

宋春燕, 聂晓红, 魏文薪, 等. 兴都库什—帕米尔地区中源地震对新疆强震活动的影响分析[J]. 华南地震, 2022, 42(4): 20–25. [SONG Chunyan, NIE Xiaohong, WEI Wenxin, et al. Analysis of the Influence of Intermediate-focus Earthquakes in Hindu Kush–Pamir on Strong Earthquakes Activity in Xinjiang[J]. South China journal of seismology, 2022, 42(4): 20–25]

兴都库什—帕米尔地区中源地震 对新疆强震活动的影响分析

宋春燕¹, 聂晓红¹, 魏文薪², 向 元¹

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要: 兴都库什—帕米尔地区处于印度板块和欧亚板块碰撞带的西缘, 是大陆内部中源地震最为活跃的区域。该地区应力场特征表明, 印度板块向北的主动推挤, 是形成这一区域应力场的动力源, 通过分析新疆及周边地区的构造背景和动力环境, 认为新疆地区强震活动主要受兴都库什—帕米尔构造结的动力作用影响。研究结果显示, 兴都库什—帕米尔地区的7级以上中源地震活动与新疆地区强震存在较好的对应关系; 2015以来, 印度板块对欧亚板块的推挤作用持续增强, 需关注新疆地区发生强震的危险性。

关键词: 兴都库什—帕米尔; 中源地震; 新疆强震

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2022)04-0020-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.04.03

Analysis of the Influence of Intermediate-focus Earthquakes in Hindu Kush–Pamir on Strong Earthquakes Activity in Xinjiang

SONG Chunyan¹, NIE Xiaohong¹, WEI Wenxin², XIANG Yuan¹

(1. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China; 2. Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China)

Abstract: The Hindu Kush–Pamir region is located on the western edge of the collision zone between the Indian plate and the Eurasian plate, and is the most active region of intermediate-focus earthquakes in the mainland. The characteristics of the stress field in this area indicate that the active northward pushing of the Indian plate is the dynamic source for the formation of the stress field in this area. Based on the analysis of the tectonic background and dynamic environment of Xinjiang, it is considered that the strong earthquakes activity in Xinjiang is mainly influenced by the dynamic action of the Hindu kush–Pamir tectonic structure. The results show that there is a good corresponding relationship between the intermediate-focus earthquakes with $M \geq 7$ in Hindu Kush–Pamir area and

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2020B03006-3); 中国地震局震情跟踪定向工作任务(2021020502)。

作者简介: 宋春燕(1978–), 女, 高级工程师, 主要从事地震预测等方面的工作。

E-mail: songchunyan1@163.com

the strong earthquakes in Xinjiang. Since 2015, the pushing effect of the Indian plate on the Eurasian plate has continued to increase, and attention should be paid to the risk of strong earthquakes in Xinjiang.

Keywords: Hindu Kush–Pamir; Intermediate-focus earthquakes; Xinjiang strong earthquakes

0 引言

兴都库什—帕米尔地区是印度板块与欧亚板块碰撞的强烈变形区域,是地震最活跃的地区之一,也是世界上少有的大陆内部的中源地震区。许多专家学者曾研究过这一地区的地震活动及构造运动,取得了一系列进展。Gutenberg^[1]和 Richter^[2]等在20世纪50年代,发现该地区存在陆内中源地震集中区。Molnar和Tapponnier^[3]把兴都库什—帕米尔地区的地震活动归因于印度板块与欧亚板块的碰撞。Reocker等^[4]利用区域台网记录的1966—1967年的微震资料及震源机制解资料,研究了兴都库什地区的震源深度分布及应力状态,提出在37°N附近,中源地震带被分为两部分,西部相当于由南向北的俯冲,东部相当于由西北向东南的俯冲。Belousov等^[5]认为由于印度板块和欧亚板块的碰撞作用,造成大的地块被岩石层中的深断层或破碎带所分割,由两板块的碰撞作用形成目前这种地震带及应力状态。宁杰远等^[6]研究了帕米尔—兴都库什地区地震空间分布特征及应力场特征,认为印度板块对欧亚板块的挤压是兴都库什—帕米尔地区强烈构造运动的主要动力,形成了一系列的弧形构造,并出现中源地震带。

在众多学者关注兴都库什—帕米尔构造结地区地震活动、构造运动及应力状态的同时,该地区强中源地震活动与新疆地区强震活动之间的相关性也是非常值得研究的问题,该地区的应力增强可能进一步促进了与其相邻的新疆地区强震活动。新疆地区受两大板块碰撞汇聚的动力影响,历史地震活动强烈。20世纪以来,新疆曾发生6级以上地震115次,其中7.0~7.9级地震17次,8.0~8.9级地震3次,分别为1902年8月22日阿图什8 $\frac{1}{4}$ 级、1931年8月11日富蕴8.0级和2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震。张浪平等^[7]分析了兴都库什—帕米尔地区与天山地震带强震活动之间的相关关系,结果表明兴都库什—帕米尔地区中源地震与天山地震带7级地震活动存在同步特征。本文主要分析兴都库什—帕米尔地区的7级以上中

源地震活动对新疆强震活动的影响,并探讨可能的动力过程。

1 兴都库什—帕米尔地区的构造背景和地震活动

喜马拉雅弧形构造处于印度板块与欧亚大陆碰撞的前缘地带,是喜马拉雅造山带构造变形最强烈地区之一,其东、西顶角附近形成喜马拉雅弧束(同轴)构造,又称构造结,其对邻区的构造运动、物质运移及其动力学过程有着重要作用^[8-9]。喜马拉雅弧西顶角,即兴都库什—帕米尔构造结晚新生代的大规模构造变形以构造结前缘地壳缩短(图1)、两侧走滑、构造结内部拉张为特征,形成了一系列向北凸出的弧形活动构造带^[10]。晚新生代以来,兴都库什—帕米尔构造结向北楔入推移了约300 km^[11-12],是中国大陆与周边板块动力传递的关键部位,也是天山再次隆升复活的重要动力来源^[8]。

据USGS地震目录,1970至2021年发生于68°~78°E, 34°~45°N范围内 $M_w \geq 5.0$ 地震有1012个,其中深度超过70 km的中源地震有424个,且在69°~76°E范围内呈近“S”型分布(图2),在这个弧形分布上中源地震占90%,且深度由西向东有变浅的趋势。深度超过200 km的中源地震基本分布在兴都库什地区(70°~71.5°E范围内), $M_w \geq 6.0$ 地震均发生在这一地区,呈近EW向展布(约130 km)。该区域地处印度板块和欧亚板块碰撞带的西缘,地震分布明显集中,震源深度也明显与周边区域不同,是震源最深的区域,7级以上中源地震在此集中分布且震源深度基本都超过200 km,形成独特的地震现象和地质构造形态。万秀红等^[13]分析认为在强烈的碰撞、推挤、俯冲作用下形成了兴都库什地区中源地震非常活跃的现象,震源机制解显示该区域地震性质以逆断层性质为主,表明挤压作用十分强烈。挤压作用的增强可能会促进与其相邻的新疆地区强震活动,本文主要研究这一区域中源地震对新疆强震活动的影响。

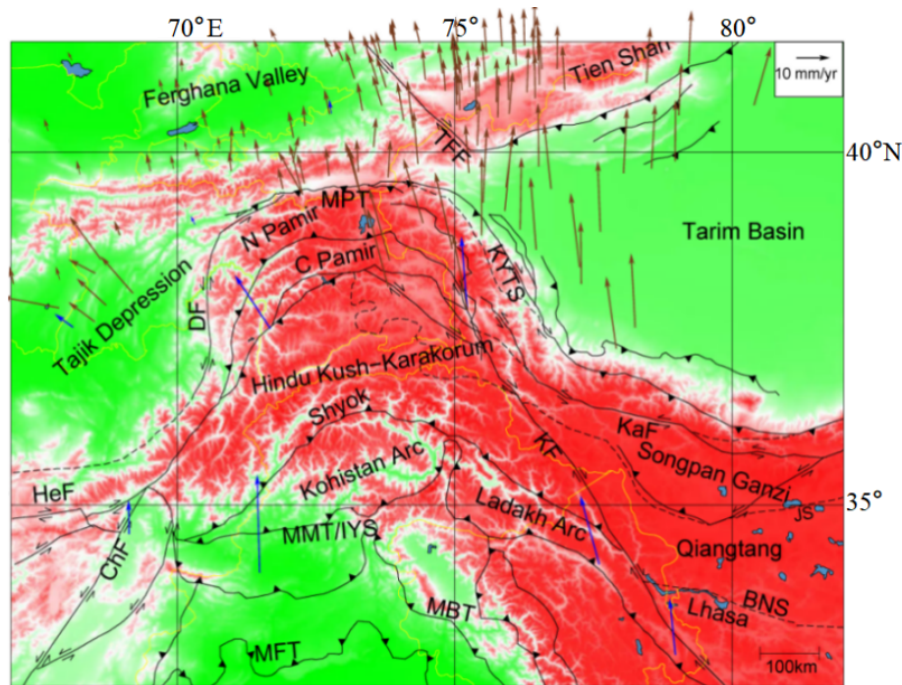


图 1 兴都库什—帕米尔构造结地壳缩短速率图
Fig.1 Crustal shortening rate map of Hindu Kush-Pamir structural junction

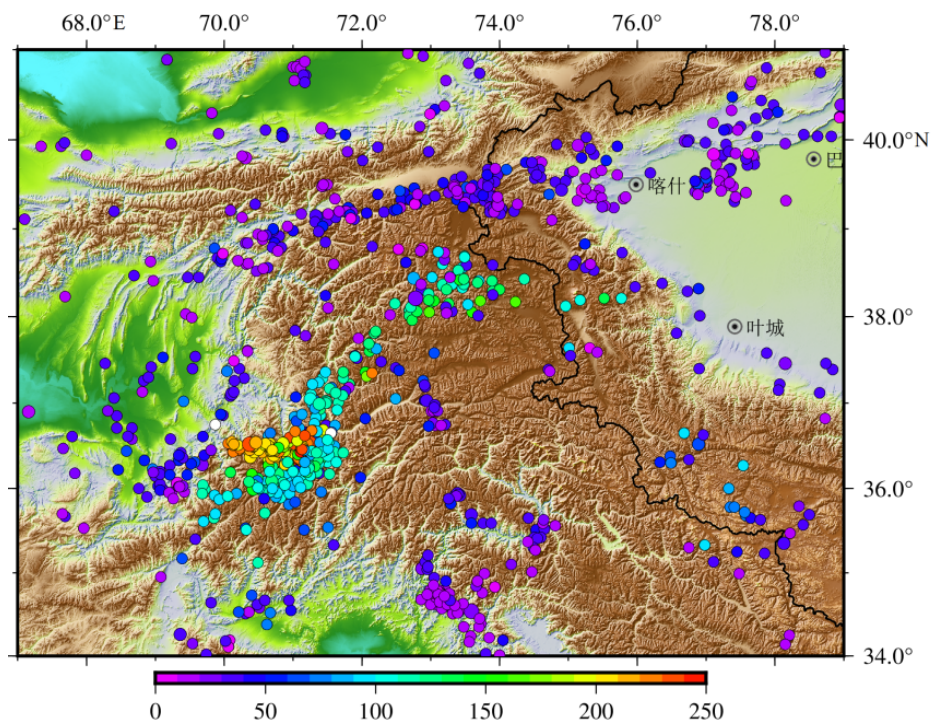


图 2 1972—2021 年兴都库什—帕米尔地区 $M_w \geq 5.0$ 地震分布图
Fig.2 Distribution of earthquakes with $M_w \geq 5.0$ in Hindu Kush-Pamir region from 1972 to 2021

2 兴都库什—帕米尔地区 7 级以上中源地震活动对新疆强震影响分析

采用 1930 年以来的地震目录做相关分析，其

中 1930—1990 年的取自《中国近代地震目录》^[14]，1991 年之后的取自《地震目录汇编》以及中国数字地震台网中心地震目录。
1930 年以来，兴都库什—帕米尔地区发生 $M_s \geq 7.0$ 中源地震 13 次，最大地震为 2015 年 10 月 26

日兴都库什7.8级地震。统计结果显示(表1), 10次震后1年新疆发生了6级以上地震, 对应比例约为77%, 且对应时间在3个月内的有7次, 占54%, 说明兴都库什—帕米尔地区的7级中源地震对新疆

地区的强震有短期预测意义。

由表1, 报对地震次数为18次, 预报占有时间为13年, 预报研究时间为93年, 扣除余震和震群影响, 应报的地震总次数为59次。

表1 兴都库什—帕米尔中源7级地震与其后1年新疆及边境地区强震相关性
Table 1 Correlation between the intermediate-focus earthquakes with $M \geq 7$ in Hindu Kush-Pamir and the strong earthquakes in Xinjiang and border areas in the following year

序号	7级以上地震	深度/km	后续1年新疆及边境6级以上地震	时间间隔/d
1	1937-11-14 7.1	240	1937-11-16 6.5 和田	2
2	1943-02-28 7.1	210	1943-04-05 6.5 乌恰西	36
			1944-03-106.5 新源	375
			1944-03-107.2 新源	375
3	1949-03-04 7.4	230	1949-05-25 6.3 库车	82
4	1950-07-09 7.5	223		
5	1951-06-12 7.5	223		
6	1965-03-14 7.5	210	1965-11-13 6.6 乌鲁木齐	244
7	1974-07-30 7.1	214	1974-08-11 7.3 乌恰	11
			1975-04-28 6.1 和田	261
			1975-06-04 6.1 和田	297
8	1983-12-30 7.4	214		
9	1985-07-29 7.4	100	1985-08-23 7.1 乌恰	25
			1985-09-126.6 乌恰	44
			1986-7-16.1 阿勒泰	337
10	1993-08-09 7.0	215	1993-10-02 6.6 若羌	54
			1993-12-01 6.2 疏附	113
11	2002-03-03 7.4	230	2003-02-24 6.8 伽师	358
12	2015-10-26 7.8	210	2015-12-07 7.5 塔吉克斯坦	42
13	2016-04-10 7.1	206	2016-11-25 6.7 阿克陶	167
			2016-12-08 6.2 呼图壁	229

采用《地震学分析预报方法程式指南》^[14]中的地震预报效能 R 值评分方法, 给出具有97.5%置信水平的 R 值评分, 可以用于检测地震对应关系的可信度。由公式:

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占有时间}}{\text{预报研究时间}}$$

得到 $R = \frac{18}{59} - \frac{13}{93} \approx 0.17$

兴都库什—帕米尔地区7级中源地震后1年对应新疆及边境地区6级以上地震的预报效能 R 值为0.17, R_0 为0.09, 通过检验; 对应3个月新疆6级以上地震的预报效能 R 值为0.09, R_0 为0.06, 通过

检验, 说明兴都库什地区的7级中源地震对新疆地区的强震有短期预测意义。

兴都库什—帕米尔7级中源地震后1年新疆及边境地区发生6.5级以上地震的有9组, 对应比例约为69%, 计算得到的 R 值为0.29, R_0 为0.15, 通过检验, 说明兴都库什地区的7级中源地震对新疆地区的7级左右地震有较好的中期预测意义。

2015年4月25日尼泊尔8.1级地震后, 喜马拉雅地震带强震活跃, 特别是西构造结连续发生了3次7级地震, 2016年6月26日在帕米尔前缘又发生吉尔吉斯斯坦6.7级地震, 新疆地区发生2016年11

月 25 日阿克陶 6.7 级、2017 年 8 月 9 日精河 6.6 级地震，显示印度板块向北推挤作用明显增强。为了更好的反映印度板块对新疆地区的挤压作用，利用 GPS 基线得到的印度班加罗尔—中国新疆塔什库尔干(TASH-IISC)时间序列跟踪结果表明(图 3)，

2015 年以来，印度板块对欧亚板块的推挤作用持续增强，虽然在此期间发生了一些 6 级以上地震，但这种增强作用仍在持续，在此背景下，需关注新疆地区的强震危险性。

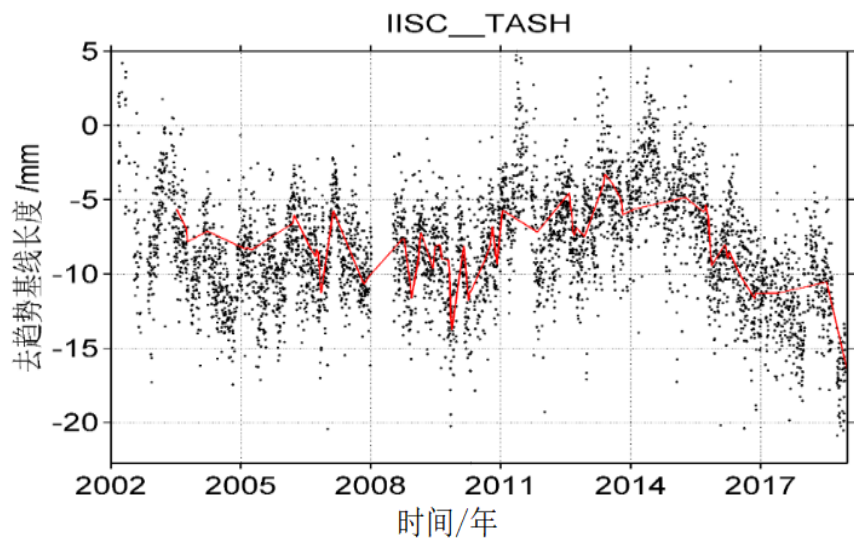


图3 TASH-IISC GPS 基线时间序列
Fig.3 Time series of GPS baseline of TASH-IISC

3 结论与讨论

(1)印度板块对欧亚板块的挤压是兴都库什—帕米尔地区强烈构造运动的主要动力，兴都库什—帕米尔构造结是动力传递的关键部位，在强烈的碰撞、推挤、俯冲作用下形成了兴都库什地区中源地震非常活跃的现象，7级以上中源地震的发生表明挤压作用十分强烈。

(2)本文分析了兴都库什—帕米尔地区 7 级以上中源地震与新疆强震活动的关系，结果显示，兴都库什—帕米尔地区发生 $M_s \geq 7.0$ 中源地震后 1 年新疆发生 6 级以上地震的对应率达 77%，且对应时间在 3 个月内的占 54%，说明兴都库什—帕米尔地区的 7 级中源地震对新疆地区的强震有中、短期预测意义，且预报效能通过检验。进一步分析其对新疆地区的 7 级左右地震影响，结果显示该区 7 级中源地震后 1 年新疆及边境地区发生 7 级左右地震的对应率为 69%，且预报效能通过检验，说明该地区的 7 级中源地震对新疆地区的 7 级左右地震有较好的中期预测意义。兴都库什—帕米尔地区 7 级以上中源地震活动对新疆的强震活动有一定

的影响。

(3)2015 年以来，兴都库什—帕米尔地区连续发生了 3 次 7 级地震，其后新疆地区中强地震活跃，显示印度板块向北推挤作用明显增强。印度班加罗尔—中国新疆塔什库尔干 GPS 基线时间序列也显示出 2015 年以来印度板块对欧亚板块的持续推挤作用，目前仍需关注新疆地区发生强震的危险性。

参考文献

[1] Gutenberg B, Richter C F. Seismicity of the earth and associated phenomena[M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954.

[2] Richter C F. Elementary seismology[M]. San Francisco CA: W H Freeman & Co, 1958.

[3] Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision[J]. Science, 1975(189):419-426.

[4] Roecker S W, Soboleva O V, Nersesov I L, et al. Seismicity and fault plane solutions of intermediate depth earthquakes in the Parmir-Hindu Kush region[J]. J Geophys Res, 1980 (85):1358-1364.

- [5] Beloussov V V, Belyaevsky N A, Borisov A A, et al. Structure of the lithosphere along the deep seismic sounding profile: Tien Shan-Pamir-Karakorum imalayas[J]. Tectonophysics, 1980(70):193-221.
- [6] 宁杰远, 臧绍先. 帕米尔—兴都库什地区地震空间分布特征及应力场特征[J]. 地球物理学报, 1990, 33(6): 657-669.
- [7] 张浪平, 邵志刚. 兴都库什—帕米尔地区与天山地震带强震活动关联分析[J]. 中国地震, 2013, 29(1), 1-10.
- [8] 张浪平, 邵志刚, 李志海. 印度板块与欧亚板块在兴都库什—帕米尔地区相互俯冲的动力作用分析[J]. 地球物理学报, 2014, 57(2): 459-471.
- [9] 高祥林, 马晓静, 李晓丽. 亚州东部“大三角”地震构造区的周边和深部动力环境[J]. 地学前缘, 2010, 17(4): 33-42.
- [10] 陈杰, 李涛, 李文巧, 等. 帕米尔构造结及邻区的晚新生代构造与现今变形[J]. 地震地质, 2011, 33(2): 241-259.
- [11] Burtman V S, Molnar P. Geological and geophysical evidence for deep subduction of continental crust beneath the Pamir[J]. Geol Soc Am, 1993(281): 76.
- [12] Thomas J C, Chauvin A, Gapais D, et al. Paleomagnetic evidence for Cenozoic block rotations in the Tadjik depression (Central Asia) [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(15): 141-160. DOI: 10. 1029/94JB00901.
- [13] 万秀红, 屠泓为, 李智敏, 等. 兴都库什及邻近区域空间应力场特征及其构造意义[J]. 地球物理学报, 2019, 62(12): 4696-4705. DOI: 10. 6308/cjg2019M0560.
- [14] 国家地震局科技监测司. 地震学分析预报方法程式指南[M]. 北京: 地震出版社, 1990.