

地震阈值监测技术的研究与应用

王 燕^{1,2}, 王海军^{1,2}, 刘俊民^{1,2}

(1. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024; 2. 禁核试北京国家数据中心与核素实验室, 北京 100085)

摘要: 阈值监测技术是一种利用地震台站实时数据反映台网监测能力变化的方法。对台站数据进行预处理后, 计算短时平均值 STA 作为信号能量的估计来计算震级, 由概率统计方法实现对地震台网监测能力变化的动态监测。文中给出了利用短时平均值 STA 和震中距计算震级的公式; 采用新疆地区部分地震台站的数据, 并以新疆地震目录给定的 M_L 为准, 对相关的地震台站计算震级所需参数进行了标定; 最后结合实例说明定点阈值监测技术的应用, 分析了新疆专用地震台网在某一时间段内对定点区域的监测能力。

关键词: 地震台网; 监测能力; 阈值监测

中图分类号: P315.61

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)04-0326-04

Study and Application of Seismic Threshold Monitoring

WANG Yan^{1,2}, WANG Hai-jun^{1,2}, LIU Jun-min^{1,2}

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China;

2. CTBT BENJING NDC AND NRL, Beijing 100085, China)

Abstract: Threshold Monitoring is a method that using real seismic data to evaluate the monitoring capability of Seismological network. After pretreatment to data of seismic stations, the short-term average (STA) instead of signal's amplitude is used for calculating events' magnitude. In this article a formula which using short-term average and epicentral distance to compute events' magnitude is given. Seismic data from Xinjiang network are used to emendate magnitude of seismic stations. At last, an example to show how to use site-specific threshold monitoring is given and Xinjiang network's monitoring ability in target area is analyzed.

Key words: Seismic network; Monitoring ability; Threshold Monitoring

0 引言

台网监测能力的强弱主要取决于台网的密度、方位分布以及仪器的放大倍数和频率特性等因素^[1]。在台网投入运行以后需要用台网监测到的资料, 选用合适的台网监测能力评估方法对台网的监测能力进行评估。台网能够监测到的震级越低说明其监测能力就越好, 反之越差。评估台网监测能力的基本方法有: 理论计算法、 b 值法和事件公报对比法。理论计算法是根据近震震级公式, 由不同的震级和不同的信号最大振幅值确定各台的单台检测距离, 确定若干台站(一般来说是三个台站)同时监测

的范围为台网对某一震级的控制范围^[1-3]。 b 值法是利用频度 N 和震级 M 之间的线性关系, 即 $G-R$ 公式: $\log N = a - bM$, 根据 b 值的大小具有直线性来确定地震台网观测某地区地震活动的震级下限值^[1-3]。事件公报对比法是将待评估台网产生的地震目录和监测能力远高于它的台网所产生的地震目录进行比较, 从而确定台网对某一震级地震事件的监测能力^①。这些方法都是在处理地震历史数据的基础上对台网监测能力做出理论估计的, 不能动态实时反映台网监测能力的变化。阈值监测(Thresh-

收稿日期: 2007-03-19

作者简介: 王 燕(1981-), 女(汉族), 河南开封人, 助理工程师, 现从事地震数据处理方面的研究。

① 靳平, 等. 国际地震监测系统对新疆地区监测能力分析. 西北核技术研究所四室. 2002.

old Monitoring, 简称 TM) 技术能够为台网提供给定置信水平下的连续震级阈值监测曲线, 不仅可以处理地震历史数据, 还能够处理地震实时数据, 实时反映地震台网监测能力的变化, 并且适用于定点 (Site-specific)、区域 (Regional) 及全球 (Global) 范围内的估计^[4]。

1 阈值监测技术的基本原理

1.1 基本原理

地震事件震级计算公式通常具有以下形式

$$\hat{m} = \log(S) + b(\Delta, h) \quad (1)$$

式中 S 是地震信号能量的估计值; $b(\Delta, h)$ 是震级修正项。从统计观点来看, 可以认为 \hat{m} 服从正态分布 (m, σ) , m 是地震事件的真实震级, σ 是震级估计的标准方差。在一般的震级估计式中通常用信号振幅来衡量地震信号能量, 但在阈值监测中用信号的短时平均值 (Short time Average, 简称 STA) 作为信号能量的估计, 这样做可以实时处理地震数据, 动态反映台网监测阈值的变化。

用连续时间变量表示式 (1) 的函数关系式

$$a(t) = \log(A(t)) + b(\Delta, h) \quad (2)$$

其中 A 代表数据的短时平均值 STA。定义 $a(t)$ 为阈值参数 (threshold parameter), 代表定点区域背景噪声水平。当此时真的有地震发生, 那么它就代表该地震事件的震级值。

对于台站的每一个震相, 计算以下概率

$$f(m, t) = P(\hat{m} \leq a | m) = 1 - \Phi\left(\frac{m - a(t)}{\sigma}\right)$$

$$h(m, t) = P(\hat{m} > a | m) = \Phi\left(\frac{m - a(t)}{\sigma}\right) \quad (3)$$

其中 m 代表地震真实震级, \hat{m} 代表此次地震震级的估计值; $\hat{m} \leq a$ 就代表估计的震级低于背景噪声值, 从而 $f(m, t)$ 代表台站不能够检测到该地震事件的概率; 相反 $\hat{m} > a$ 代表估计的震级要大于背景噪声值, 而 $h(m, t)$ 就是台站能够检测到该地震事件的概率; Φ 是标准正态分布函数。

假设 $f(m)$ 是统计独立的, 计算概率

$$g(m, t) = 1 - \prod \left(1 - \Phi\left(\frac{m - a(t)}{\sigma}\right)\right) \quad (4)$$

$g(m, t)$ 的意义是此台网中至少有一个台站在时刻 t 所量度的震级为 m 的地震事件的信号水平能够超出噪声水平的概率, 即此时台网中至少有一个台站可以检测到该地震事件。求解 $g(m, t) = 0.90$ 方程, 此解是关于时间的递增函数, 记为 $m_{T90}(t)$, 是台

网所监测定点区域的阈值曲线 (threshold trace)。根据式 (4), 可以计算出台网在某一时间对某一地点的台网监测阈值。

1.2 震级计算

由于实验是利用新疆专用地震台网来监测新疆区域, 震级公式采用近震震级公式

$$M_L = \lg(A_\mu) + R(\Delta) \quad (5)$$

其中 $R(\Delta)$ 是震中距修正参数; A_μ 是区域震两个水平方向最大振幅值的平均值。

如果利用 STA 值代替信号幅值来估计震级会产生偏差, 经过统计得知 STA 值与震相实际振幅之差近似为一个常数^[5], 又式 (5) 中震级修正参数 $R(\Delta)$ 可以近似为 $\log(\Delta)$ 的线性函数^②: $R(\Delta) = 1.499\log(\Delta) + 0.388$, 因此将震级公式考虑成关于 STA 值与震中距的函数关系式

$$M_L = \lg(STA) + \alpha \log(\Delta) + \beta \quad (6)$$

这里 $\alpha \log(\Delta) + \beta$ 包含原震级公式中 $R(\Delta)$ 项的信息, 并且可弥补用 STA 值代替信号幅值产生的偏差。以新疆地震目录给定的 M_L 为准, 采用最小二乘法求解修正因子 α 与 β 。

图 1 是新疆某地震台站的震级修正因子拟合图。左图中圆点代表新疆地震目录中的事件震级 M_L 与 $\log(STA)$ 之差, 曲线为拟合曲线。右图中的两个子图代表拟合后的震级与新疆地震目录 M_L 震级的比较。采用最小二乘法来求解震级修正因子, 得到 $\alpha = 2.02, \beta = -4.14$; 其中震级拟合的最大误差 1.03, 平均误差为 0.32。修正后台站所测震级与 M_L 震级的误差值为 ± 2 。台网其它各台按同样的方法对震级进行校正。

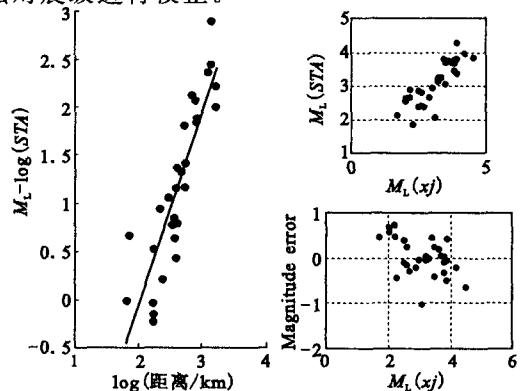


图 1 新疆某地震台站震级修正项系数拟合

Fig. 1 Magnitude correction factor of certain seismic station in Xinjiang.

② 范广超, 等. 专用区域地震台网区域震级标定. 西北核技术研究所第四研究室.

2 数据资料

为应用定点阈值监测方法,本文首先采用2005年8月和10月新疆地震目录中发生在新疆境内及边境区域的地震事件($M_L \geq 2$)对台网内各台站进行震级修正,各台约有30个地震事件来校正。采用2005年10月24日发生在巴基斯坦的一次地震事件的数据资料分析了定点阈值监测方法的应用。确定研究的定点目标为此次地震震中处半径不超过10 km的区域。此次地震事件的信息如表1所示。

表1 巴基斯坦地震事件信息

时间	发震时刻 (GMT)	震级/M	震中	
			纬度/N	经度/E
2005-10-24	13:14:14.6	4.8	34.87°	73.12°

3 定点阈值监测方法的应用

图2中(a)到(f)分别为2005年10月24日发生在巴基斯坦4.8级的地震在HTI、KSH、WUS、WMQ、MUL和BLK台上的信号记录,震相已在图中标出。表2中列出了TM计算所需要的各台参数。图3是台网及新疆各台一小时内不同震级所对应的概率图。可以看出监测概率为90%时所对应的台网监测阈值为 $M_L 3.3$ 。对于该定点区域,台网中监测能力最好的是HTI台,下来较好的是KSH和WUS台,最后是BLK台。由表2可知KSH台离监测目标最近,其次是HTI台。但是由于KSH台此时的本底噪声比HTI台的本底噪声高,从而导致其对目标区域的监测能力不如HTI台好。总体来看实验结果基本符合离监测目标越近其监测能力越好的情况。图4是台网及新疆各台一小时内阈值曲线图。各台的阈值曲线在时间850 s左右上震级阈值都出现峰值,此时台网监测能力变弱,这是因为此时刚好是此次地震的发震时间14分14秒(854秒)。台网所测震级阈值曲线的峰值为 $M_L = 4.55$,与此次地震事件震级4.8级相对应。从此图上可以看出震级阈值随时间变化是不同的,但基本保持在3.5级的水平,即台网此时间段内对于该定点区域基本可以控制3.5级以上的地震。

表2 TM计算所需各台的参数

台站	震相	走时/s	震中距/o	频带/Hz
HTI	Pn	96	7.139 8	1.5-3
KSH	Pn	90	5.426 9	1.5-3
WUS	Pn	125	8.789 5	1.5-3
WMQ	Pn	212	13.356 5	1-2.5
MUL	Pn	216	15.961 1	1-2
BLK	P	255	17.633 8	1.5-3

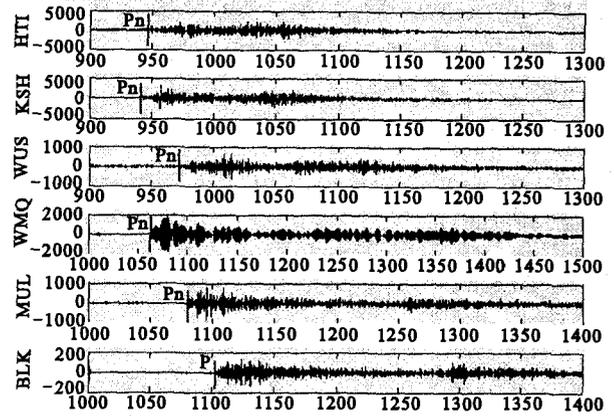


图2 2005年巴基斯坦4.8地震事件各台波形图
Fig. 2 P-wave recordings at different stations for Pakistan M4.8 earthquake in 2005.

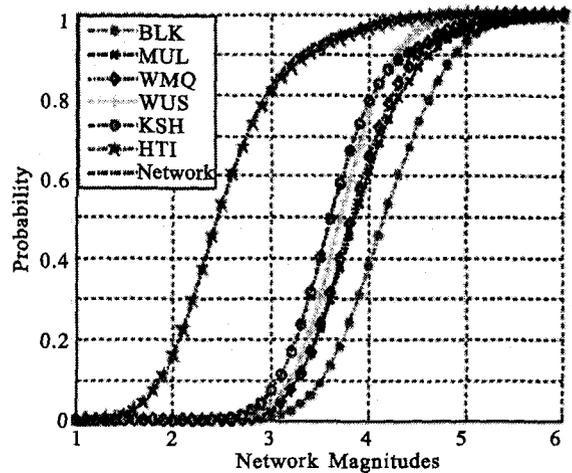


图3 一小时内台网及各台站震级所对应的概率图
Fig. 3 Cumulative statistics of the network and some stations threshold magnitudes in an hour.

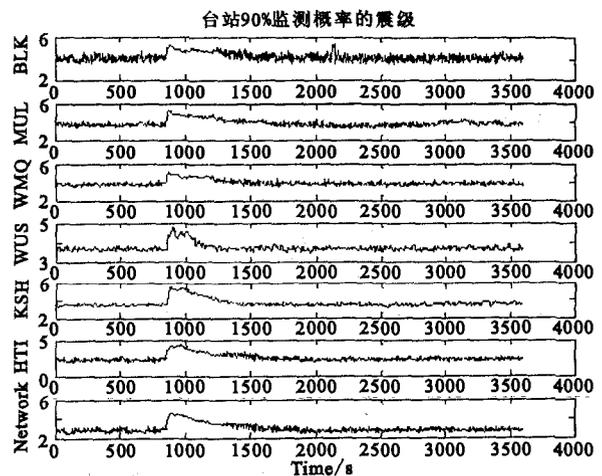


图4 一小时内台网及各台的阈值监测曲线
Fig. 4 Threshold monitoring curves of the network and some stations for the Pakistan seismic event in an hour.

4 结论

通过新疆专用地震台网的定点阈值监测技术的应用,可以得到以下结论:

(1) 根据新疆及边境区域的30个左右的历史地震事件采用最小二乘法拟合得到地震台网各台的震级修正项系数,以此来计算的地震事件震级与新疆地震目录震级的误差不大。标定后的台网震级与新疆地震目录震级的误差值为;

(2) 根据巴基斯坦地震事件的分析,可以看出定点阈值监测方法在估计台网震级阈值的应用上取得了客观、实际的结果:由于巴基斯坦4.8级地震事件的爆发使得此时阈值曲线达到4.55级。台网此时间段内对于该定点区域基本能够控制3.5级以上

的地震。

[参考文献]

- [1] 周明辉,许延军,赵成文. 金昌无线遥测地震台网监测能力的初步评定[J]. 高原地震,2004,16(2):1-3.
- [2] 单新建,韩京,许静. 新疆测震台网历史监测能力及现状[J]. 内陆地震,1996,10(1):2-3.
- [3] 吴开统,焦远碧. 论中国地震台网的监测效能[J]. 地震研究,1981,4(1):2-5.
- [4] Ringdal F, T Kværna. Seismic Threshold Monitoring for Continuous Assessment of Global Detection Capability[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1999,89(4):946-959.
- [5] Tormod Kværna. Advanced Regional Array Studies. Section 2. Optimized Threshold Monitoring of the Novaya Zemlya Test Site[R]. Kjeller, NORWAY;NORSAR,2001.

(上接318页)

尽管大柳树大坝工程建设按照基本烈度Ⅷ度、甚至Ⅸ度设计,但如果地震一旦发生,大柳树高坝大库存在的抗地裂缝破坏和库区严重渗漏的问题解决起来都是十分困难的。大柳树高坝身系中卫——银川盆地千万民众的安危,笔者认为如果该坝建在距离可能发生6.5~7.5级地震的长度大于110 km的区域性发震断裂 F_{201} 约1.5 km的地方是不适宜的,谨望规划部门与设计单位慎之再慎。

[参考文献]

- [1] 王爱国,石玉成,马巍. 地震地表变形三维有限元数值分析[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(24):4124-4130.
- [2] 闵伟,张培震,邓起东. 中卫—同心断裂带全新世古地震研究[J]. 地震地质,2001,23(3):82-85.
- [3] 梁收运,韩文峰,谌文武,等. 大柳树坝址区断层测年研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2):2559-2663.
- [4] 李雪峰,韩文峰,谌文武,等. 黄河黑山峡大柳树坝址与小观音坝址岩体质量差异的原因探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2):2551-2554.

- [5] 马润勇,彭建兵,门玉明,等. 黑山峡大柳树坝址区断裂构造格局与工程抗断问题研究[J]. 地质灾害与环境保护,2002,13(4):46-50.
- [6] 柴寿喜,王银梅,王君国. 大柳树坝址灌浆试验与岩体质量[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2):2555-2558.
- [7] 谌文武,孙冠平,宋畅,等. 大柳树坝址松动岩体的渗透特性[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2):2564-2567.
- [8] 郭增建,秦保燕. 震源物理[M]. 北京:地震出版社,1979.
- [9] 陈运泰,林邦慧,林中洋,等. 根据地面形变的观测研究1966年邢台地震的震源过程[J]. 地球物理学报,1975,18(3):164-182.
- [10] 李天斌,孟方,王美芳,等. 宁夏中西部香山—天景山地区逆冲推覆构造的特征及演化[J]. 地质通报,2005,24(4):309-315.
- [11] 郭进京,杜东菊,韩文峰,等. 黄河黑山峡大柳树坝址区 F_{201} 和 $F_{7(8)}$ 断层的活动性[J]. 地质通报,2005,23(12):1259-1264.
- [12] 张维岐,焦德成,柴积章. 宁夏香山—天景山弧形断裂带新活动特征及1709年中卫南7.5级地震形变带[J]. 地震地质,1988,10(3):12-20.
- [13] 陈颢. 地壳岩石的力学性能. 北京:地震出版社,1988.