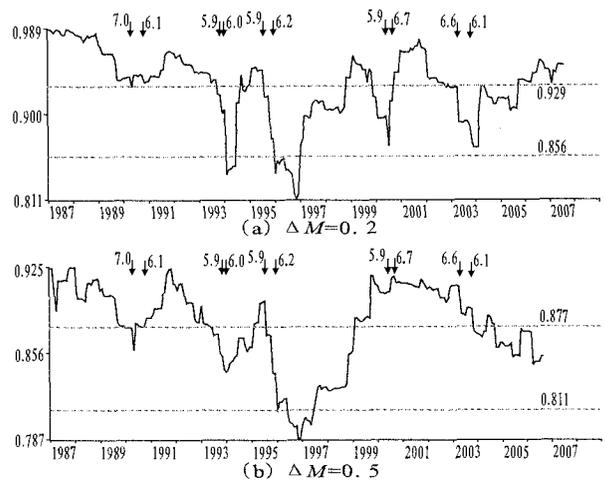


图5 不同震级分档对 $r$ 值的影响

Fig. 5 The  $r$  value curves in different  $\Delta M$ .

通过对青海省东部及邻区( $N34^{\circ}-39.5^{\circ}$ , $E96^{\circ}-104^{\circ}$ )地震进行研究,得出如下结论:

(1) 该区域每一次 $M_s \geq 5.8$ 以上中强地震的震前一段时间,震中一定区域的地震拟合相关系数 $r$ 值都有明显的下降现象。但异常的幅度和持续时间与地震的强度对应关系不明显。

(2) 从该区域内地震的拟合相关系数中提取出了中期预报指标。预报评分为0.631,大大高于具有97.5%置信水平的最低 $R$ 值0.356。表明该方法在这一研究区域具有有一定的应用价值。

(3)  $\Delta M = 0.2$ 和0.5两种不同的震级分档进行地震拟合相关系数计算,得出 $\Delta M = 0.5$ 时要比 $\Delta M = 0.2$ 的计算所得的震前异常的形态更为清晰。

(4) 分别进行地震拟合相关系数 $r$ 值、 $b$ 值、 $C$ 值、 $D$ 值、频度、缺震的对比计算和分析, $r$ 值曲线的震前异常形态最为明显, $r$ 值是中期预报一种比较有效的方法。

存在的问题:

(1) 青海地区中强地震震中区域的拟合相关系数在震前的异常形态不如中国东部地区明显,分析原因可能是因为本地区中强地震比较频繁且震中相

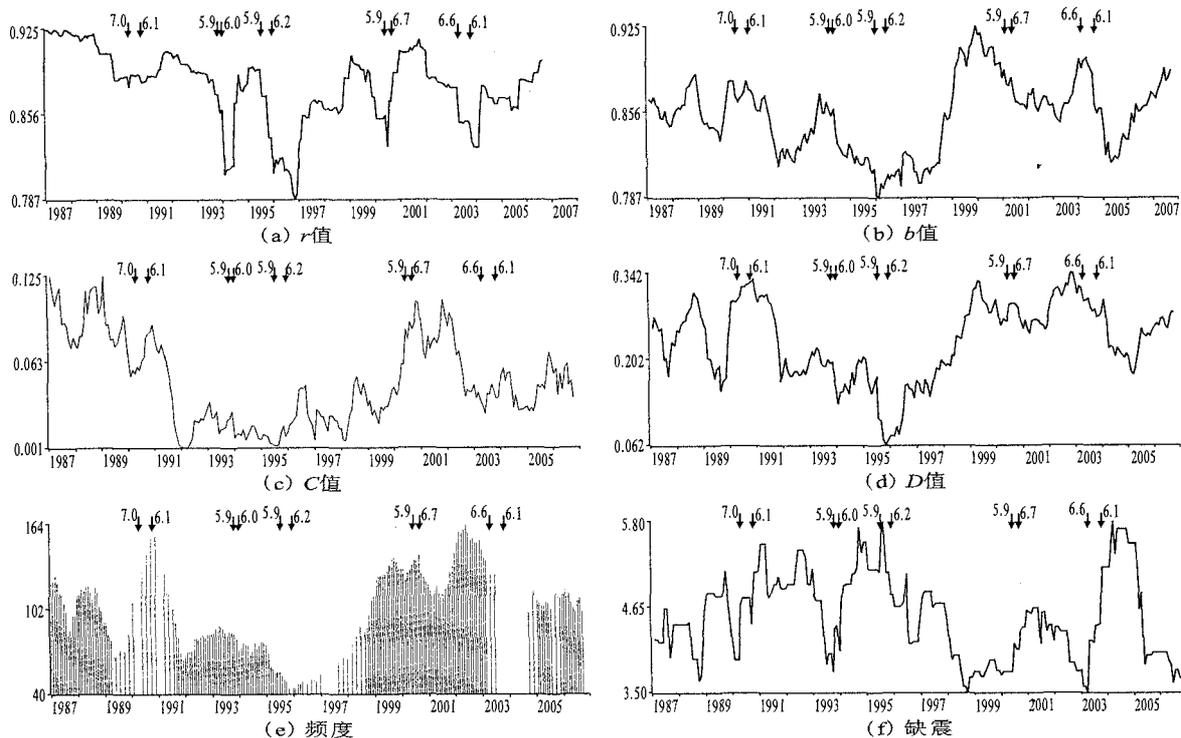


图6 r值、b值、C值、D值、缺震、频度曲线图

Fig.6 Comparison among the  $r$ 、 $b$ 、 $C$ 、 $D$  values and lack quake, frequency value.

距都在二三百公里,进行震中附近一定区域统计计算时往往很难彻底排除周边另外几个中强地震的影响。

(2) 本次研究所做的是时间扫描。如要使用此方法对未来地震空间位置进行判定,尚需要进行空间方面的研究,找出地震拟合相关系数在空间的演化规律。

[参考文献]

[1] 李志雄,张国民,傅征祥,等.中强地震前地震频次-震级关系式拟合相关系数变化的研究[J].中国地震,1996,12(3):229-236.  
 [2] 郭德科,胡凤英,李炳文,等.中强地震前地震拟合相关系数的异常特征在地震预报中的应用[J].地震研究,2003,26(4):315-320.  
 [3] 陆远忠,李胜乐,邓志辉,等编.基于GIS的地震分析预报系统[M].成都:成都地图出版社,2002:119-120.  
 [4] 王海涛,敖雪明,杨马棱,等编,单台地震预报的地震学方法[M].北京:地震出版社,1992:95-99.