

段绍鑫, 张森, 邓明文, 等. 2020年1月16日库车 $M_s5.6$ 地震前库尔勒地震台部分资料异常特征[J]. 华南地震, 2021, 41 (1): 65–72. [DUAN Shaoxin, ZHANG Sen, DENG Mingwen, et al. Characteristics of Some Data Anomalies at Korla Seismic Station before Kuche $M_s5.6$ Earthquake on January 16th, 2020[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(1): 65–72]

2020年1月16日库车 $M_s5.6$ 地震前库尔勒地震台 部分资料异常特征

段绍鑫, 张 森, 邓明文, 刘青山, 张小飞, 李姗姗
(新疆维吾尔自治区地震局库尔勒地震台, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 2020年1月16日新疆库车县发生 $M_s5.6$ 地震, 地震发生后对库尔勒地震台部分资料出现的中短期异常进行识别分析。得出, 地震发生前“库米什地震窗” $M_L \geq 1.0$ 级地震月频次出现高值异常, 库尔勒台尾波持续时间比值、尾波衰减系数、周期比值出现低值异常, 库尔勒台时间扫描计算 AC 值、 $A(b)$ 值、 $P(b)$ 值、最小二乘法 b 值等4个参数超限, 这些中短期异常与库车 5.6 级地震对应较好。

关键词: 库车 $M_s5.6$ 地震; 库米什地震窗; 地震波参数; 地震学参数时间扫描

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2021)01-0065-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.01.09

Characteristics of Some Data Anomalies at Korla Seismic Station before Kuche $M_s5.6$ Earthquake on January 16th, 2020

DUAN Shaoxin, ZHANG Sen, DENG Mingwen, LIU Qingshan,
ZHANG Xiaofei, LI Shanshan

(Korla Seismic Station, Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Korla 841000, China)

Abstract: The $M_s5.6$ earthquake occurred in Kuche County, Xinjiang on January 16th, 2020. After the earthquake, the medium and short term anomalies in some data from Korla Seismic Station were identified and analyzed. It is concluded that the monthly frequency of earthquakes with $M_L \geq 1.0$ in the "Kumishi seismic window" has high value anomaly before the earthquake, and the ratio of coda duration time, coda attenuation coefficient and period ratio of The Korla Station appears low value anomaly; the four parameters such as AC value, $A(b)$, $P(b)$ value and least square method b value calculated by time scanning of Korla Station are beyond the limits. These medium and short term anomalies correspond well with the Kuche $M_s5.6$ earthquake.

Keywords: Kuche $M_s5.6$ earthquake; Kumishi seismic window; Seismic wave parameters; Time scanning of seismological parameters

收稿日期: 2020-01-10

作者简介: 段绍鑫(1990-), 男, 本科, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: 936818813@qq.com

0 引言

根据中国地震台网测定, 2020 年 01 月 16 日 16 时 32 分 38 秒(北京时间)在新疆阿克苏地区库车县发生 5.6 级地震, 微观震中位置为 41.21°N、83.60°E, 震中深度 16 km; 震中距离沙雅县城 69 km, 库车县城 78 km, 乌鲁木齐市 438 km。震源区周围 200 km 范围内近 5 年来发生 3 级以上地震共 141 次(图 1), 最大地震为 2017 年 9 月 16 日库车 5.7 级地震, 这些地震集中分布在震中北侧, 震中南侧为塔克拉玛干沙漠, 地震活动较弱。

从地震发生位置来看, 震中位于南天山中东段, 塔里木盆地北缘, 发震构造为近东西向的早

更新世断层—尉犁隐伏断层, 震中北侧构造运动较为复杂, 有牙哈隐伏断裂、东却勒塔格断裂、秋里塔格断裂等, 断层性质多为逆断^[1](图 1)。根据新疆台网 60 个台站记录到的清晰 P 波初动结果, 计算得到库车 $M_s5.6$ 地震震源机制解, 表 1 给出来源不同的震源机制解结果, 结果一致均为走滑型断裂。库车 $M_s5.6$ 地震为主震—余震型, 最大余震为 1 月 19 日 $M_L3.9$ 地震, $M_L\geq 1.0$ 余震主要分布在震源区 15 km 范围内, 总体呈近东西向展布, 与发震构造尉犁隐伏断裂走向基本一致。本文主要对库车 5.6 级地震前部分测震学异常进行分析, 总结中强地震前的异常特征, 以期为今后地震预测提供震兆信息。

表 1 2020 年 1 月 16 日库车 $M_s5.6$ 地震震源机制解
Table 1 Focal mechanism solution of the Kuche $M_s5.6$ earthquake on January 16th, 2020

节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		结果来源
走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
253°	87°	17°	163°	73°	177°	27°	10°	119°	14°	261°	72°	本文计算
64°	81°	-32°	159°	59°	-170°	17°	28°	115°	15°	230°	57°	USGS
237°	89°	-7°	327°	82°	-179°	192°	5°	282°	5°	57°	82°	万永革等 Seismology 小组

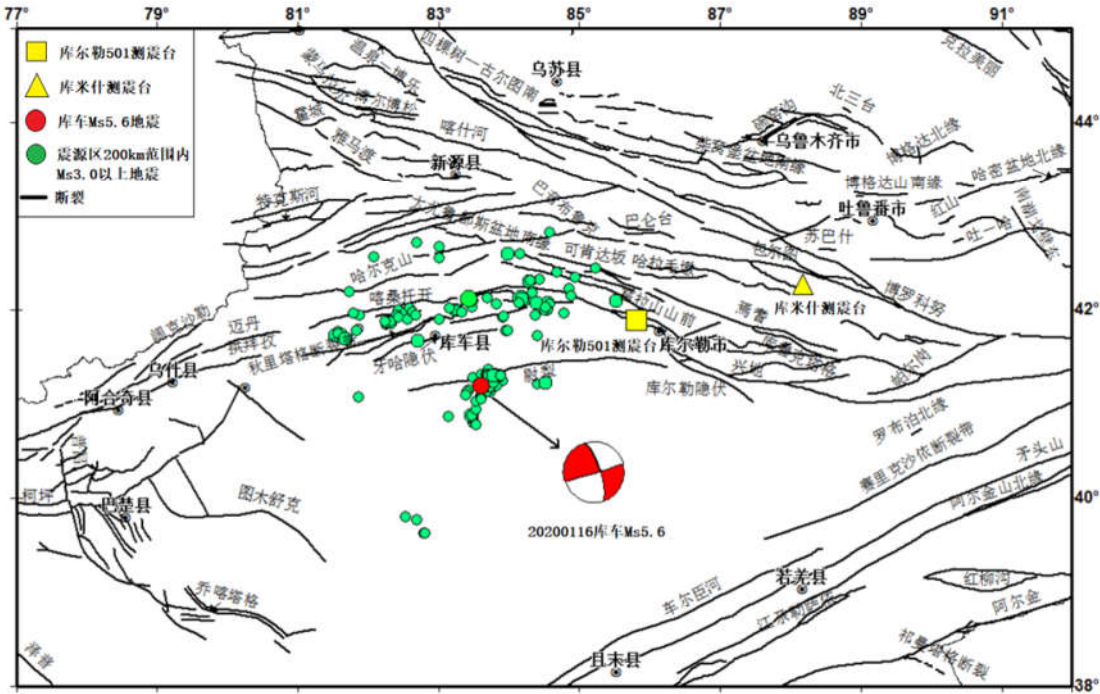


图 1 库车地震区域构造及震源机制解
Fig.1 Regional structure and focal mechanism solution of Kuche earthquake

1 数据选取

库尔勒 501 测震台自 2007 年 12 月架设开始

观测, 仪器状态良好, 基本无断记情况; 库米什测震台自 2008 年以来使用数字化地震仪记录数据, 仪器运行稳定。运用单台小震优势分布法、

$\log N-M$ 法和 b 值算法对库尔勒 501 测点和库米什测点进行单台控震能力计算,并用 $M-\Delta$ 法验证结果,得到库尔勒 501 测震台 0~100 km、101~200 km、201~300 km 内的监测能力分别为 $M_L 1.2$ 、 $M_L 1.7$ 、 $M_L 2.1$;库米什测震台 0~100 km、101~200 km、201~300 km 内的监测能力分别为 $M_L 0.6$ 、 $M_L 1.3$ 、 $M_L 1.7$ [2]。

“库米什地震窗”以库米什测震台为中心,选取 2008 年以来 100 km 范围内 $M_L \geq 1.0$ 地震作为研究资料,分析 $S-P \leq 10$ s 范围内 $M_L \geq 1.0$ 小震的月

频次;库尔勒单台地震波参数以库尔勒 501 测震台为中心,选取 2012 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 29 日期间距离台站 80~250 km 范围内 $M_L \geq 2.0$ 且震相清晰、干扰较小的地震作为研究资料;库尔勒台地震学参数时间扫描计算以库尔勒 501 测震台为中心,选取 2012 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 29 日期间距离台站 0~250 km 范围内 $M_L \geq 2.0$ 且震相清晰、干扰较小的地震作为研究资料;计算中数据选择的具体范围如图 2 所示。

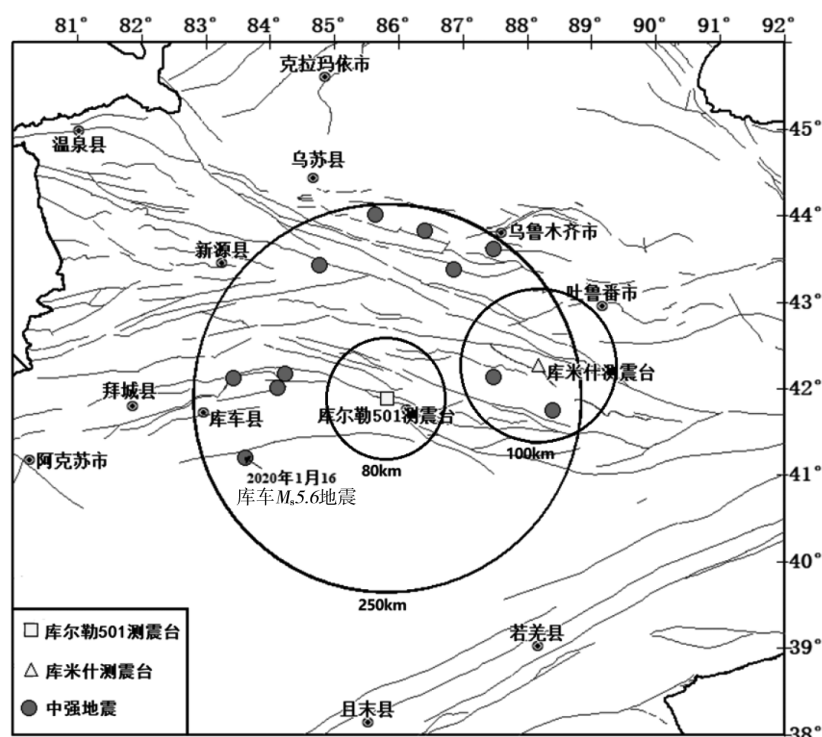


图 2 数据选取范围及库尔勒 501 测震台 250 km 范围内中强地震空间分布

Fig.2 Data selection range and spatial distribution of moderate and strong earthquakes within 250 km of Korla 501 Seismic Station

2 “库米什地震窗”异常特征

“地震窗”的地震活动可用来表征区域构造应力场,即主要通过弱震活动形式来反映区域应力场变化的特殊构造部位。

“库米什地震窗”位于北天山地震带,历史活动水平较高,1600 年以来,史料记载该区曾发生过 32 次 6 级以上地震,其中 6 级地震 25 次;7 级地震 6 次;8 级地震 1 次。2008 年以来,发现该区域微震,小震活动频繁,并且这些小震活动与北天山地区中强地震间具有一定的相关性。“库米什地震窗”构造区主要位于博罗科努—阿其克库都克断裂、伊犁盆地北缘、包尔图断裂和焉耆

断裂等交汇区,这些断层性质主要以右旋走滑和逆冲为主(图 3),周围地下构造背景复杂 [3]。

张琳琳、敖雪明等人通过普查与系统研究,根据历史震例和异常最佳对应原则,定义小震月频次 ≥ 54 次为“库米什地震窗”的异常标准,优势对应区域为天山中部地区,优势发震时间为 6 个月,地震震级 ≥ 5.5 ,“库米什地震窗”对应中强地震效果好,通过 R 值评分统计检验,具有较高的短期预报效能 [3]。

2008 年以来,“库米什地震窗”小震月频次共出现 10 次高值异常,在其后 6 个月内对应了 8 次中强地震(表 2),异常对应比例 80%,由此可见

“库米什地震窗”的映震效果比较好。2019 年 9 月份,“库米什地震窗”小震月频度为 61 次,超过了异常标准值,出现高值异常,在间隔 3.5 个月

于 2020 年 1 月 16 日发生库车 5.6 级地震,此次高值异常很好的对应了库车 5.6 级地震,异常形态为“高值—低值—发震”(图 4)。

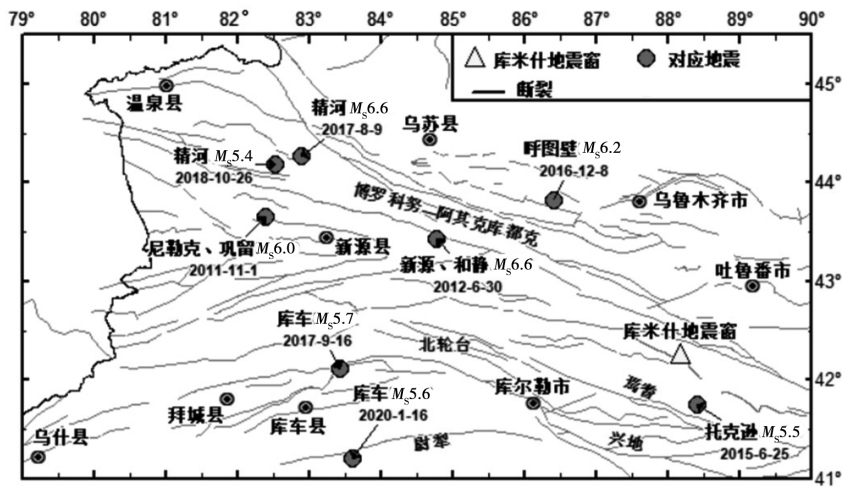


图 3 北天山地震带及震情窗口位置分布

Fig.3 North Tianshan seismic belt and location distribution of seismic window

表 2 “库米什地震窗”小震月频次异常与地震间的对应关系

Table 2 The corresponding relationship between the monthly frequency anomalies of small earthquakes in the "kumishi seismic window" and earthquakes

异常月份 T_1 (年-月)	发震月份 T_2 (年-月)	对应地震	$(T_2 - T_1)/\text{月}$	震中距/km
2011-06	2011-11-01	尼勒克 $M_s6.0$	4.0	489
2012-04	2012-06-30	新源—和静 $M_s6.6$	2.0	306
2015-02	2015-06-25	托克逊 $M_s5.5$	4.0	60
2016-07	2016-12-08	呼图壁 $M_s6.2$	4.3	227
2017-04	2017-08-09	精河 $M_s6.6$	3.3	490
2017-08	2017-09-16	库车 $M_s5.7$	0.5	390
2018-09	2018-10-26	精河 $M_s5.4$	1.0	500
2019-09	2020-01-16	库车 $M_s5.6$	3.5	397

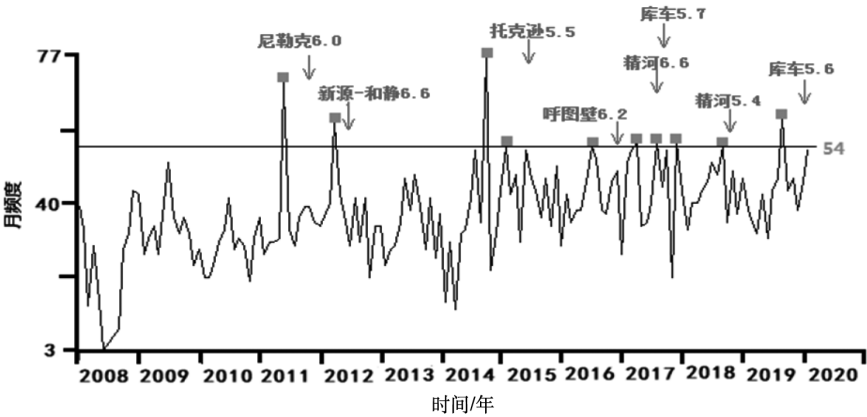


图 4 “库米什地震窗”小震月频度与中强地震间的对应关系

Fig.4 The corresponding relationship between the monthly frequency of small earthquakes in "kumishi seismic window" and moderate and strong earthquakes

3 库尔勒台地震波参数异常特征

国内外许多地震学者的研究表明：在地震的孕育过程中，震源区及其周围介质会随应力的增强与释放而发生一系列相应的变化，如裂隙的增多、串通与闭合等，这将导致在该介质中传播的地震波的动力学特性发生改变^[4]。冯德益等人的研究表明，在波速异常期间，地震波的一些动力学特征如振幅、周期等均可能发生变化^[4-6]。王筱荣、曲延军、李志海、杨欣等研究发现在中强地震前震区附近地震的振幅比、尾波持续时间、尾波衰减系数等地震波参数出现不同程度的异常，可以利用地震波参数进行短临跟踪和短临预报^[7-11]。

3.1 尾波持续时间比 τ 值

松散介质对波的吸收率大于塑性介质对波的吸收率。随着应力的增加和孕震区介质性质的改变，地震波的特性也将发生变化，即地震波衰减减弱。利用 τ 值来表征其变化，规定 S 初动至尾波衰减到震前几分钟最大噪声的两倍为尾波持续时间，计算公式为

$$\tau=\frac{\tau_{EW}+\tau_{SN}}{2\tau_V}$$
 (1)

式 (1) 中 τ_V 为垂直分向上尾波持续时间， τ_{EW} 、 τ_{SN} 为水平分向上的尾波持续时间^[12]。

3.2 尾波衰减系数 a 值

当地震不太大时，地震尾波外包络线形状的经验公式为^[13]：

$$\lg A(t)=c-0.5\lg t-at$$
 (2)

式 (2) 中， $A(t)$ 为 t 时刻尾波的振幅， t 为波的走时， c 为常数。 a 值越大，振幅随时间的衰减越快。设 t_1 时刻尾波振幅为 A_1 ， t_2 时刻振幅为 A_2 ，则由上述公式得到

$$a=\frac{\lg(A_1/A_2)-0.5\lg(t_2/t_1)}{t_2-t_1}$$
 (3)

3.3 周期比

周期比是地震波 n 个 S 波和 P 波周期长度的比值，即 $\frac{\sum_{i=1}^n T_S}{\sum_{i=1}^n T_P}$ 。式中 T_S 表示 S 波初动第 n 个周期， T_P 表示 P 波初动后的第 n 个周期^[14]。

库尔勒单台地震波参数以均值作为控制线，优势对应 501 测震台 250 km 范围内的 $M_s\geq 5$ 级地震，优势发震时间为 3 个月。2012 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 29 日期间库尔勒 501 测震台 250 km 范围内共发生 $M_s\geq 5$ 级地震 11 次(图 2)。

由表 3 和图 5 可知，在 2020 年 1 月 16 日库车 5.6 级地震发生前库尔勒尾波持续时间比、尾波衰减、周期比值在大致相同的时间段出现了低值异常。尾波持续时间比值在 2019 年 11 月 5 日开始持续低值，12 月 17 日后数据恢复高值异常结束，异常持续 1.5 个月，期间在 11 月 24 日有一次高值突跳，数据恢复正常后 30 天发生库车 5.6 级地震，异常表现形态为“低值—高值突跳—回返—发震”；尾波衰减系数值在 2019 年 10 月 24 日开始低值异常，12 月 28 日数据恢复高值异常结束，异常持续 2 个月，数据恢复正常后 19 d 发生库车 5.6 级地震，异常形态表现为“低值—回返—发震”；周期比值在 2019 年 10 月 28 日开始低值异常，2020 年 1 月 7 日数据恢复高值异常结束，异常持续 2.3 个月，数据恢复正常后 9 d 发生库车 5.6 级地震，此次地震距离 501 测点 200 km，异常形态表现为“低值—回返—发震”。

结合以往的几次震例来看，在中强地震发生前库尔勒台地震波参数会有 2 个月甚至更长时间的低值异常，在数据恢复高值后的 3 个月内发生地震；同时有 2 个参数出现低值异常时后续对应中强地震的概率比较高，自 2012 年 1 月以来共出现 6 次同时有 2 个参数低值异常的情况，其中有 4 次对应了中强地震，异常对应率为 66.6%。

表 3 库尔勒台地震波参数异常与库车 5.6 级地震对应关系

Table 3 Corresponding relationship between seismic wave parameter anomaly at Korla Station and KuChe M_s 5.6 earthquake

异常参数	异常时间	异常时长/月	异常结束至发震时间/天
尾波持续时间比值	2019-11-05—2019-12-17	1.5	30
尾波衰减系数值	2019-10-24—2019-12-28	2	19
周期比值	2019-10-28—2020-01-07	2.3	9

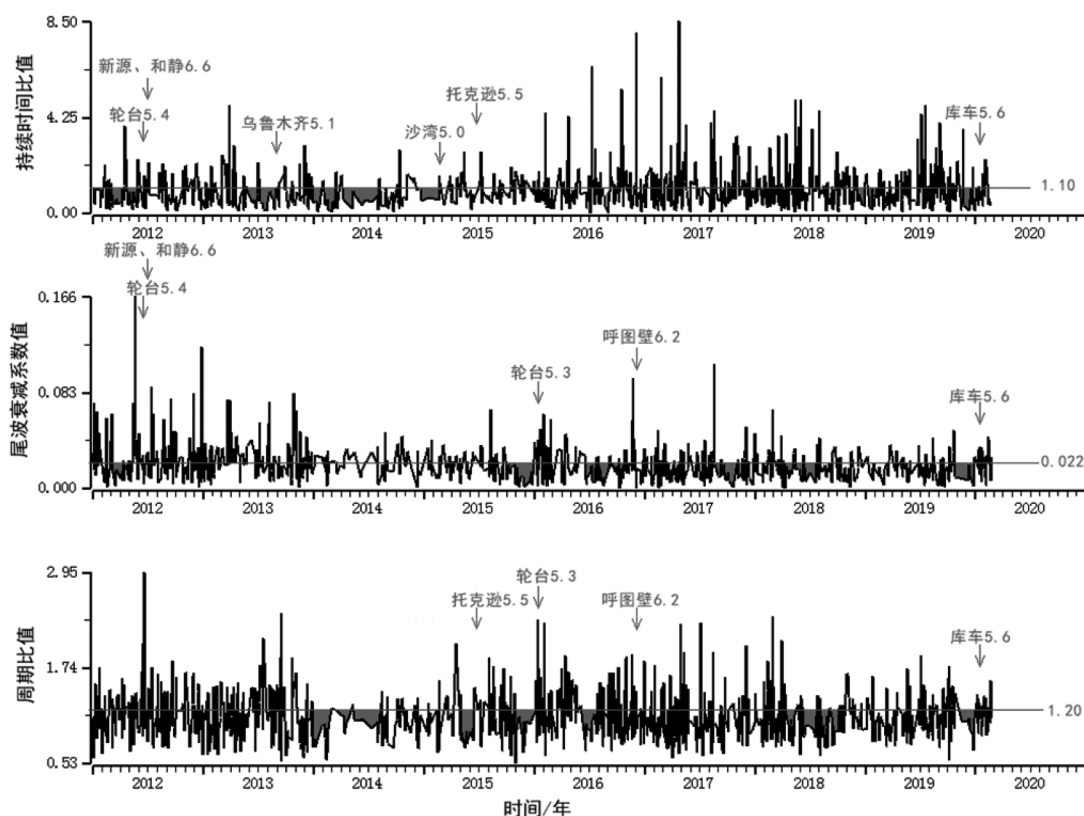


图5 库尔勒台地震波参数时序图

Fig.5 Time series diagram of seismic wave parameters at Korla Station

4 库尔勒台地震学参数时间扫描异常特征

地震活动性参数可用于描述区域地震活动性特征^[4]。中强地震发生前,地震活动会发生变化,地震学参数出现异常,这些异常可以作为一种前兆现象,对后继大震的发生起到一定程度的预测作用^[16]。

4.1 地震算法复杂性 AC 值

地震算法复杂性 AC 值是一种描述时间序列复杂性的表征量,可以用来鉴别地震过程究竟是完全随机的涨落,还是受某种决定论动力学规律支配的过程^[17]。

4.2 $A(b)$ 值、 $P(b)$ 值

$A(b)$ 值作为描述各地区地震活动性的定量参数,考虑了一个地区的地震活动性、震级和频次各方面的因素,可以直接定量反映地震活动的“增强”或“平静”。 $A(b)$ 值的本质是一个地震集合的折合震级,它的主要成分是该集合中的较大地震震级; $P(b)$ 值为小地震动态参数,可以综合表示

频度和平均震级的综合效应^[17]。

4.3 b 值

著名震级-频度关系式 $\lg N = a - bM$ 中的系数 b 反映了大小地震的比例关系, b 值是随空间和时间而变化的,进行时间扫描时一般采用线性最小二乘法^[17]。

库尔勒台地震学参数时间扫描计算以 1 个月为步长、3 个月为窗长进行扫描,得到 2015 年至 2020 年 2 月的地震学参数时间扫描曲线(图 6),根据近 9 年来的震例绘制了各参数的控制线。在库车 5.6 级地震发生前 AC 值、 $A(b)$ 值、 $P(b)$ 值、最小二乘法 b 值等 4 个参数均出现了一定程度的超限情况(表 4),其中 AC 值在 2019 年 4 月至 7 月出现高值异常, $A(b)$ 值在 2019 年 4 月至 7 月上旬出现低值异常, $P(b)$ 值在 2019 年 4 月至 8 月出现高值异常,最小二乘法 b 值在 3 月下旬至 9 月上旬出现高值异常;此次地震前各参数的异常形态与之前 4 次地震发生前的异常形态一致,但是本次异常结束至发震时间间隔较长在 5~6 个月,而前 4 次地震的发震时间在 3 个月之内。

表 4 库尔勒台地震学参数时间扫描异常与库车 5.6 级地震对应关系

Table 4 Corresponding relationship between time scan anomaly of seismological parameters at Korla station and Kuche $M_s5.6$ earthquake			
异常参数	异常时间/年-月	异常时长/月	异常结束至发震时间/月
AC 值	2019-04—2019-07	4	5.5
$A(b)$ 值	2019-04—2019-07	3.3	6.2
$P(b)$ 值	2019-04—2019-08	5	4.5
最小二乘法 b 值	2019-03—2019-09	5.5	4

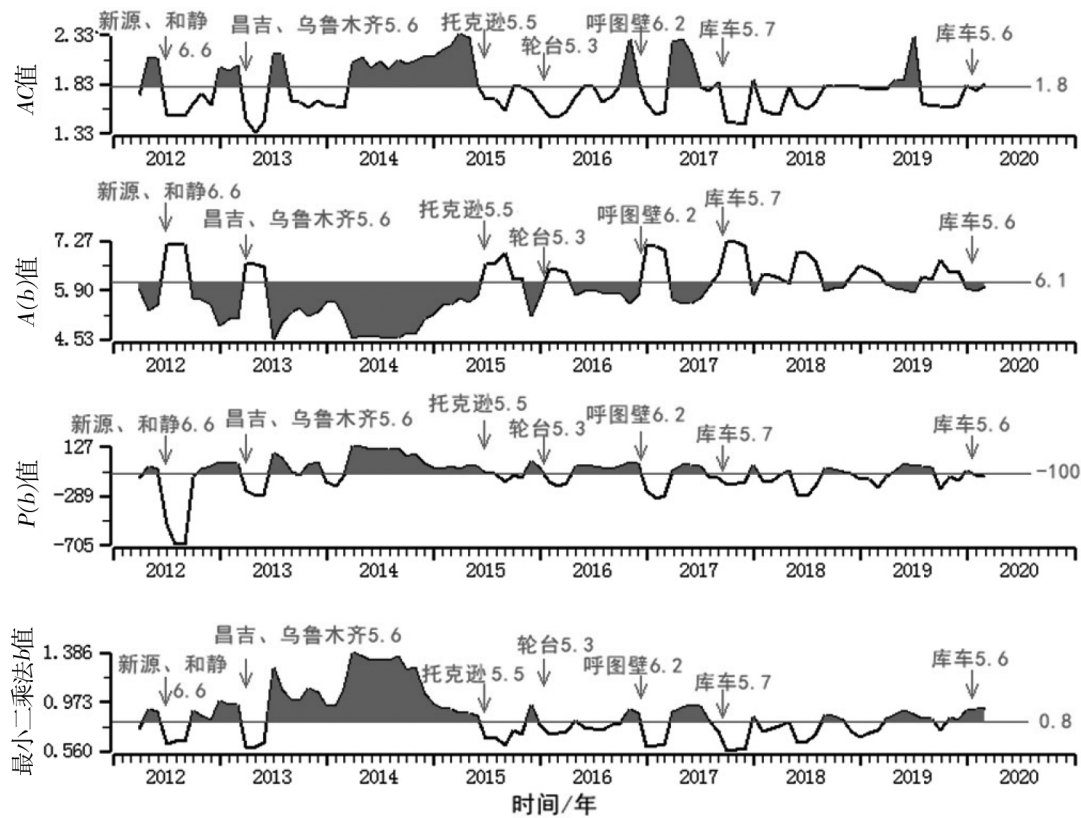


图 6 库尔勒台地震学参数时间扫描曲线

Fig.6 Time scanning curve of seismological parameters at Korla Station

5 结语

结合历史震例以及本次库车 $M_s5.6$ 地震前“库米什地震窗”、库尔勒台地震波参数和地震学时间扫描计算三类参数的资料变化情况，总结得到

- (1) “库米什地震窗”的异常形态为“高值—低值—发震”，对应的 8 次地震中有 3 次发生在异常结束后 3 个月内，有 5 次发生在异常结束后 3 至 6 个月内，2020 年 1 月 16 日库车 $M_s5.6$ 地震发生在异常结束后 3.5 个月。
- (2) 库尔勒台地震波参数的异常形态为“低值—回返—发震”或“低值—高值突跳—回返—发震”，对应的中强地震发生在异常结束后 3 个月内。

- (3) 库尔勒台地震学参数时间扫描计算的异常形态为“超限—回返—发震”，对应地震发生前 AC 值、 $A(b)$ 值、 $P(b)$ 值、最小二乘法 b 值等 4 个参数均会出现超限情况，超限持续时间有所差别，2020 年 1 月 16 日库车 $M_s5.6$ 地震发生在异常结束后 3 至 6 个月内，之前对应的几次地震均发生在异常结束后 3 个月内。
- (4) 本次库车 $M_s5.6$ 地震前，“库米什地震窗”、AC 值、 $A(b)$ 值、 $P(b)$ 值、最小二乘法 b 值等 5 项异常为中期异常，库尔勒单台尾波持续时间比值、尾波衰减系数、周期比值等 3 项异常为短期异常。
- (5) 当库尔勒台地震波参数中有 ≥ 2 个参数出现异常或地震学参数时间扫描计算 4 个参数同时

出现异常时,在异常结束后3个月内对应库尔勒501测震台250 km范围内 $M_s \geq 5.0$ 地震的概率很高。“库米什地震窗”出现高值异常后,后续6个月内在天山中段很可能发生 $M_s \geq 5.5$ 地震,如果库尔勒地震波参数和地震学时间扫描计算在相同时间段内也出现异常那么目标地震的空间范围可以缩小到库尔勒501测震台250 km范围内,发震时间缩小为3个月左右,“库米什地震窗”对应的8次地震中有3次地震(2012年新源—和静 $M_s 6.6$ 级地震、2017年库车 $M_s 5.7$ 级地震、2020年库车 $M_s 5.6$ 级地震)符合这种情况。

(6)台站资料更新快、便于追踪,充分利用台站第一手资料,总结分析台站资料的异常变化特征,找准中强地震发生前的中短期异常信息,争取在日后的工作中将越来越多的震后总结变为震前异常识别。

参考文献

- [1] 蒋靖祥,尹光华,温和平,等.库车坳陷的地震孕震环境初探[J].地震地质,2002(03):346-354.
- [2] 张小飞,赵建中,郭春生,等.库尔勒地震台地震监测能力初探[J].内陆地震,2013,27(04):383-388.
- [3] 张琳琳,敖雪明,聂晓红.2017年精河6.6级、库车5.7级地震前“库米什地震窗”异常特征分析[J].中国地震,2017,33(04):721-727.
- [4] 冯德益,顾瑾平,李清河.含裂隙介质中地震波传播的振幅异常[J].地震学报,1983(02):158-168.
- [5] 冯德益.近地震S、P波振幅比异常与地震预报[J].地球物理学报,1974(03):140-154.
- [6] 蔡静观,许昭永.两次鹤庆地震的不同振幅衰减特征和孕震区[J].地震,1990(03):56-61.
- [7] 曲延军,王海涛,胡才荣.中等地震前地震波异常特征[J].高原地震,1993(01):9-16.
- [8] 王筱荣,王海涛,魏若萍,等.中强地震前地震波参数异常的研究[J].西北地震学报,1992(03):58-63.
- [9] 李志海,黄瑜,曲延军,等.新疆北天山2次5级地震的尾波衰减系数研究[J].内陆地震,2009,23(03):337-344.
- [10] 杨欣,曲延军,刘永廷.新疆北天山地区中强震前单台地震波参数异常特征研究[J].内陆地震,1999,13(03):221-232.
- [11] 王筱荣,魏若萍.用地震波参数预测地震的实践[J].地震,1997,(01):75-79.
- [12] 王筱荣,魏若萍,曲延军.利用地震波参数辨析地震异常[J].内陆地震,1991,(04):330-338.
- [13] 王海涛,敖雪明,杨马陵,等.单台地震预报的地震学方法[M].北京:地震出版社,1992.
- [14] 唐兰兰,王海涛.爆破与地震的波谱特征分析[J].内陆地震,2009,23(03):377-385.
- [15] 莫佩婵,李莎,郭培兰,等.2016年7月31日广西苍梧5.4级地震测震学异常研究[J].华南地震,2018,38(02):47-56.
- [16] 宋春燕,聂晓红.2011年8月11日新疆阿图什、伽师交界5.8级地震序列及震前部分地震学异常特征[J].内陆地震,2013,27(01):29-37.
- [17] 陆远忠等.基于GIS的地震分析预报系统[M].成都:成都地图出版社,2002.