

青藏高原东缘地震波数字资料 几种振幅比的前兆测定

张树勋, 魏德红, 张小美, 郝臻

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:根据兰州数字遥测地震台网记录的祁连山东段的地震资料, 利用近震的几种体波及地震波初动的 3 种振幅比: 尾波振幅比、纵波与横波振幅比、初动纵波与横波最大振幅的振幅比的 4 个振幅比参数 r_{co} 、 R_{co} 、 S_{co1} 、 S_{co2} , 对该区的 2000 年 6 月 6 日景泰 $M_s 5.9$ 地震、2001 年 7 月 11 日肃南 $M_s 5.3$ 地震和 2000 年 9 月 12 日兴海 $M_s 6.6$ 地震及余震群进行分析研究。结果表明中强震前各类振幅比会出现高值异常, 振幅比参数出现异常后大部分大约 1~4 个月发震。振幅比参数 S_{co1} 、 S_{co2} 对应地震关系更明显, 说明初动纵波的振幅比由于最先到达, 它不受其他波迭加的干扰, 能较好的反映孕震区的信息。

关键词:数字记录; 地震波; 振幅比; 前兆

中图分类号: P315.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2005)03-0233-07

Some Amplitude Ratio Precursors from Data of Digital Seismic Waveform in East Margin Area of Qinghai-Tibet Plateau

ZHANG Shu-xun, WEI De-hong, ZHANG Xiao-mei, HAO Zhen

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the data of Lanzhou digital telemetry seismic network (Lanzhou DTSN), using four parameters (r_{co} , R_{co} , S_{co1} , S_{co2}) from three amplitude ratios among some body waves and first motion of seismic wave, which are amplitude ratio of end portion in the wave, amplitude ratio of P and S waves, and amplitude ratio of first motion of P wave and the maximum amplitude of S wave, the anomalies before Jingtai earthquake ($M_s 5.9$) on June 6, 2000, Sunan earthquake ($M_s 5.3$) on July 11, 2001, and Xinghai earthquake ($M_s 6.6$) are analyzed and researched. The result shows that each type of amplitude ratio appears high value better moderate-strong earthquakes in 1~4 months, among them parameter S_{co1} and S_{co2} have better relation with earthquake. That means, because the first motion of P wave arrives station first and is not disturbed by other waves, the amplitude ratio of it can reflect the information of seismogenic region directly.

Key words: Digital recording; Seismic wave; Amplitude ratio; Precursor

0 引言

祁连山东段位于青藏高原东缘, 是近年地震活动较强的地区, 2000 年 6 月和 2001 年 7 月在甘肃省景泰、肃南分别发生了 $M_s 5.9$ 、 $M_s 5.3$ 中强震, 2000 年 9 月在青海省兴海发生了 $M_s 6.6$ 强震及余震群。兰州数字遥测台网自 1999 年 8 月陆续投入

使用后, 这几年已积累了本区大量的数字地震记录, 这几次中强震又为研究区域内的孕震区和是否有异常信息提供了条件。数字地震仪记录台在该区的布局和 3 个中强震的位置见图 1。数字地震仪记录测量地震波的动力学参数较模拟台网从量图精度和读数精度上更精确; 数字地震仪记录有与原 768 模拟

收稿日期: 2004-12-15

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA601B01-03-01)的资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20050048

作者简介: 张树勋(1954-), 男(汉族), 河南洛阳人, 高级工程师, 现主要从事地震监测工作。

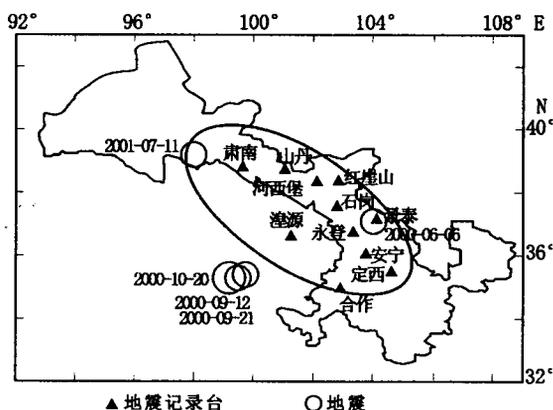


图 1 祁连山中东段记录台站与 3 个中强震分布

Fig. 1 Distribution of stations and three middle-strong earthquakes in the middle-east segment of Qilian mountain.

记录相同的短周期计和不同与 768 模拟记录的宽频带记录。宽频带记录相对短周期记录有更丰富的各种频带的地震波形,对动力学特征的一个量,当有较大振幅时其失真度也比模拟记录要小的多。从历史地震记录看甘肃很多地区中强地震临震之前一般无前震,因此根据中强震前较长时间的数字资料研究该地区动力学参数和地震波携带的上地幔和地壳内的可能异常信息,对该区中强震的预测有一定的意义。本文主要利用近几年数字台网地震记录台站的资料,选取了表 1 中的地震,考虑地震记录的干扰背景及地震太小时影响振幅比的测定和记录台少时对比关系较差等,震级取 $M_L 2.8 \sim 4.7$ 。初步研究了几种地震体波各类振幅比的关系,得到了较好的结果。

1 中强地震前近震几种体波振幅比的特征

1.1 尾波振幅比的特征

尾波振幅比是这样得到的^[1]:尾波起始点定在 S 波走时的 1.5 倍(或 2 倍)处,取尾波窗长为 5 s,以窗中的尾波振幅 C_A 与 S 波最大振幅 SA 之比作为尾波振幅比参数 r_{co} ,即 $r_{co} = C_A/SA$ 。为了和以前模拟台网所做的工作相衔接和进行对比研究,本文仍然采用文献[1]的尾波振幅比给出的方法。但我们认为尾波振幅比 r_{co} 窗口的选取部分值受震中距 Δ 远近的影响,可以采用 $r_{co} = C_A/SA + \Delta$ 。 $\Delta = (\Delta/\bar{\Delta})$ 是一个随震中距并根据经验可相对微调的量, $\bar{\Delta}$ 是地震记录的多台平均震中距。文献[6]指出“振幅比随距离 Δ 的变化特性依赖于震源机制、震源深度、地壳结构和地壳介质的性质等多方面的因素”。数字地震记录仿真模拟 DD-1 后的频率特性

与模拟台相接近,振幅比的工作采用了宽频带数字地震记录仿真与短周期仪数字地震记录仿真,而且利用几种不同类型体波各类不同的振幅比资料时考虑震中方位的影响全部选用垂直向记录。

本文资料选取了景泰台、山丹台和河西堡台,首先是由于这 3 个台位于 2 次中强地震的震中距有远有近,其次是景泰台和河西堡台为宽频带(FBS-3A)、山丹台为短周期(JC-V100),记录可在不同频带间相互对比。尾波振幅比的资料从 1999 年 11 月到 2002 年 1 月,图 2 给出了 3 个台尾波 3 个窗口的结果。

尾波振幅比的窗口图用振幅比值作纵坐标,时间作横坐标,以下其他各类的振幅比图同样处理。

从图 2 看出,景泰尾波窗口 1 中 2000 年 4 月 12 日出现高值异常,对应 2000 年 6 月 6 日景泰 $M_S 5.9$ 地震,间隔 2 个月;2000 年 9 月 2 日的高值异常对应 2000 年 9 月 12 日兴海的 $M_S 6.6$ 强震,间隔 12 天;2000 年 6 月 18 日的高值异常对应 2000 年 7 月 11 日肃南 $M_S 5.3$ 地震,间隔 1 个月。窗口 2、窗口 3 中对应景泰地震较明显,而对肃南地震无反映,原因可能是景泰台离肃南震中较远,也可能存在选取地震的地震波未穿过孕震异常区或应用尾波窗口时各尾波窗口反应的异常不一致。

山丹尾波窗口 1 对景泰地震没有出现较高值,在 2001 年 4 月出现较高值对应肃南地震,相隔 3 个月。但窗口 2、窗口 3 中 2000 年 1 月和 2 月的高值又与景泰地震有对应,2001 年 3 月与 4 月的两次高值对应肃南地震,异常出现时间距震相隔 3~4 个月。窗口 3 中对景泰地震异常幅度较大,对肃南地震较小。

景泰尾波窗口 1 的 2000 年 9 月 2 日振幅比值高,兴海地震与此异常是否真正对应值得研究,由于从 9 月 2 日的地震波形看是两次震动,从震中距看 77 km 影响尾波振幅比值,但随着 Δ 的增大而影响减小。同时间河西堡尾波窗口 1 震中距 139 km,山丹尾波窗口 1 震中距 243 km,也是两次震动但对尾波振幅比值并没有产生影响。景泰尾波窗口 2、窗口 3 中两次震动的地震也对振幅比值无影响。

景泰尾波窗口 2 与 3,山丹尾波窗口 1 的一个特点是地震的震中距 > 200 km 以上时观测到振幅比的变化不明显,而景泰尾波窗口 1、山丹尾波窗口 3 似乎又较好,因此尾波振幅比应选取较多的窗口进行研究。另外河西堡台尾波窗口 1 对两次地震的对应都不明显也无明显规律;窗口 2、窗口 3 虽然有

表 1 本文选取的祁连山东中段地区 1999 年 11 月—2002 年 1 月地震

序号	发震时间	震中位置		地点	震级/M _L	深度/km	精度
1	1999-11-26	37°31'	102°14'	天祝	3.7	20	1
2	1999-12-22	37°38'	102°32'	天祝	2.9	6	1
3	2000-01-16	38°38'	102°09'	金昌市	2.8	1	1
4	2000-02-15	38°32'	102°01'	金昌市	2.9	2	1
5	2000-02-17	37°30'	102°12'	天祝	3.9	5	1
6	2000-03-21	37°35'	101°30'	门源	2.9	10	1
7	2000-04-12	37°05'	103°50'	景泰	3.8	1	1
8	2000-05-17	37°34'	102°52'	古浪	3.2	9	1
9	2000-06-05	37°27'	102°47'	古浪	3.5	2	1
10	2000-07-04	37°20'	102°58'	古浪	4.0	2	1
11	2000-08-22	37°58'	101°55'	九条岭	3.4	1	1
12	2000-09-02	37°42'	103°26'	古浪	4.7	19	1
13	2000-09-27	36°34'	104°06'	白银	2.8	10	1
14	2000-10-12	37°53'	102°13'	九条岭	3.3	5	1
15	2000-11-19	36°23'	103°42'	皋兰	2.9	10	1
16	2000-12-21	36°23'	103°07'	永登	2.9	10	1
17	2001-01-25	37°55'	102°23'	武威	3.1		4
18	2001-03-13	38°39'	102°07'	金昌	3.9	20	1
19	2001-03-15	37°45'	102°17'	九条岭	3.6		2
20	2001-03-31	37°31'	101°29'	门源	4.4		3
21	2001-04-04	38°39'	102°23'	金昌	3.0	16	1
22	2001-04-19	37°33'	102°15'	天祝	2.8		2
23	2001-05-28	37°33'	102°16'	天祝	2.9	6	1
24	2001-06-18	37°05'	104°02'	景泰	3.9	25	1
25	2001-06-21	37°33'	102°13'	天祝	4.4	11	1
26	2001-07-05	37°35'	102°17'	天祝	3.8		2
27	2001-07-27	37°04'	103°54'	景泰	3.0	22	1
28	2001-08-04	37°32'	102°19'	天祝	4.0	12	1
29	2001-08-24	36°51'	103°11'	永登	2.9	14	1
30	2001-09-04	37°31'	102°19'	天祝	4.2	12	1
31	2001-10-09	37°32'	102°14'	天祝	3.2	7	1
32	2001-10-21	36°23'	103°12'	永登	4.4	20	1
33	2001-12-01	37°34'	102°35'	天祝	3.8	15	1
34	2001-12-09	37°49'	102°06'	九条岭	2.9		2
35	2002-01-11	38°14'	103°03'	民勤	3.1	7	1

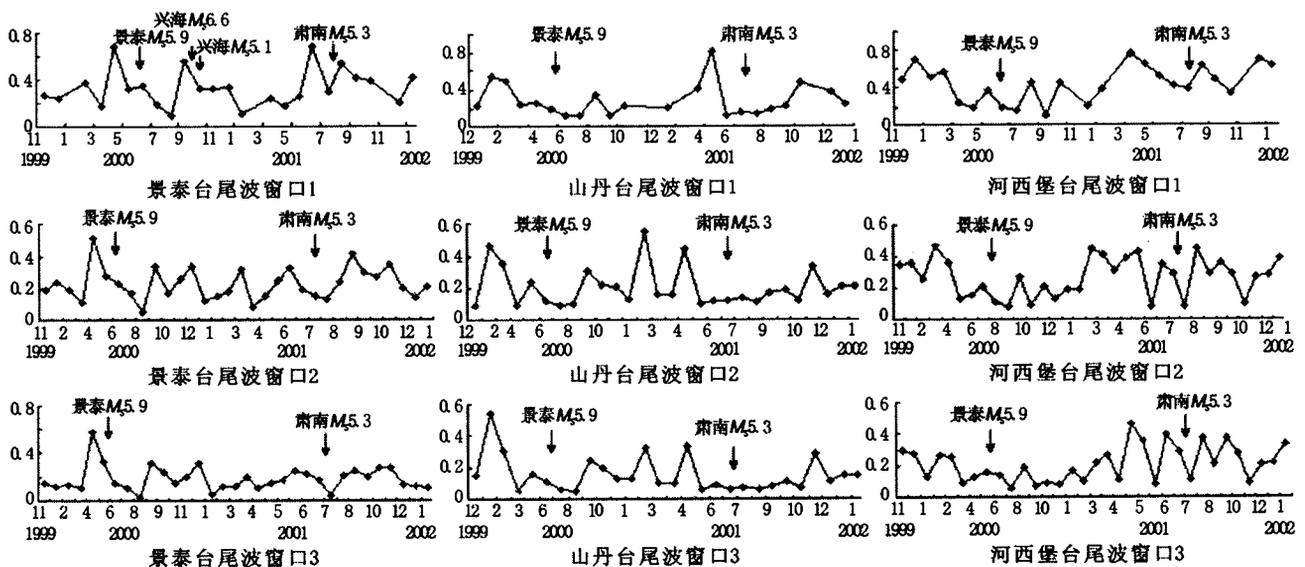


图 2 景泰、山丹、河西堡台的 rco1, rco2, rco3 窗口

Fig. 2 Windows of rco1, rco2, rco3 at Jingtai, Shandan and Heixipu stations.

些变化,但较勉强。初步认为一方面可能与本身的台基有关,另一方面与台附近的地壳结构和地壳介质的性质有关,使得这类台对尾波振幅比异常无较大反映,以后应避免选取这种台。

1.2 纵波与横波振幅比特征

即 P 波的最大振幅 PA 与 S 波的最大振幅 SA 之比, $R_{co} = PA / SA + \Delta$ 。选取祁连山中东段 6 个台的记录,时间仍从 1999 年 11 月—2002 年 1 月,其中景泰、合作、红崖山、河西堡台为宽频带仪,山丹、肃南台是短周期仪。略去干扰大资料少的安宁台及无一定的规律的石岗台和湟源台资料。

从图 3 中景泰台 Rco 图可看出景泰地震与肃南地震前 2 月都出现较大高值异常,同尾波振幅比异常出现时间基本相同,但兴海地震前 2 个月出现高值异常,与震前 12 天尾波振幅比出现异常的时间不同。从河西堡台 Rco 图可看出,景泰地震前 3 个

月出现高值异常,肃南地震前 4 个月出现高值异常,对应较好,这与其尾波窗口对两次地震反映不明显形成对比。肃南台 Rco 图可看出景泰地震前 4 个月出现高值异常,而肃南地震前从 2000 年 7 月—2001 年 3 月出现连续较长时间的高值异常区。

山丹、红崖山、合作三个台与景泰地震无高值对应,而肃南地震前都有高值异常对应,出现的时间分别为山丹台 6 个月、红崖山台 3 个月、合作台 9 个月。合作台 2000 年 10 月的高值异常对应肃南地震由于时间长较勉强。

景泰台在 2000 年 7 月与 2000 年 10 月出现两个高值;与此同时在兰州的安宁台在 2000 年 7 月及 2000 年 10 月 Rco 也出现高值;山丹台 2000 年 7 月出现高值。这些高值是否与 2000 年 9 月 12 日兴海 $M_s 6.6$ 地震及余震群相对应值得研究,因为景泰台、安宁台的震中距已达 500 km。

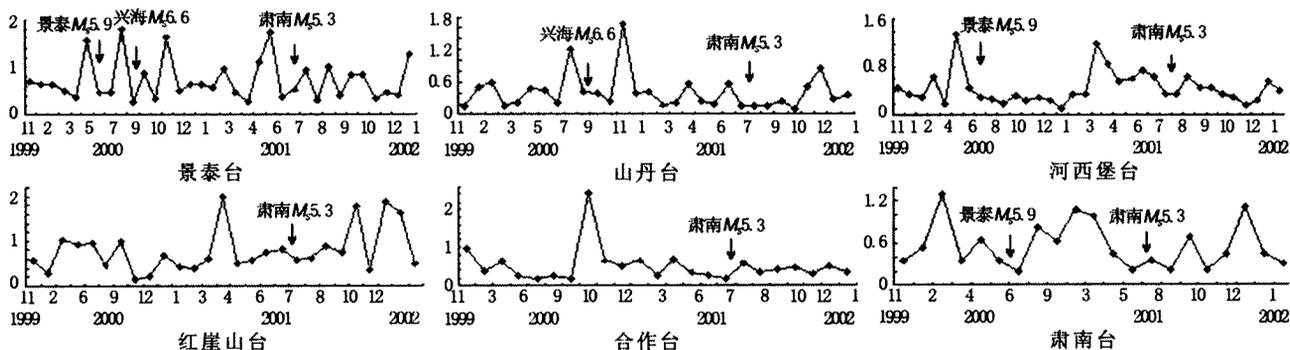


图 3 祁连山中东段 6 个台的 Rco(PA/SA)

Fig. 3 The Rco(PA/SA) values of six stations in middle-east segment of Qilian mountain.

1.3 初动纵波与横波最大振幅的振幅比特征

初动纵波振幅是地震波的初动半振幅与其紧相连的第一个全振幅,两个振幅分别定义为 Po_1 、 Po_2 ,与横波最大振幅 SA 之比作为纵波初动与横波振幅比参数 Sco_1 、 Sco_2 ,即: $Sco_1 = Po_1 / SA + \Delta$ 、 $Sco_2 = Po_2 / SA + \Delta$ 。纵波的走时速度在甘肃及邻近地区近震分析中取 $V_{Pg} = 6.10 \text{ km/s}$ 、 $V_{Pn} = 8.18 \text{ km/s}$ 、横波 $V_{Sg} = 3.57 \text{ km/s}$ 、 $V_{Sn} = 4.64 \text{ km/s}$ 。祁连山中东段地区地壳厚度大约 52 km 左右,根据甘肃及邻近地区近地震波走时表和走时曲线:当震源深度 $\leq 20 \text{ km}$ 、在震中距 $\leq 230 \text{ km}$ 时 Pg 直达纵波最先到地震接收台。在图 1 中的台站与表 1 中地震的距离大部分都在 230 km 以内而震源深度也 $\leq 20 \text{ km}$,因此所做资料的初动基本是直达纵波。那么最先穿越地震孕震区的直达纵波头更有可能携带中强地震前高应力背景地区的某些信息,而不受其他地

震波迭加的干扰,是做横波与初动纵波振幅比的原因。图 4、5 是来自 9 个台的 Sco_1 、 Sco_2 的曲线。

从图 4、5 看出,景泰台的 Sco_1 、 Sco_2 在景泰地震前 2 个月都出现明显的振幅比异常。 Sco_1 在肃南地震前无异常,景泰地震之后在正常值内一直稳定摆动。 Sco_2 在 2001 年 3 月与 5 月虽然有两次上升但值较小,这与景泰台尾波窗口 1 及 Rco 异常高值多次不一致,与尾波窗口 2、3 有些类同。河西堡台 Sco_1 、 Sco_2 在景泰与肃南地震前都有较好对应,异常明显,出现 3~4 个月后才发震。 Sco_2 在景泰地震前的异常值比 Sco_1 更强,而 Sco_1 的 2001 年 12 月高值在 Sco_2 中不明显,这和河西堡台 Rco 图基本一致,但与河西堡台的 3 个尾波窗口对两次地震无明显对应关系也形成鲜明对比。

山丹台 Sco_1 景泰地震前有两次异常,分别是 2000 年 2 月和 5 月,异常时间存在 1~4 个月,肃南

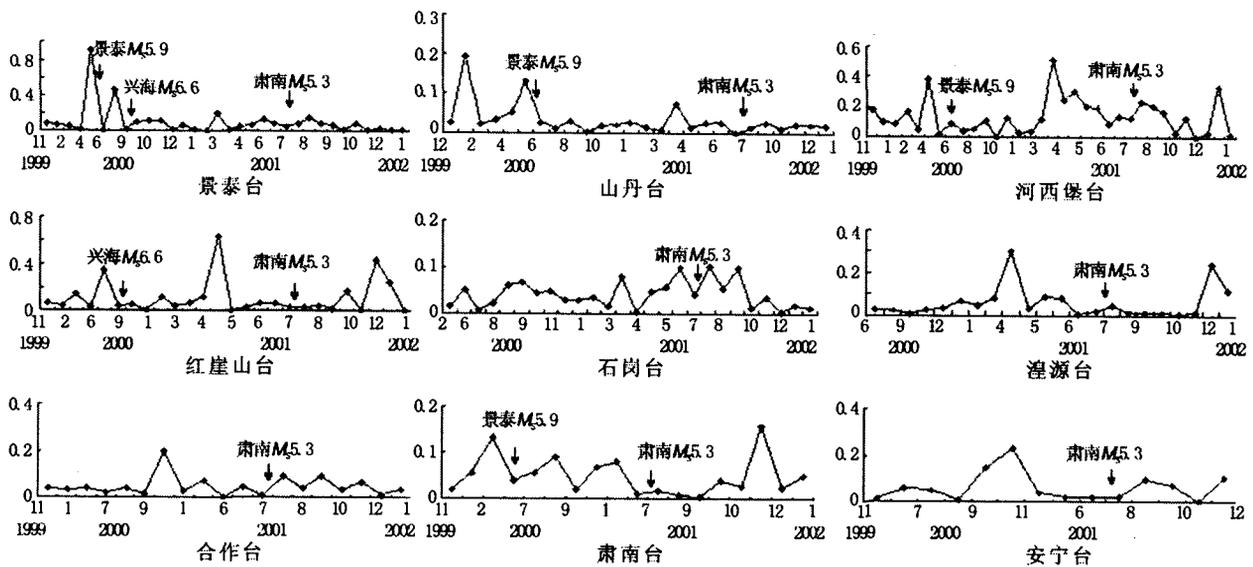


图 4 祁连山中东段 9 个台的 $Sco1(Po1/SA)$

Fig. 4 The $Sco1(Po1/SA)$ values of nine stations in middle-east segment of Qilian mountain.

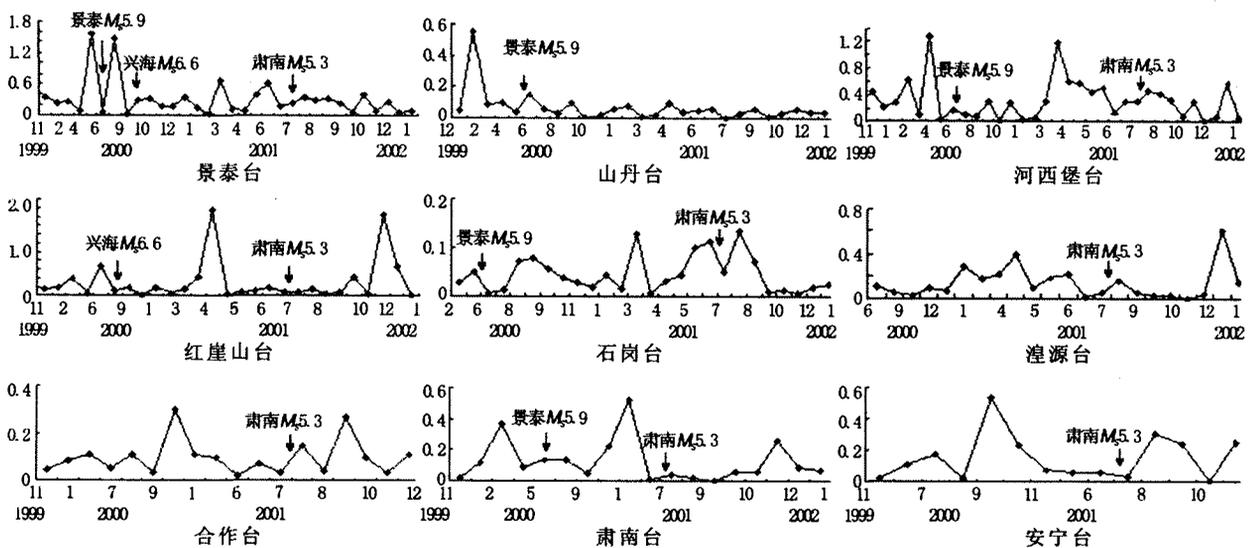


图 5 祁连山中东段 9 个台的 $Sco2(Po2/SA)$

Fig. 5 The $Sco2(Po2/SA)$ values of nine stations in middle-east segment of Qilian mountain.

地震前 3 个月有一个不明显的较小异常。S_{co2} 仅有景泰地震前 4 个月的异常存在，肃南地震无反应，这与山丹台尾波窗口 3 基本相同，异常出现时间也基本一致。这里需指出山丹台 S_{co1}、S_{co2} 与尾波窗口 1 与 2 及 R_{co} 的不同点是前者在肃南地震前都无明显异常，而景泰地震前有较大异常，后者反之，且异常出现时间也不完全一致。

红崖山、安宁两台 S_{co1}、S_{co2} 在肃南地震前都有较突出异常值。而石岗台 S_{co1} 对肃南地震是较长时间的较小异常值，S_{co2} 有一次明显异常值。湟源台与石岗台相反，S_{co1} 在肃南地震前有一次明显

异常值，S_{co2} 是较长时间的较小异常值。合作台对肃南地震 S_{co1}、S_{co2} 都有异常值，但 S_{co1} 异常值较小，S_{co2} 异常值较大。以上各台的 S_{co1}、S_{co2} 对景泰地震无明显异常显示，仅有肃南台 S_{co1}、S_{co2} 有较弱异常，同时肃南台也存在 S_{co1} 在肃南地震前无明显异常值，S_{co2} 有非常突出异常值的特征。需要说明安宁、肃南、合作 3 台在景泰地震前由于是试运行需调试，资料少且断记较多，也是产生未反映景泰地震异常的一个可能的客观原因。

从景泰台 S_{co1}、S_{co2} 与尾波窗口 1、2 及 R_{co} 对两次所选中强地震异常的不同显示，河西堡台

Sco1、Sco2、Rco 对两次中强地震的较好对应,而尾波窗口 1、2、3 的无规律对应,山丹台 Sco1、Sco2 与尾波窗口 1 与 2 及 Rco 的不同点,石岗、湟源、合作、肃南等台的 Sco1 与 Sco2 在异常上反映的不一致,可看出不同的振幅比参数在不同的条件下和方式方法不同时,出现的异常信息不全一致或根本不一致,因此对各类振幅比参数都需认真总结它的特征、特性及其规律。

2 振幅比参数的综合分析

由 rco、Rco、Sco1、Sco2 参数的各类振幅比图可看出,青藏块体东北缘祁连山中东段地区在中强震前各类振幅比会出现高值异常,因此利用数字地震资料连续做振幅比工作在该区中强震预报中将是有意义的。

(1) 众多的图和台的数据显示,数字地震的宽频带仪与短周期仪在中强震前都能测量到各类振幅比的变化和异常,因此无论使用地震计的宽频带(FBS-3A)还是短周期(JC-V100)记录对 4 个振幅比参数都可测定。

(2) 不同的振幅比参数对中强震异常显示不同。由河西堡台和景泰台为例,河西堡台可明显看到 Sco1、Sco2、Rco 对景泰、肃南地震都有明显异常显示,但 rco(3 个尾波窗口)对两次地震无明显异常提取,其图也都无一定规律可循。景泰台 rco(尾波窗口 1)、Rco 对景泰、兴海、肃南地震都有异常显示,而 Sco1、Sco2、rco(尾波窗口 2、尾波窗口 3)对近距离的景泰地震异常突出,对兴海、肃南地震都无一点异常。其原因可能是 Sco1、Sco2 是初动的振幅比参数,在传播时未受其他波迭加的干扰,或由于景泰台距震中仅几十公里,处在应力集中区。

(3) 振幅比参数的异常值距发震时间分析见表 2。一般情况下振幅比参数出现异常后大约 1~4 个月发震居多,包括景泰台、山丹台、河西堡台、肃南台、红崖山台、石岗台、湟源台。安宁台、合作台振幅比参数出现异常后大约 2~10 个月发震,但这 2 个台由于资料少不足以说明问题,尤其合作台的振幅比异常值所对应的肃南地震由于距离太远很勉强。所以本文认为振幅比参数出现异常距发震时间 1~

表 2 祁连山中东段地区数字台振幅比参数异常值、正常值及异常距发震时间表

台站	振幅比参数	Rco	Sco1	Sco2	rco1	rco2	rco3
景泰台	振幅比异常距发震时间	2 个月	2 个月	2~4 个月	1~2 个月	2 个月	2 个月
	振幅比异常值	>1.2	>0.4	>0.6	>0.45	>0.4	>0.4
	振幅比正常值	0.6±0.3	0.1±0.1	0.2±0.2	0.2±0.15	0.2±0.1	0.2±0.1
山丹台	振幅比异常距发震时间	2~6 个月	1~3 个月	3 个月	3~5 个月	3~4 个月	3~4 个月
	振幅比异常值	>1.1	>0.07	>0.25	>0.45	>0.3	>0.3
	振幅比正常值	0.4±0.25	0.02±0.03	0.1±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1
河西堡	振幅比异常距发震时间	3~4 个月	2~3 个月	2~3 个月	无规律	无规律	2 个月
	振幅比异常值	>0.85	>0.25	>0.7	无规律	无规律	>0.3
	振幅比正常值	0.4±0.2	0.1±0.1	0.3±0.3	无规律	无规律	0.2±0.1
肃南台	振幅比异常距发震时间	4 个月	4 个月	3 个月			
	振幅比异常值	>1.0	>0.07	>0.3			
	振幅比正常值	0.5±0.4	0.03±0.03	0.1±0.1			
合作台	振幅比异常距发震时间	10 个月	10 个月	10 个月			
	振幅比异常值	>1.2	>0.12	>0.2			
	振幅比正常值	0.5±0.4	0.05±0.05	0.1±0.1			
红崖山	振幅比异常距发震时间	3 个月	3 个月	3 个月			
	振幅比异常值	>1.3	>0.25	>0.6			
	振幅比正常值	0.6±0.4	0.1±0.1	0.2±0.2			
石岗台	振幅比异常距发震时间	3 个月	3 个月	3 个月			
	振幅比异常值	>0.65	>0.08	>0.18			
	振幅比正常值	0.3±0.2	0.04±0.04	0.05±0.05			
安宁台	振幅比异常距发震时间	2~8 个月	10 个月	10 个月			
	振幅比异常值	>0.6	>0.13	>0.4			
	振幅比正常值	0.3±0.1	0.05±0.05	0.15±0.15			
湟源台	振幅比异常距发震时间	4 个月	3 个月	3 个月			
	振幅比异常值	>0.8	>0.15	>0.25			
	振幅比正常值	0.4±0.2	0.05±0.05	0.1±0.1			

4个月较合适。

(4) 对振幅比参数的异常值分析,显示大多 r_{co} 值 ≤ 1 , 绝对多数地震 S_{co1} 、 S_{co2} 的值也 ≤ 1 。当 R_{co} 、 S_{co1} 、 S_{co2} 的值 ≥ 1 时一般可看出是振幅比异常(表2)。这从地震记录图上直接反映为纵波振幅大于横波振幅或纵波出动振幅大与其他体波振幅。表2给出了祁连山中东段地区的各记录台4个振幅比参数的异常值和正常值,做为本次工作的初步结果。一般振幅比参数的异常值大小应该与记录台的震中距有关,与震级大小无关。以景泰台和肃南台为例,景泰台距景泰地震20 km,距肃南地震590 km,其 S_{co1} 值在景泰地震达到0.9,异常值极为突出,但对肃南地震无异常显示; S_{co2} 值在景泰地震达到1.7,也极为突出,对肃南地震异常两次分别是0.6和0.65。肃南台距肃南地震150 km,距景泰地震430 km, S_{co2} 值在肃南地震前为0.6,景泰地震异常值0.38。其他记录台的两次震中距相差不大,因此规律不明显。

(5) r_{co} 、 R_{co} 、 S_{co1} 、 S_{co2} 振幅比参数及各记录台对震前异常显示优劣比较显示, S_{co1} 、 S_{co2} 振幅比值对应地震最好, r_{co} 值又优于 R_{co} 值。究其原因 S_{co1} 、 S_{co2} 是初动纵波,由于最先到达不受其他波迭加的干扰。

(6) 由振幅比值判定地震三要素。分析认为在祁连山中东段地区由振幅比参数反映出的异常,发震时间大多在异常出现1~4个月内,具体对照表2;振幅比参数异常值如果和表2对应相同时震级一般可达5.3~6级,异常值增大或减小时可适当增大或减小震级;地震发生区域由于所做工作和总结仅在该区,所以预报区域就是本区。

3 讨论

(1) 对各类振幅比的资料,必须保证以下两点

才能判断作为中强震前的异常:首先要有连续的数字地震台的长期观测记录且断记少,并有每个观测台的振幅比对应地震在时间和异常幅度上的总结例证;其次地震活动要较强,3~4.6级左右的地震最好随时间分布均匀(一般半月一次较好),否则就是出现振幅比异常也无法测量到。

(2) 虽然4个振幅比参数值对所重点研究的两次地震大都有较好的对应,但2001年12月的振幅比在河西堡台的 S_{co1} 高值、湟源台的 S_{co1} 、 S_{co2} 、 R_{co} 高值、红崖山台的 S_{co1} 、 S_{co2} 高值、肃南、景泰、山丹台的 R_{co} 高值,在4个月内无地震与之对应。是何原因是今后重点研究的课题。

(3) 地震波由于在传播时整个覆盖它经过路径上的地壳及上地幔几十公里,地震一般又发生在地壳中(根据1990年—2002年甘肃地震目录,祁连山中东段地区地震的震源深度一般多在10~40 km),因此利用地震波振幅比来观察是否有异常信息从我们的工作中看是有希望的。

[参考文献]

- [1] 顾瑾萍,杨彩霞,黄耘,等.尾波特性指标变化与前兆分析[J].地震学报,1994,16(增刊):73-81.
- [2] 冯德益,吴国有,陈化然,等.地震波动力学特征变化指标在短期地震预报中的应用[J].地震,1994,14(1):12-21.
- [3] 冯德益,陈化然,郭瑞芝,等.青藏高原北缘地区地震波动力学特征量变化与强震关系的研究[J].内陆地震,1977,11(1):1-8.
- [4] 冯德益,顾瑾萍,陈化然,等.海城7.3级地震前地震波动力学特征量的异常变化[J].东北地震研究,1995,11(1):1-11.
- [5] 郑治真,胡祚春,郭亚平,等.海城地震前、余震波谱变化[J].地球物理学报,1977,20(2):125-130.
- [6] 冯德益.地震波速异常[M].北京:地震出版社,1981.