

新疆南天山西段震群活动特征分析^①

张琳琳, 宋春燕, 温少妍

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:2008年3月—2013年12月新疆南天山西段小震群活动水平较高,系统整理该地区31次小震群,并对震群活动的参数特征进行分析总结,以探讨小震群活动与中强地震的关系,同时检验前兆震群类型的判断指标。结果表明:(1)新疆南天山西段震群活动集中,强度以 $M_L 2.0 \sim 3.9$ 地震为主,震群中最大震级多数为 $M_L 3.5$ 左右,而震级值 $M_L \geq 4.0$ 共7次,最大为 $M_L 4.9$,震群序列总频次多数小于20,持续时间大多为7天以内;震群序列中地震总频次和震群持续时间与震群中最大地震震级之间不成正比。(2)震群活动主要集中在阿图什附近,75%震群发生两个月后对应 $M 5.0$ 以上中强地震,对应范围为0~500 km,未来中强地震震中位置主要集中在喀什—乌恰交汇区,震群强度大小与未来中强地震的对应率高低值和对应的地震强度大小之间没有明显的相关性,震群序列频次与震群的地震对应率之间也不存在相关性。(3)采用 $U-K$ 和 $U-\rho$ 组合方法判定震群类型的检验效果相对较好,正确率约占总数的32%。分析结果可以为判断震群活动是否具有前兆特征和震情跟踪提供参考依据。

关键词:震群; 参数特征; 前兆震群判定; 南天山西段

中图分类号:P315

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2016)05-0822-08

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2016.05.0822

Characteristics of Earthquake Swarms in Western Part of South Tianshan, Xinjiang

ZHANG Lin-lin, SONG Chun-yan, WEN Shao-yan

(Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The small earthquake swarm activity level in South Tianshan, Xinjiang, was relatively high from March 2008 to December 2013. In this paper, 31 small earthquake swarms occurring in this area are systematically studied, the parameter characteristics of earthquake swarms are summarized, the relationship between small earthquake swarms and the occurrence of future moderately strong earthquakes is discussed, and criteria for precursory earthquake swarms are analyzed and tested. Results show that: (1) earthquake swarms in South Tianshan are concentrated in several regions, the magnitudes of most are $2.0 \sim 3.9$, and the largest magnitude of each swarm is mostly about $M_L 3.5$. Seven swarms have a total magnitude of $M_L \geq 4.0$ with a maximum value of $M_L 4.9$ and there are less than 20 earthquakes for most earthquake swarms with a duration of less than seven days. (2) The activity of earthquake swarms is mainly concentrated near Atushi. 75% of the swarms are accompanied with $M > 5.0$ earthquakes two months after their occurrence, and the epicenters of these medium-strong earthquakes are principally located in the intersection of Kashi and Wujia. The corresponding ratio of the magnitude of earthquake swarms

① 收稿日期:2015-07-23

基金项目:中国地震局震情跟踪定向工作任务(2015010122);新疆地震局科学基金(201404)

作者简介:张琳琳,女,工程师,主要从事地震预测、地震活动性研究。E-mail:zly606@126.com。

and future medium-strong earthquakes has no obvious correlation with the magnitude of corresponding earthquakes. There is also no good relationship between the number of earthquakes in an earthquake swarm and the corresponding ratio. (3) Results using the combined method of $U-K$ and $U-\rho$ are preferable for determining the type of earthquake swarm, and the correct rate accounts for about 32% of all results. Results of analysis provide a reference for determining whether an earthquake swarm has precursory characteristics or not.

Key words: earthquake swarms; parameters characteristics; determination of the precursory swarm; western part of South Tianshan

0 引言

在较短时间内相继发生在局部较小区域内的中小地震集中活动,即为“小震群”。虽然多数震群强度不高,但在时空分布上却高度集中^[1-2],因此引起了众多学者的关注。在中强地震的孕震过程中,携带着震源信息的一些中小地震活动会呈现出由随机无序到规则有序的变化,在时空尺度上表现为一些带有震兆信息的异常活动图像^[3]。震群多数发生在构造应力增强的背景上,是地壳运动增强的一种反应。当大范围地下介质构造应力出现变化时,首先在介质相对薄弱的区域发生显著性地震或是以震群活动的形式表现出来^[4]。那么根据某一地区小地震的集中活动能否判定大地震的孕育和发生?是否具有前兆意义?能否为地震预测提供重要的信息?对于这些问题的解答一直是地震工作者努力研究的方向^[1]。宋治平等^[5]对华北地区 1970 年以来的震群活动进行了研究,结果表明该区震群活动的迁移性与阶段性对强震的中期预测具有一定的指示意义;姜秀娥等^[6]对唐山大震进行了研究,发现震前在震中区外围形成了震群活动环;敖雪明等^[7]对新疆天山近 7 级地震前震群活动的时空演化特征进行了分析,发现多数大震前其震中附近区域震群数量增加并呈现出一定的几何形状分布。目前小震群活动的研究主要分为 3 个方面:一是震群序列本身在强度和时空分布等方面所表现出来的特征研究以及序列的数字地震学参数分析等,从而探寻其与强震孕育发生有关的信息^[8-11];二是较大研究区域范围内的震群丛集现象,从时空整体布局上研究其活动特点,力图寻求它们与周围中强地震间的关系^[5-6,12];三是研究震群发生的物理机制和成因^[13-14],由于不同区域震群活动所处地壳结构和发震断裂的差异,相应震群活动的发生机理也不同。

新疆南天山西段是中强地震较为活跃的地区,其震群活动频度也相对较高。2008—2013 年该区共发生 31 次震群活动,强度以 $M_L 2.0 \sim 3.9$ 为主,震群最大震级多数为 $M_L 3.5$ 左右,而震群活动中震级 $M_L \geq 4.0$ 共 7 次,最大为 $M_L 4.9$,震群序列总频次多数低于 20 次,持续时间大多为 7 天以内。以往对震群活动的研究主要是从时空整体布局上进行分析,试图为中期预报强震发生的区域提供参考信息^[7],而从震群自身出发对其强度和时空分布变化等特征以及震群序列是否具有前兆意义的研究则相对较少。本文系统研究 2008—2013 年新疆南天山西段发生的 31 次震群活动,分析总结震群活动的相关参数特征,探讨研究区内震群活动与附近区域中强地震之间的关系,并分析检验震群是否具有前兆性质的判定指标,以期为该地区震情跟踪和中强地震的预测提供参考依据。

1 资料和方法

本文参照《地震学分析预报方法程式指南》中的相关方法^[15],同时基于《基于 GIS 的地震分析预报系统》软件和相应方法^[16],对新疆南天山西段 2008—2013 年发生的震群活动进行系统整理,并对其相应参数进行计算和分析。

在研究震群与中强地震的关系时,首先要确定筛选震群的标准,但震群的定义因区域和研究问题性质的不同而异,没有统一的定义方法。本文主要结合前人有关震群研究的一些成果^[15,17-19],将满足相应条件的地震序列选取为震群:

(1) 地震序列的震中分布要求位于一定的矩形区域内,其面积一般小于 $2\,500\text{ km}^2$,且该范围内地震分布相对集中,与外围地震分布有明显差异,最大日频次和总频次要求分别 ≥ 3 次和 5 次;

(2) 地震序列中最大震级要求 $3.0 \leq (M_L)_{\max} \leq$

5.2,两次较大震级之间差 $\Delta M_L \leq 1.1$;

(3) 地震序列开始前和结束后连续半个月无 $M_L 1.0$ 以上地震发生,则其第一个地震和最后一个地震所在日分别作为震群序列的起始和终止日。

2 结果与分析

整理和收集了2008年以来新疆南天山西段地区31次小震群活动,其中柯坪块体内12次,喀什—乌恰交汇区19次,新疆境外的震群未作研究。2008年以来新疆南天山西段震群活动的空间分布如图1所示。表1为研究区内震群活动特征和相应参数。

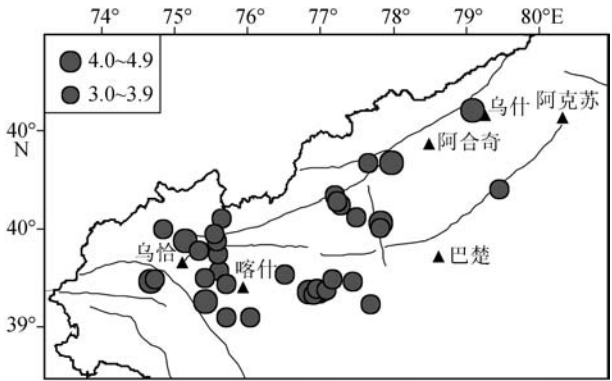


图1 新疆南天山西段小震群活动空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of samll earthquake swarms in western part of South Tianshan

表1 新疆南天山西段震群活动特征及参数一览表

Table 1 Characteristics and parameters of earthquake swarms in western part of South Tianshan

序号	地点	北纬	东经	起止时间	持续 天数	最大 震级 /M _L	总次数/M _L ≥ 1.0/M _L ≥ 2.0/M _L ≥3.0	震群参数				
								U	K	ρ	h	b
1	阿合奇	40°46′	77°39′	2008-03-22	1	3.3	6/6/4/2	1.00	0.58	0.00	1.58	0.43
2	八盘水磨	40°20′	77°16′	2008-07-31	1	3.9	16/16/12/2	0.94	0.53	0.47	0.90	0.51
3	阿图什	39°28′	77°05′	2008-09-10	1	3.3	7/7/6/2	0.50	0.49	0.00	3.50	0.48
4	阿合奇	40°45′	77°56′	2008-10-23	1	4.6	13/13/5/1	0.01	0.01	0.61	3.50	0.56
5	八盘水磨	40°12′	77°29′	2009-01-07	1	3.7	6/6/3/1	0.91	0.06	0.00	3.50	0.61
6	八盘水磨	39°26′	77°00′	2009-01-23	1	3.1	7/7/3/1	0.18	0.28	0.00	3.50	0.52
7	阿图什	40°11′	75°41′	2009-01-24	1	3.4	6/6/4/1	0.39	0.16	0.00	3.50	0.36
8	阿图什	39°31′	75°46′	2009-04-06	1	3.3	16/16/7/2	0.90	0.59	0.59	0.83	0.47
9	八盘水磨	39°28′	77°04′	2009-09-05	1	3.1	9/9/5/1	1.00	0.14	0.58	3.50	0.49
10	八盘水磨	39°34′	77°26′	2009-09-29	1	3.6	8/8/4/2	0.29	0.24	0.50	3.50	0.52
11	八盘水磨	39°26′	76°52′	2010-02-13—14	2	4.6	28/28/5/2	0.24	0.03	0.58	3.50	0.58
12	乌恰	39°31′	74°46′	2010-02-17	1	4.5	12/12/6/3	0.22	0.03	0.62	3.50	0.37
13	乌什	41°17′	79°02′	2010-04-08—10	3	4.6	42/42/12/6	0.54	0.44	0.56	2.47	0.42
14	乌恰	40°04′	74°55′	2010-12-20	1	3.0	5/5/4/1	1.00	0.68	0.00	3.50	1.13
15	柯坪	40°29′	79°24′	2012-01-14—15	2	3.5	10/10/5/1	0.16	0.10	0.53	3.50	0.64
16	喀什	39°11′	75°47′	2012-03-04	1	3.5	10/10/6/4	0.57	0.56	0.46	0.20	0.54
17	阿图什	39°35′	75°29′	2012-03-08	1	3.5	34/34/17/5	0.63	0.67	0.70	3.50	0.45
18	乌恰	39°57′	75°12′	2012-04-03—15	13	4.2	50/50/26/7	0.49	0.67	0.57	0.60	0.55
19	八盘水磨	39°37′	76°32′	2012-05-08	1	3.2	14/14/12/1	0.90	0.24	0.57	3.50	1.19
20	阿图什	39°49′	75°39′	2012-06-08	1	3.7	43/43/22/8	0.80	0.76	0.64	3.50	0.34
21	伽师	39°25′	76°55′	2012-08-30—01	3	3.9	11/11/6/1	0.37	0.02	1.28	3.50	0.76
22	阿图什	40°26′	77°12′	2013-01-01—06	6	3.2	6/6/4/2	0.06	0.48	0.00	0.50	0.77
23	伽师	39°35′	77°10′	2013-01-07—12	6	3.2	12/12/4/1	0.57	0.41	0.88	0.20	0.55
24	普昌断裂	40°09′	77°48′	2013-02-18—24	7	4.9	16/16/9/4	0.06	0.54	0.43	3.00	0.29
25	乌恰	39°57′	75°38′	2013-03-07—08	2	3.3	25/25/4/1	0.97	0.18	0.78	3.50	0.73
26	乌恰	39°33′	74°49′	2013-06-09—10	2	3.5	19/19/10/4	0.09	0.72	0.72	3.50	0.43
27	伽师	39°29′	76°58′	2013-06-19—23	5	3.3	14/14/9/2	0.89	0.67	0.94	3.50	0.59
28	乌恰东	40°02′	75°36′	2013-06-22—01	10	3.5	12/12/9/2	0.94	0.12	0.77	3.50	0.78
29	疏附	39°20′	75°30′	2013-09-27—28	2	4.2	13/13/11/3	0.80	0.09	0.57	3.50	0.68
30	阿图什	40°22′	77°14′	2013-12-03—10	8	3.9	49/49/29/7	0.88	0.71	0.49	3.50	0.65
31	疏附	39°39′	75°41′	2013-12-14—25	12	3.8	20/20/13/4	0.01	0.78	0.97	2.90	0.36

注:表中U、K、ρ、h、b,见“基于GIS的地震分析预报系统”,2002

2.1 资料选取

本文所采用地震资料均取自新疆区域地震台

网的地震目录。由于新疆南天山西段是中小地震频发区域,2008年以后区域地震台网数字化记录

仪器逐渐普及,且台站设置密度加大,所获取资料的一致性相对较好,因此本文将研究区设为新疆南天山西段,研究时段为 2008—2013 年,按照震群筛选条件进行小震群的收集和整理,对其活动的时空分布特征以及震群自身相应参数指标等进行分析研究,并探讨小震群活动与中强地震之间的关系,同时还对震群是否具有前兆意义的判定指标进行检验。

2.2 小震群活动时空分布特点

新疆南天山西段是新疆天山构造带的一个分支,主要包括柯坪推覆构造和喀什山前拗陷活动构造带。柯坪推覆构造长约 300 km、宽 65~75 km,内部发育晚第四纪活动断裂,横向上由多排近平行的 NEE 向褶皱带构成;纵向上由北向南逆冲的奥依布拉克、科布克三山、皮羌山、奥兹格尔特乌和柯坪塔格共 5 排褶皱带构成向西倾伏的鼻状构造。南天山西段地下介质构造复杂^[20-21],尤其是喀什—乌恰交汇区中强地震活动水平较高,因此,对研究区内小震群活动与中强地震之间的关系进行研究,可以进一步为该区的震情跟踪和趋势判定提供参考依据。

新疆南天山西段震群活动空间分布(图 1)主要有以下几个特点:(1)震群相对集中分布在喀什—乌恰交汇区,即喀什山前拗陷活动构造带附近,该地区也是强震频发区。分布在南天山西段两端的震群活动分别为 2010 年 4 月 8 日乌什 $M_L4.6$ 震群和 2010 年 2 月 17 日乌恰 $M_L4.5$ 震群。(2)由表 1 分析其震群强度可以看出,2008 年以来新疆南天山西段共发生 M_L3 震群 24 次, M_L4 震群 7 次,其中最大一次震群为 2013 年 2 月 18 日普昌断裂 $M_L4.9$ 震群,最小一次为 2010 年 12 月 20 日乌恰 $M_L3.0$ 震群。研究区内震群活动强度均在 $M_L1.0\sim4.9$ 之间,并以 $M_L2.0\sim3.9$ 地震为主;其中最大震级均在 $M_L3.0\sim4.9$ 范围内,多数为 $M_L3.5$ 左右,震群活动强度相对较大。(3)从震群序列的总频次来看(表 1),总频次低于 20 的震群居多,研究区内 31 次震群,总频次为 5~20 有 24 次,占 77%;其余的为 21~50 次,总频次为 50 的仅 1 次。(4)由表 1 可以看出震群活动的持续时间特征,持续 1~7 天的有 27 次,占 87%,其中震群活动集中发生在 1 天以内的有 16 次;其余震群活动持续时间为 8~15 天,最长的是 2012 年 4 月 3—15 日乌恰 $M_L4.2$ 震群,持续时间为 13 天。

总之,震群序列中小地震总频次和震群持续时

间与震群的最大震级之间不存在直接的相关性,新疆南天山西段的喀什—乌恰交汇区尤其是乌恰附近震群活动一般持续时间长、频次较多、其最大震级相对较大、在原地频繁重复发生的现象也较多,这可能与强震频发区域中强地震发生之后地下介质破碎,受区域应力场增强的影响较大有关。

2.3 新疆南天山西段小震群与中强地震关系

参照文献[15]中震群与中强地震的对应关系,同时结合新疆南天山西段中强地震活动强度较大的特点,本文将研究区内小震群活动发生后 2 个月内、周围 500 km 范围内发生的 5 级以上中强地震作为其对应地震。由于研究区 31 次震群中,多数震群活动持续时间较短且原地重复性较大,根据地点和时间相似度将其分为 20 组,震群发生后 2 个月内发震的有 15 次,其对应比率达 75%,而 2008 年 3 月—2013 年 12 月,研究区内共发生 $M5.0$ 以上中强地震 16 次。由表 2 可以看出,地震对应率为 81.3%,其中震群活动结束距发震时间间隔最短的仅 1 天,即 2012 年 3 月 8 日阿图什 $M_L3.5$ 震群发生后 1 天,2012 年 3 月 9 日在洛浦发生了 6.0 级地震,这次小震群小震活动频次达 34,震群活动与主震相距 500 km。从研究区内震群与相对应的中强地震位置来看,15 次后 2 个月内对应中强地震的震群中,100 km 范围内有中强地震发生的 3 次,100~200 km 有 4 次,200~300 km 占 3 次,其余发生在 300~500 km。小震群活动结束后发生的中强地震震中距最近的为 30 km,分别为 2012 年 4 月 3—15 日乌恰 $M_L4.2$ 震群后 47 天,在相距 30 km 的乌恰发生了 $M5.0$ 地震;以及 2013 年 2 月 18 日—3 月 8 日普昌断裂 $M_L4.9$ 成组震群活动后,在相距 30 km 的阿图什发生了 $M5.2$ 地震。从研究区内震群活动强度与中强地震的对应关系来看(表 1、2),研究区内震群活动主要以 $M_L2.0\sim3.9$ 为主,按照分组后震群活动统计,震群序列中最大震级在 $M_L4.0$ 以上的有 6 次,其中 5 次有中强以上地震对应发生,对应中强地震的最大震级为 $M5.3$;而最大震级在 $M_L3.5\sim3.9$ 的共 9 次,5 次对应了 5 级以上中强地震,所对应中强地震中最大震级为 $M6.8$;最大震级处于 $M_L3.0\sim3.5$ 的共 5 次,有 4 次 5 级以上中强地震对应发生,最大震级为 $M6.1$ 。从震群频次与对应中强地震强度关系的分析来看,2008 年 10 月 5 日乌恰 6.8 级地震前阿图什震群频次仅为 7,而 2010 年 6 月 10 日乌恰 5.2 级地震前乌什震群的总频次达到

42,因此震群频次多少与其后对应的中强地震强度不相关。对震群活动持续时间长短与未来中强地震强度大小的对应关系进行分析(图 2),可以看出二者之间关联性不大。研究区内震群持续时间多为 1~7 天,最长为 13 天,即 2012 年 4 月 3—15 日乌恰震群,其后对应的中强地震为 2012 年 6 月 1 日乌恰 5.0 级地震,而 3 次 6 级地震之前相应震群活动持续时间均在 7 天以内。将震群活动分组后,可以看出震群活动与后续中强地震并非一一对应,有些其后对应发生的中强地震不止一次,部分中强地震前震

表 2 新疆南天山西段震群类型及其与中强地震的关系统计表

Table 2 The type of earthquake swarm and its relationship with moderate-strong earthquakes in the study area																
序号	震群名称	U-K组合	检验	U-ρ组合	检验	K-ρ组合	检验	U-K-ρ组合	检验	全组合	检验	相应的中强地震			ΔT/d	ΔS/km
												时间	地点	震级		
1	阿合奇	非前兆	✓	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	2008-10-05	乌恰	6.8	65	290
2	八盘水磨	非前兆	×	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓				25	260
	阿图什	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×					
3	阿合奇	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	2009-02-20	柯坪	5.4	45	110
	八盘水磨	非前兆	×	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				28	190
4	八盘水磨	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				27	250
	阿图什	非前兆	×	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	2009-04-22	阿图什	5.0	17	140
5	阿图什	非前兆	×	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×					
	八盘水磨	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓					
6	八盘水磨	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	2010-03-02	阿合奇北	5.2	17	360
	八盘水磨	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				13	340
7	乌恰	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				61	390
8	乌什	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	2010-06-10	乌恰	5.2	12	70
9	乌恰	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	非前兆	×				54	200
10	柯坪	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×					
	喀什	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	2012-03-09	洛浦	6.0	5	480
11	阿图什	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				1	500
12	乌恰	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	2012-06-01	乌恰	5.0	47	30
13	八盘水磨	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				24	140
14	阿图什	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				64	220
15	伽师	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	2012-08-11	阿图什	5.2		
	阿图什	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓				23	320
16	伽师	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				18	400
	普昌断裂	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	2013-01-29	哈萨克 斯坦	6.1	15	26
17	乌恰	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				3	160
	乌恰	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				20	130
18	伽师	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	2013-03-11	中塔交界	5.0	8	320
	乌恰东	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				1	230
19	疏附	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×				63	320
20	阿图什	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	2013-06-30	柯坪	5.3		
	疏附	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓					

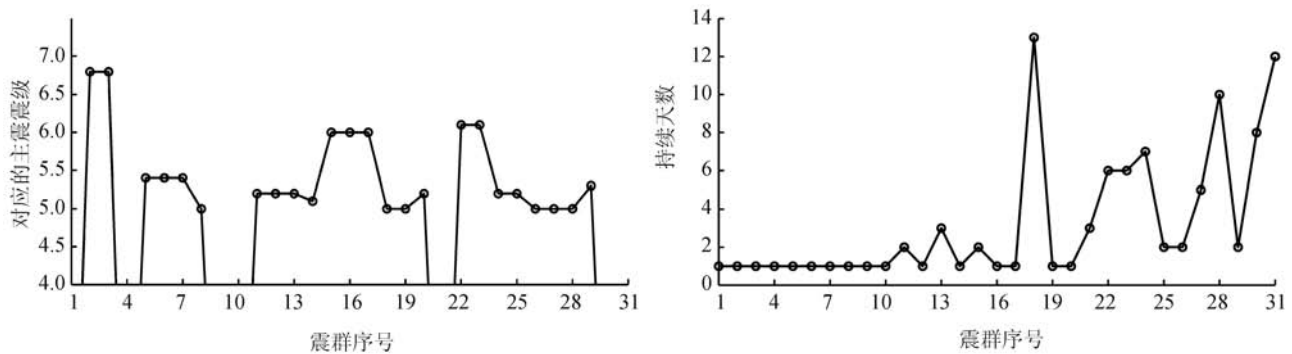


图 2 震群持续时间与对应主震震级

Fig.2 The duration of earthquake swarm and magnitude of corresponding mainshock

群活动也并非一次(表 2),2012 年 3 月的一组震群活动(喀什和阿图什震群)后均有 2 次中强地震相对

应。从表 3 中可以看出,有 8 次中强地震前震群个数大于 2,占研究区内所对应中强地震总数的 62%。

表 3 研究区中强地震前震群活动次数统计表

Table 3 Statistics of number of earthquake swarms before medium-strong earthquakes in the study area

序号	发震时间	地点	震级	震群次数	序号	发震时间	地点	震级	震群次数
1	2008-10-05	乌恰	6.8	2	8	2012-06-01	乌恰	5.0	3
2	2009-02-20	柯坪	5.4	3	9	2012-08-11	阿图什	5.2	1
3	2009-04-22	阿图什	5.0	1	10	2013-01-29	哈萨克斯坦	6.1	2
4	2010-03-02	阿合奇北	5.2	2	11	2013-03-11	阿图什	5.2	2
5	2010-06-10	乌恰	5.2	1	12	2013-06-30	中塔交界	5.0	3
6	2011-01-01	乌恰	5.1	1	13	2013-12-01	柯坪	5.3	1
7	2012-03-09	洛浦	6.0	2					

由以上分析可知,将震群发生后 2 个月内、周围 500 km 内发生的 5 级以上中强地震视为对应地震,同时将研究区内震群活动分为 20 组,其后发震的有 15 组,对应比率达 75%。因此,新疆南天山西段地区震群活动是研究区及其周围中强地震发生的一个中短期异常指标。但震群活动与未来中强地震的距离大小不确定,30~500 km 都有可能。震群强度和频次均与其后发生的中强地震对应率高低以及中强地震震级之间没有明显的相关性;震群活动持续时间长短与所对应中强地震强度之间的关联性也不大。研究区内震群活动与未来对应的中强地震之间并非简单的一一相对应。2008 年以来研究区及其周围发生了 13 次 5 级以上中强地震,其中 8 次地震前都发生了 2 次以上的震群活动。上述分析结果表明,当研究区内震群活动出现连发状态时,则表明研究区及其附近区域 2 个月内存在发生 5 级以上中强地震的可能性。

2.4 前兆震群识别及检验

新疆南天山西段作为小震群活动的集中区域,其震群活动是否与中强地震的孕育和发生存在相关性?前兆震群的判断可以为未来中强地震的预测提供参考依据,许多学者关于震群是否具有前兆性提出了不少判定指标,如 U 、 K 、 ρ 、 b 、 h 等。参照文献[19],利用多项综合指标判定震群是否具有前兆意义的效果优于单项指标。前兆震群的综合性判定指标有 U - K 组合、 U - ρ 组合、 K - ρ 组合和 U - K - ρ 组合等。根据研究区内小震群活动特征,其前兆震群的判别标准为:(1) U - K 组合:即 $U>0.5$, $K>0.60$,则判定为 U - K 型前兆震群;(2) U - ρ 组合:其中 $U>0.5$, $\rho<0.55$,则判定为 U - ρ 型前兆震群;(3) K - ρ 组合:若 $K>0.60$, $\rho<0.55$,则判定为 K - ρ 型前兆震群;(4) U - K - ρ 组合: $U>0.5$, $K>0.60$, $\rho<0.55$,则判定为 U - K - ρ 型前兆震群;(5)全组合:即 $U>0.5$,

$K>0.60$, $\rho<0.55$, $h<1.0$, $b>0.65$ 中满足任意 3 项者,则判定为前兆震群。

根据以上 5 种组合指标分别对震群的类型进行判定,并对其后发生的中强地震对应情况进行检验,以寻求研究区内不同震群类型与中强地震之间的关系,探索出较好的判定震群类型的指标。即如果震群被判定为前兆震群,震群活动后并发生了符合前述判定标准的对应地震,则认为检验是正确的,否则判定为不正确;然而如果震群活动结束后判定为非前兆震群,其后又没有中强地震对应,则认为检验是正确的,反之是错误的。

从表 2 可以看出,采用 U - K 组合指标检验正确的有 10 次(10/31),相对总数比例达到 32%; U - ρ 组合检验正确的有 10 次(10/31),占总数的比率与 U - K 组合相同; K - ρ 组合检验正确的共 8 次(8/31),占总数的 26%; U - K - ρ 组合判定指标检验正确的次数和占总数的百分比与 K - ρ 组合相同;采用全组合指标判定震群的前兆性,其后检验正确的有 9 次(9/31),占总数的 29%。由此可见,研究区内判定震群是否具有前兆性采用 U - K 或 U - ρ 组合效果相对较好,检验正确的次数相对于其他组合较高,可以为震群活动结束后中强地震的发生和趋势判定提供参考文献。但是由于研究时段和研究区域的局限性,样本量个数相对不完整,仅仅通过前兆震群的判别来判定后续中强地震是否发生,在新疆南天山西段区域检验效果并不理想,需要结合其他前兆预测手段和方法进行分析研究。

3 结论

本文研究了新疆南天山西段 2008—2013 年内 31 次震群活动数据资料,分析了震群活动的参数特征,探讨了震群活动与其后中强地震间的关系,并分析检验了判定震群是否具有前兆性的指标,得出如

下结论:

(1) 新疆南天山西段是震群活动相对集中区域,震群活动强度较大,最大一次为 2013 年 2 月 18 日普昌断裂 $M_L 4.9$ 震群,震群序列中最大震级均在 $M_L 3.0 \sim 4.9$ 范围内,总频次低于 20 的震群居多,震群活动持续时间在 7 天以内的共 27 次,占总数的 87%;震群序列中地震总频次和震群持续时间与其最大震级之间不成正比。

(2) 将震群发生后 2 个月内、周围 500 km 范围内发生 5 级以上中强地震视为对应地震,研究区内 75% 的震群发生两个月后对应 $M 5.0$ 以上中强地震。

(3) 震群活动与未来所对应中强地震的距离不确定,30~500 km 范围内都有可能。震群强度的大小和频次的多少均与其后发生的中强地震对应率高低以及中强地震震级之间没有明显的相关性;震群活动持续时间与对应地震的强度之间关联性也不大。

(4) 研究区内震群活动与未来对应的中强地震之间并非简单的一一相对应。2008 年以来研究区及其周围发生的 13 次 5 级以上中强地震中 8 次地震前都发生了 2 次以上的震群活动。

(5) 研究区内判定震群是否具有前兆性采用 $U-K$ 或 $U-\rho$ 组合效果相对较好,检验正确的次数相对于其他组合较高。但是由于研究区域和研究时段的局限性,样本量个数也相对不完整,仅仅通过前兆震群的判别来预测中强地震的发生,在新疆南天山西段区域检验效果并不理想,需要结合其他震前异常提取和预测方法进行分析研究。

致谢:感谢新疆地震局监测中心为本文提供研究数据。

参考文献(References)

- [1] 崔子健,李志雄,陈章立,等.小震群序列类型判定方法研究的现状及相关问题研究的趋势[J].国际地震动态,2011(6):32-40.
CUI Zi-jian, LI Zhi-xiong, CHEN Zhang-li, et al. The Current Research Situation in Judging the Type of a Small Earthquake Swarm and Research Trend in Relevant Issues[J]. Recent Developments in World Seismology, 2011(6):32-40. (in Chinese)
- [2] 黄耘,孙业君,叶碧文,等.江苏及邻区震群活动成因探讨[J].防灾减灾工程学报,2011,31(6):695-699.
HUANG Yun, SUN Ye-jun, YE Bi-wen, et al. Causes of Earthquake Swarms in Jiangsu and Neighboring Areas[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2011, 31(6): 695-699. (in Chinese)
- [3] 冀东普,郑建常,李冬梅,等.山东东部及近海地区中等以上震例前地震活动性参数群体异常研究[J].华北地震科学,2011,

29(3):28-33.

- Ji Dong-pu, ZHENG Jian-chang, LI Dong-mei, et al. A Study on Group Anomalies of Seismic Activity Parameters before Moderate Earthquakes in the Eastern Shandong and Its Off-shore Areas [J]. North China Earthquake Sciences, 2011, 29(3):28-33. (in Chinese)
- [4] 黄耘,孙业君,杨云,等.江苏及邻区震群活动特征分析[J].中国地震,2011,27(1):72-82.
HUANG Yun, SUN Ye-jun, YANG Yun, et al. The Characteristics of Earthquake Swarms in Jiangsu Province and its Adjacent Area [J]. Earthquake Research in China, 2011, 27(1): 72-82. (in Chinese)
- [5] 宋治平,徐平,薛艳.华北地区震群活动的阶段性特征[J].地震,2001,21(1):47-52.
SONG Zhi-ping, XU Ping, XUE Yan. Stage-by-stage Characteristics of Earthquake Swarm Activity in the North China Region [J]. Earthquake, 2001, 21(1): 47-52. (in Chinese)
- [6] 姜秀娥,陈非比.区域震群与唐山大震[J].地震学报,1983,5(2):146-156.
JIANG Xiu-er, CHEN Fei-bi. The Relationship of Regional Swarms and Tangshan Earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 1983, 5(2): 146-156. (in Chinese)
- [7] 敖雪明,龙海英,王桂岭.新疆天山近 7 级地震前震群活动的时空分布演化特征[J].地震,2010,30(4):124-132.
AO Xue-ming, LONG Hai-ying, WANG Gui-ling. Evolving Characteristics of Swarm Distribution before $M 7$ Earthquakes in the Tianshan Area, China [J]. Earthquake, 2010, 30(4): 124-132. (in Chinese)
- [8] 刘正荣,孔昭麟.地震频度衰减与地震预报[J].地震研究,1986,9(1):1-12.
LIU Zheng-rong, KONG Zhao-lin. The Earthquake Frequency Attenuation and Earthquake Prediction [J]. Journal of Seismological Research, 1986, 9(1): 1-12. (in Chinese)
- [9] 陆远忠,宋俊高,戴维乐.一个判断震情的指标——震群 U 值[J].地震学报,1984,6(增刊):495-508.
LU Yuan-zhong, SONG Jun-gao, DAI Wei-le. The Index for Judging Seismic Condition—— U Value of Earthquake Swarm [J]. Acta Seismologica Sinica, 1984, 6(Suppl): 495-508. (in Chinese)
- [10] 蔡静观,王兴辉,雷素华,等.云南地区各类前震序列时-空-强特征和地震波特征[J].地震学报,1994,16(增刊):39-46.
CAI Jing-guan, WANG Xing-hui, LEI Su-hua, et al. The Time-Space-Strength and Seismic Characteristics of All Kinds of Sequence before the Earthquake in Yunnan Area [J]. Acta Seismologica Sinica, 1994, 16(Suppl): 39-46. (in Chinese)
- [11] 孙文福,焦明若,李芳,等.辽宁地区震群序列特征及其分类的研究[J].东北地震研究,2005,21(4):23-31.
SUN Wen-fu, JIAO Ming-ruo, LI Fang, et al. Study on Characteristics of Earthquake Swarm Sequences Occurred in Liaoning Region and its Classification [J]. Seismological Research of Northeast China, 2005, 21(4): 23-31. (in Chinese)
- [12] 刘西林,刘涛涛,郑建常,等.山东及其近海小震群活动特征研

究[J].防灾减灾工程学报,2007,27(4):457-464.

LIU Xi-lin, LIU Tao-tao, ZHENG Jian-chang, et al. Study on the Characteristics of the Small Seismic Swarms Occurring in Shandong Province and Its Nearby Ocean Floor[J]. Journal of Disaster Prevent and Mitigation Engineering, 2007, 27(4): 457-464. (in Chinese)

[13] 李兴才,冯树文.震群活动的一种可能的触发机制[J].地震学报,1983,5(3):297-303.

LI Xing-cai, FENG Shu-wen. A Possible Trigger Mechanism of Earthquake Swarm Activity[J]. Acta Seismologica Sinica, 1983, 5(3): 297-303. (in Chinese)

[14] 顾浩鼎.海城地震前的地震学研究[J].地震学报,1982,4(4): 208-215.

GU Hao-ding. Seismic Study before Haicheng Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1982, 4(4): 208-215. (in Chinese)

[15] 国家地震局科技监测司.地震学分析预报方法程序指南[M].北京:地震出版社,1990.

Department of Science, Technology and Monitoring, State Seismological Bureau. The Program Guide of Seismological Analysis and Prediction Methods[M]. Beijing: Seismological Press, 1990. (in Chinese)

[16] 陆远忠,李胜乐,邓志辉,等.基于 GIS 的地震分析预报系统 [M].成都:成都地图出版社,2002.

LU Yuan-zhong, LI Sheng-le, DENG Zhi-hui, et al. The Seismic Analysis and Prediction System Based on GIS [M]. Chengdu: Chengdu Map Press, 2002. (in Chinese)

[17] 朱传镇,付昌洪,罗胜利.震群与大地震关系的研究[J].地震学报,1981,3(2):105-117.

ZHU Chuan-zhen, FU Chang-hong, LUO Sheng-li. Study on the Relationship of Earthquake Swarms and Strong Earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica, 1981, 3(2): 105-117. (in Chinese)

[18] 宋俊高,陆远忠,施玉芳,等.震群用于地震预报的实用程式研究[C]//国家地震局.地震预报方法实用化研究文集——地震学专辑.北京:学术书刊出版社,1989:204-228.

SONG Jun-gao, LU Yuan-zhong, SHI Yu-Fang, et al. The Practical Program Research on the Application of Earthquake Swarms in Earthquake Prediction [C]//State Seismological Bureau. Proceedings of Research Symposium of Application of Seismological Prediction Methods: A Special Collection of Seismology. Beijing: Academic Books Press, 1989: 204-228. (in Chinese)

[19] 国家地震局科技监测司.测震学分析预报方法[M].北京:地震出版社,1997:105-108.

Department of Science, Technology and Monitoring, State Seismological Bureau. Seismometrical Analysis and Prediction Methods[M]. Beijing: Seismological Press, 1997: 105-108. (in Chinese)

[20] 高国英,聂晓红,龙海英.近期新疆震源机制解与地震活动特征研究[J].西北地震学报,2012,34(1):57-63.

GAO Guo-ying, NIE Xiao-hong, LONG Hai-ying. Research on the Characteristics of Recent Focal Mechanism Solution and Seismic Activity in Xinjiang Area[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(1): 57-63. (in Chinese)

[21] 周铭,李红谊,李信富,等.新疆地区地壳 S 波速度结构及径向各向异性研究[J].地震工程学报,2014,36(4):1047-1058.

ZHOU Ming, LI Hong-yi, LI Xin-fu, et al. Crustal S-wave Velocity Structure and Radial Anisotropy in Xinjiang Region[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(4): 1047-1058. (in Chinese)