

短期前兆综合异常方法在青藏高原北部地区的应用 ——以兴海地震为例

张晓清^{1,2}, 张晓香², 秦松涛², 李胜乐³

(1. 中国科技大学地球与空间科学系, 安徽 合肥 230026;

2. 青海省地震局, 青海 西宁 810000; 3. 湖北省地震局, 湖北 武汉 430071)

摘要:通过对青藏高原北部地区118个定点前兆台项资料的研究,提出了利用前兆台网提取前兆综合异常度指标的方法,包括空间综合度和时间综合度。利用前者来研究青藏高原北部地区强震前短期前兆异常的时空演化特征;利用后者来判定未来中强地震的发震时间。在空间综合异常度的研究中较好地解决了前兆台网分布不均匀引起的异常集中区与震中偏离的问题。作为实例给出了2000年9月12日青海省兴海 $M_s6.6$ 地震前前兆异常的时间和空间综合异常度高值区存在扩散-向震中集中-发震-扩散的过程。

关键词: 青藏块体; 空间综合度; 时间综合度; 地震综合预报; 兴海地震

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2008)02-0179-05

Application of the Short-term Synthetic Anomaly Index of Precursors in Northern Area of Qinghai - Xizang Plateau ——Taking the Xinghai Earthquake As the Example

ZHANG Xiao-qing^{1,2}, ZHANG Xiao-xiang², QIN Song-tao², LI Sheng-le³

(1. Graduate School, University of Science and Technology of China, Anhui Hefei 230026, China;

2. Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810000, China;

3. Earthquake Administration of Hubei Province, Wuhan 430071, China)

Abstract: The data from 118 fixed precursor observation stations in north region of Qinghai - Xizang Plateau are selected for research. A method of synthetic anomaly index, including the time and spatial synthetic index, extracting from the data of precursor observation nets, is presented. Using the spatial synthetic index we can research the evolution characteristics of short-term precursor before moderate-strong earthquake in the region, and using the time one we can judge the occurring time for future earthquake. The problem of anomaly area drifting caused by the station not well-distribute is also solved. As the example, the change cause of the time and spatial synthetic anomaly index before Xinghai $M_s6.6$ earthquake on Sept. 12, 2000, which showed "spreading→concentrating to the epicentre→earthquake→spreading again", is introduced.

Key words: Qinghai - Tibet plateau; Spatial synthetic index; Time synthetic index; Earthquake comprehensive prediction; Xinghai earthquake

0 前言

我国的地震预报从1966年河北省邢台地震开

始后,地震综合预报的概念也同时出现。但逐步形成比较完整的地震综合预报的科学思路和方法则是

收稿日期:2007-05-24

基金项目:青海地震局地震科学基金(2006A01)

作者简介:张晓清(1964-),男(汉族),湖北孝感人,高级工程师,主要从事地震形变前兆研究。

在从1983年开始的历次地震预报科学攻关研究中形成的,“六五”、“七五”、“八五”科技攻关以及“九五”期间的强地震中短期预报技术攻关研究对预报方法进行了全时空扫描有效性检验。在这期间全国及部分省、自治区、直辖市地震局在实际预报情况的基础上逐步总结和形成了各具特色的地震前兆预报方法,使地震预报的科学水平得到进一步提高^[14]。

中、强地震前兆异常特征的研究对地震预报工作的震情判定起着至关重要的作用。由于西部地震前兆监测台网密度小,分布不均匀,相同观测手段数量少,依靠单台或同一类的观测资料很难对地域辽阔的西部地区中强地震进行有效监测和预报。国内许多地震专家在综合预报方面做了有价值的研究工作^[5-8]。但这些专家的工作大多数是在我国东部和川滇地区进行的研究方法中要求的观测台网在西部大多数地区目前还不具备。在这种情况下,我们应充分利用现有地震前兆监测台网,通过对中强地震前兆异常信息进行定量化分析处理,对中强地震做出科学合理的预报。在本文中定义了综合异常度来研究青藏高原北部地区强震前短期前兆异常的时空演化特征。在空间综合异常度的研究中重点解决了前兆台网分布不均匀引起的异常集中区与震中偏离的问题,取得了较理想的结果。

1 资料的选取和分析

1.1 前兆台网的选取

本文选取了分布在 $88^{\circ}-108^{\circ}\text{E}$, $31^{\circ}-43^{\circ}\text{N}$ 范围内,包括了青海省、甘肃省、宁夏省的全境定点前兆台站,收集处理了3省所有的定点前兆资料。定点前兆手段主要有水(气)氡、水汞、水化、水位、流量、地温、应变、应力、地倾斜、地电、地磁、电磁波,观测站点分布见图1。在分析过程中剔除了资料不连续、观测质量明显不好的台项,利用分析处理后的资料进行了研究区内前兆监测反映能力的计算,然后进行空间分布计算和成像。

1.2 区域前兆台网异常监测范围及反映能力

前兆台网异常监测范围是指地震前出现前兆的最远距离;前兆反映能力即为不同空间点可能出现的最大前兆异常的数量。根据大量震例研究,一般5级地震的前兆反映范围为200 km,6级地震为300 km,7级地震为500 km。以观测台点为中心,按上述不同震级的前兆异常反映范围进行叠加得到前兆反映能力空间分布图。约定同一台点不同测项分别累加,同一台点同一测项有多个分量时按1项统计。

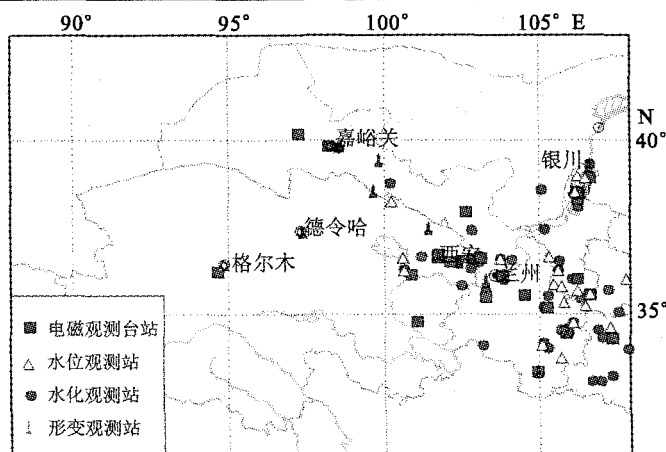


图1 研究区内观测站点空间分布

Fig. 1 Distribution of observation stations in the research region.

图2为不同震级地震的前兆反映能力图,空间的分辨率为 $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$,前兆反映能力的分辨率最低为2项。时间序列采样率以月为单位,参与计算的观测台项为90项。总之,无论空间还是时间,前兆监测能力不仅要求地震前兆有反映(可能是1项或多项),而且要求有一定数量的前兆异常,对地震有一定的预报能力。本文认为某一空间统计单元内前兆观测台项达到5项以上为有监测能力。

从图2(a)可见,目前前兆台网对青藏高原北部全部范围内发生的7级以上地震理论上均有前兆异常反映能力,统计单元内最高的台项数为79项。如果考虑前兆观测台项达到10项以上为有监测能力,对 $E97^{\circ}$ 以东、 $N40^{\circ}$ 以南的区域的7级以上地震有一定的监测能力;对6级地震而言,除阿尔金地震带、唐古拉地震带和茫崖地区外,对青藏高原北部的其它地区有前兆反映能力(图2(b)),前兆的监测能力为 $E99^{\circ}$ 以东、 $N32^{\circ}-39^{\circ}$ 之间的范围,统计单元内最高的台项数为59项;5级地震的前兆反映能力范围为祁连地震带、格尔木周围地区、青海东部、甘肃中部、甘肃东南部和宁夏全境(图2(c)),有前兆监测能力的范围为青海东部、甘肃中部、甘肃东南部和宁夏中南部,统计单元内最高的台项数为40项。

2 前兆综合异常度的定义

2.1 时间综合异常度

首先对定点前兆观测数据的时间序列进行分析提取地震前兆异常,获取异常对应率或 R 值及隶属度;然后按式(1)计算:

$$Y = \sum_{i=1}^n k'_i \lambda_i$$

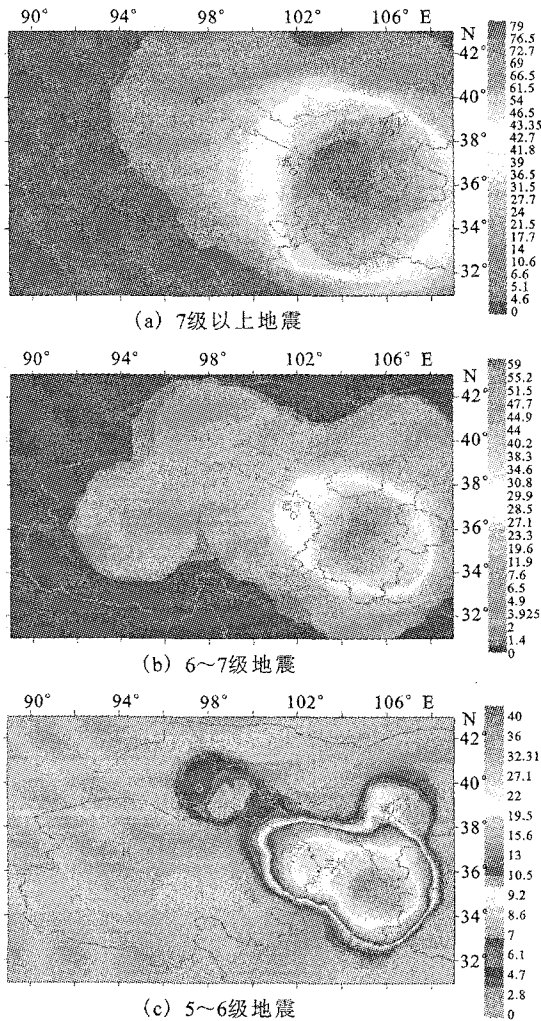


图 2 青藏高原北部地区前兆监测反映能力图
Fig. 2 precursor monitoring ability in north area of Qinghai - Xizang Plateau.

其中: K'_i 为单台项归一化信度; λ_i 为异常隶属度 (有异常为 1、无异常为 0)。

对信度进行归一化主要是为了消除不同时段观测台项数量变化引起的误差:

$$K'_i = K_i / \sum K_i$$

K_i 为第 i 个异常台项的信度, $\sum K_i$ 为计算时段实际观测的前兆台项的信度累加。

2.2 空间综合信度

将单台项异常度 $y_i = k'_i \lambda_i$ 按一定的前兆反映范围 (以 r 为半径的圆, 单位: km) 分配到每一空间统计单元 ($0.20^\circ \times 0.20^\circ$), 多台叠加得到空间综合异常度的分布, 异常度高的地区应是未来地震发生的地区。在实际计算中发现用上述方法计算出的空间异常度分布很大程度上受台站分布的影响。高异常度地区可能包含了一定的异常信息, 但也包含了台网分布的信息。在本文中用以下方法进行台网分

布不均匀性的校正:

(1) 假设计算时段内所有进行观测的台项均出现异常, 计算每个空间统计单元的最大信度 Y_{ijmax} ;

(2) 按实际异常情况, 计算每个空间统计单元的信度 Y_{ij} ;

(3) Y_{ij}/Y_{ijmax} 即为扣除台网分布影响后的空间信度。

3 实际震例——2000 年 9 月 12 日兴海 $M_s 6.6$ 地震

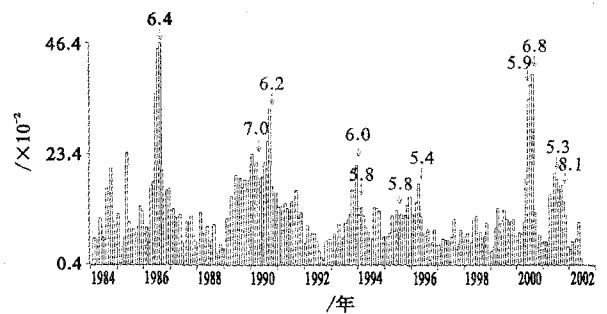


图 3 青藏高原北部地区短期前兆异常时间综合异常度

Fig. 3 The time synthetic anomaly index for short-term precursors in north area of Qinghai - Xizang Plateau.

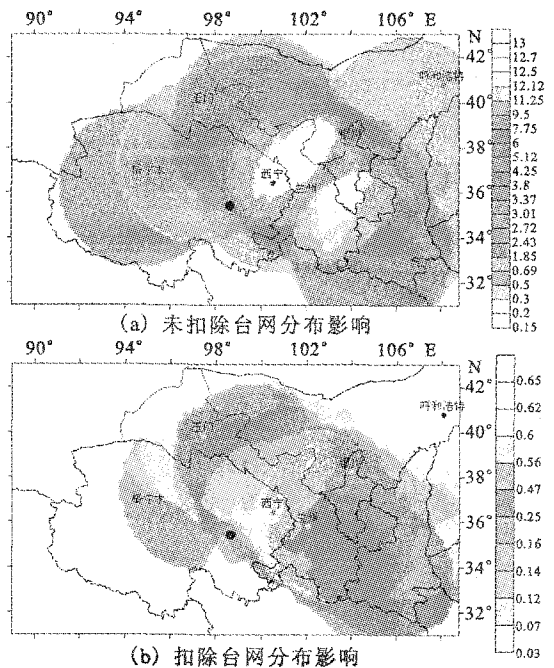


图 4 2000 年 9 月 12 日兴海 6.6 级地震前 1 个月前兆综合异常度空间分布

Fig. 4 Distribution of the spatial synthetic anomaly index a month before Xinghai $M_s 6.6$ earthquake on sept. 12, 2000.

3.1 时间综合异常度的计算

选取研究区观测资料连续、质量可靠的118个定点前兆台项1984年以来的观测资料,提取各台观测资料的短期前兆指标进行判定;以月为时间单位有异常时异常隶属度取1、无异常取0;对同一时段正常观测台项的异常信度进行归一化,然后按上述公式计算出每个月的综合异常度,结果见图3。由图3可见,时间综合异常度对本区6级以上地震和处于台站密集区的个别5级地震有较好的反映:一般震前3个月开始异常度升高,地震当月达到最高值,震后迅速下降。与前兆异常台项月频次相比较,时间综合异常度能更有效地反映短期阶段的异常信息。

3.2 空间综合异常度

3.2.1 台网分布不均匀性的扣除

选取2000年9月12日兴海地震前1个月(2000年8月份)的异常数据作为空间综合异常度及其扣除台网分布不均匀性的例子。2000年8月青藏高原北部地区共出现短期前兆异常40项,按300 km前兆异常范围计算。图4(a)为未扣除台网分布影响的异常综合度空间分布图,其高值区偏离未来地震震中,且面积较大,主要受台网分布的影响;图4(b)为扣除台网分布影响后的计算结果,高值区明显向震中靠近,且高值区的范围缩小了近1/3。可见用上述方法消除台网分布不均匀性的效果十分理想。

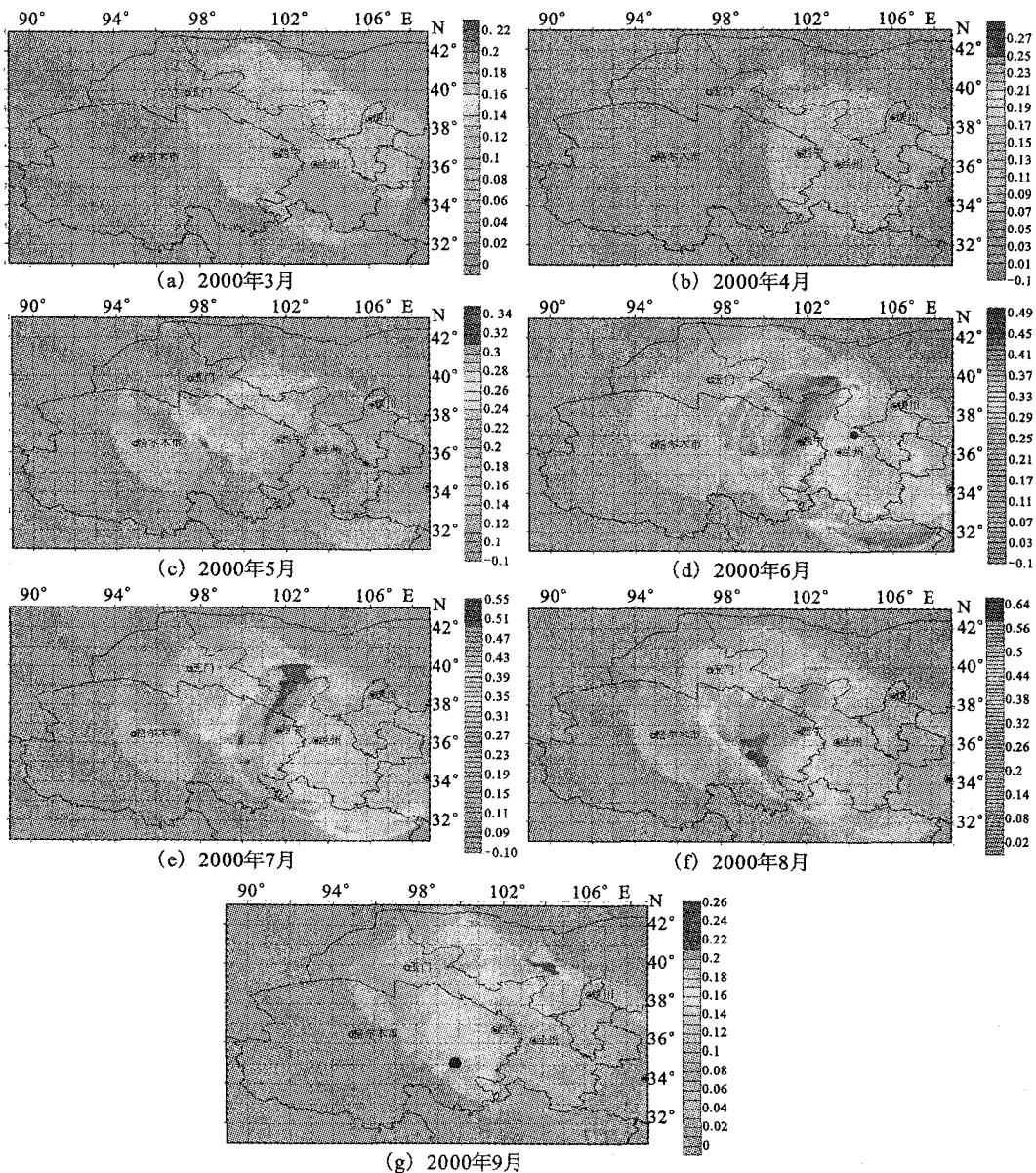


图5 2000年景泰5.9和兴海6.6级地震前空间综合异常度随时间的演化过程

Fig.5 Evolution process of the spatial synthetic anomaly index before Jingtai $M_s5.9$ and Xinghai $M_s6.6$ earthquake in 2000.

3.2.2 2000年9月12日青海省兴海6.6级地震前兆空间综合异常度的演化过程

对2000年9月12日青海省兴海6.6级前6个月的综合异常度进行了时空扫描。空间划分单元内以5个测项同时出现异常作为该次地震空间异常累加的判定标准。计算结果显示震前3~4个月空间综合异常度明显升高,高值区存在扩散-向震中集中-发震-扩散的过程。空间综合异常度的最高值大于0.3,并且持续2~3个月可作为进入短期的指标;空间综合异常度的最高值大于0.5,可作为发生6级以上地震进入短临(1个月)的条件。

从图5中可见,2000年5月开始空间综合异常度出现大于0.3的单元,高值区分布在兴海西北及民勤以北地区;6月份异常区范围较大,主要分布在祁连中东段;景泰5.9级地震后异常度继续上升,8月份在兴海地区形成明显的高值集中区;9月份异常度迅速下降到0.3以下。通过对兴海6.6级地震前兆异常空间演化过程来看该方法对中强地震地点的判定效果较好,可提高短期(3~6个月)异常发震地点的准确性。

4 结语

通过对青藏高原北部地区定点前兆台网中强地震前兆反映能力定量化计算,分震级给出研究区域

内5、6、7级地震前兆异常的空间分布。在研究区内主要运用时间综合度方法提取中强地震的发震时间,空间综合异常度来判定地点,两者同时使用对中、强地震的发震时间和发震地点的判定效果较好。此外,该方法在本研究区域内提出,时间综合度计算时异常测项从 $i=1$ 起算,空间划分单元内异常测项从 $i \geq 5$ 起算。用于其他地区进行中强地震预报时,参数的取舍应结合各地的具体情况而定。

[参考文献]

- [1] 国家地震局科技监测司.地震监测与预报方法清理成果汇编,综合预报分册[G].北京:地震出版社,1989.
- [2] 国家地震局科技监测司.地震预报方法实用化研究文集,综合预报专辑[G].北京:地震出版社,1991.
- [3] 中国地震局预测预防司.大陆地震预报的方法和理论——中国“八五”地震预报研究进展[M].北京:地震出版社,1998.
- [4] 罗兰格,韩渭宾,刘耀炜,等.强地震中短期预报方法及其效能研究[M].北京:地震出版社,2002.
- [5] 罗兰格,孙佩卿.地震综合效应场函数及其在地震预报中的应用(一)[J].华北地震科学,1994,12(3):1-16.
- [6] 罗兰格,孙佩卿.地震综合效应场函数及其在地震预报中的应用(二)[J].华北地震科学,1994,12(4):1-8.
- [7] 车兆宏,孙土宏.中短期强震危险地点的跟踪预测[J].地震,1996,16(4):363-371.
- [8] 牛安福.地壳变形的突变性与地震短期预报 国际地震动态,2002,14(2)10-12.

(上接 162 页)

[参考文献]

- [1] 王秀文,赵新平,赵丽华,等.山西地震带形变应变场及中强地震危险性分析[J].地震,2001,21(1):14-24.
- [2] 傅征祥,刘杰,刘桂萍.张家口-蓬莱断裂带的中长期强地震危险性研究[J].中国地震,2000,16(4):335-341.
- [3] 吴子荣,袁宝印,孙建中.延-怀盆地新构造与地震[J].地震地质,1979,1(2):46-55.
- [4] 车兆宏.首都圈断层活动性研究[J].华北地震科学,1993,11(2):23-33.
- [5] 王若柏,杨国华,耿士昌,等.北京地区地壳形变及其动态特征[J].地震地质,1994,16(1):1-9.
- [6] 刘昌龄,嘉世旭,刘明军,等.延庆-怀来盆地大震危险性分析研究[J].地震学报,1997,19(5):517-523.
- [7] 徐锡伟,吴卫民,张先康,等.首都圈地区地壳最新构造变动与地震[M].北京:科学出版社,2002.
- [8] 李乐,陈棋福,陈颢.首都圈地震活动构造成因的小震精定位分析[J].地球物理学进展,2007,22(1):24-34.
- [9] 黄耕,李清河,孙业君,等.江苏及邻区地壳上地幔结构研究[J].西北地震学报,2006,28(4):369-375.
- [10] 刘明清,刘敏,张先,等.延庆-怀来地区地壳深部磁性构造与地震的研究[J].华北地震科学,1994,12(3):53-58.
- [11] 章纯.中国东部地区地震活动与构造应力场关系的有限元数值模拟[J].西北地震学报,2007,29(3):230-234.
- [12] 黄福明,马廷著,李群芳,等.华北北部构造应力场[J].中国地震,1995,11(2):121-131.
- [13] 文彦君,郑文涛.延怀盆地现代构造应力场模拟与官厅水库大坝地震安全性初探[J].地震地质,2004,26(1):141-152.
- [14] 陈国星,任利生.首都圈地震危险区划分及未来强震地点预测[J].地震,1994,14(S1):125-135.
- [15] 祝治平,张先康,张建狮,等.北京-怀来-丰镇剖面地壳上地幔构造与速度结构研究[J].地震学报,1997,19(5):499-505.
- [16] Anderson J G, Wesnousky S G, Stirling M W, et al.. Earthquake size as a function of fault slip rate[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,1996,86(3):683-690.