

陈大庆, 叶秀薇, 方震, 等. 青藏高原强震活动特征研究[J]. 华南地震, 2023, 43(4): 1-7. [CHEN Daqing, YE Xiuwei, FANG Zhen, et al. Study on Characteristics of Strong Earthquake Activity in Qinghai-Tibet Plateau [J]. South China journal of seismology, 2023, 43(4): 1-7]

## 青藏高原强震活动特征研究

陈大庆<sup>1</sup>, 叶秀薇<sup>1</sup>, 方震<sup>2</sup>, 邵叶<sup>1</sup>, 钟天任<sup>1</sup>, 李晓慧<sup>1</sup>

(1. 广东省地震局, 广州 510075; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

**摘要:** 青藏高原及内部次级块体的强震活动存在显著的时空丛集特征, 20世纪以来青藏高原经历了3次强震活动时空主体地区的转换, 呈现了较为复杂的活动特征。利用各次级块体沿主要活动断裂走向的时空投影图, 研究了全时空域的青藏高原及内部次级块体的强震活动特征, 并依据这些特征对青藏高原的未来强震活动做出了一些初步分析和判断。

**关键词:** 青藏高原; 次级块体; 时空投影图; 强震活动特征

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)04-0001-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.04.01

## Study on Characteristics of Strong Earthquake Activity in Qinghai-Tibet Plateau

CHEN Daqing<sup>1</sup>, YE Xiuwei<sup>1</sup>, FANG Zhen<sup>2</sup>, SHAO Ye<sup>1</sup>,  
ZHONG Tianren<sup>1</sup>, LI Xiaohui<sup>1</sup>

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510075, China; 2. Anhui Earthquake Agency,  
Hefei 230031, China)

**Abstract:** The strong earthquake activities in the Qinghai-Tibet Plateau and its internal sub-blocks have significant spatial-temporal clustering characteristics. Since the 20<sup>th</sup> century, the main spatial and temporal distribution of strong earthquake activities in the Qinghai-Tibet Plateau has experienced three times of regional transformations, showing more complex activity characteristics. The characteristics of strong earthquake activities in the Qinghai-Tibet Plateau and its internal sub-blocks are studied by using the spatial-temporal projections of each sub-block along the strike of the main active faults. Based on these characteristics, some preliminary analysis and judgement are made on the future strong earthquake activities in the Qinghai-Tibet Plateau

**Keywords:** the Qinghai-Tibet Plateau; Secondary block; Spatial-temporal projection; Characteristics of strong earthquake activity

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 2022年度甘肃省科技重点研发计划项目: 河西走廊地震危险等级综合判定分析与应用 (22YF7FA079)

作者简介: 陈大庆(1977-), 男, 高级工程师, 主要从事地震分析预报工作。

E-mail: gd\_daqing@163.com

## 0 引言

青藏高原是我国现代构造活动和地震活动最强烈的地区,由于印度板块对欧亚板块的俯冲碰撞作用,在青藏高原南部形成了喜马拉雅现代造山带,造山带以北形成了广阔的青藏高原,俯冲碰撞作用影响范围直达青藏高原北缘的祁连山以北及河西走廊地区。青藏高原剧烈的构造活动在高原内部形成了多个板内次级断块,这些次级断块和青藏高原板缘的深大断裂带一起组成了一幅复杂的地震活动图像<sup>[1-8]</sup>。

自1900年有地震仪器记录以来,青藏高原内部经历了3次强震活动时空主体地区的转换,在每次强震活动的主体地区都发生了2次8级强震。分别是以1920年宁夏海原8.5级、1927年甘肃古浪8.0级强震为代表的1920—1937年的青藏高原东北边缘强震活动主体地区;以1950年西藏察隅8.6级地震、1951年西藏当雄8.0级地震为代表的1947—1976年的羌塘块体东段强震活动主体地区;以2001年昆仑山口8.1级、2008年四川汶川8.0级地震为代表的1995年至今的巴颜喀拉块体强震活动主体地区<sup>[9-10]</sup>(图1)。

前人的研究中也揭示了青藏高原及内部次级块体的强震活动存在显著的时空丛集特征,表明

强震活动之间存在某种关联性<sup>[11-21]</sup>。本文在研究中将青藏高原次级块体内部及边缘的地震沿主要活动断层走向投影,得到能更好揭示强震之间时空关联特征的时空投影图,从而初步分析得到了青藏高原各次级块体之间以及块体内部强震的时空关联特征。

## 1 青藏高原强震活动总体特征

青藏高原1900年以来的7级以上强震活动呈现显著的时空丛集特征(图2~3),北南两侧的祁连、柴达木次级块体和拉萨、羌塘次级块体的7级强震都集中在20世纪上半页,并且都发生了2次8级地震,8级地震的时间都较为接近显示具有时间上的关联性。两个区域都在20世纪50年代后至今经历了近70年的7级地震平静期。中部巴颜喀拉块体的强震活动持续时间长,在1976年之前强震活动集中在块体的东段,1996年后随着块体西段强震的活动整个巴颜喀拉块体进入新一轮的活跃期,相继发生了昆仑山8.1、汶川8.0地震,块体的南北东边界及内部相继发生了多次7级强震活动并持续至今。川滇及云南地区1900年以来经历了2个7级强震活动周期,两个周期的强震活动具有较为同步的时空迁移特征<sup>[22]</sup>。

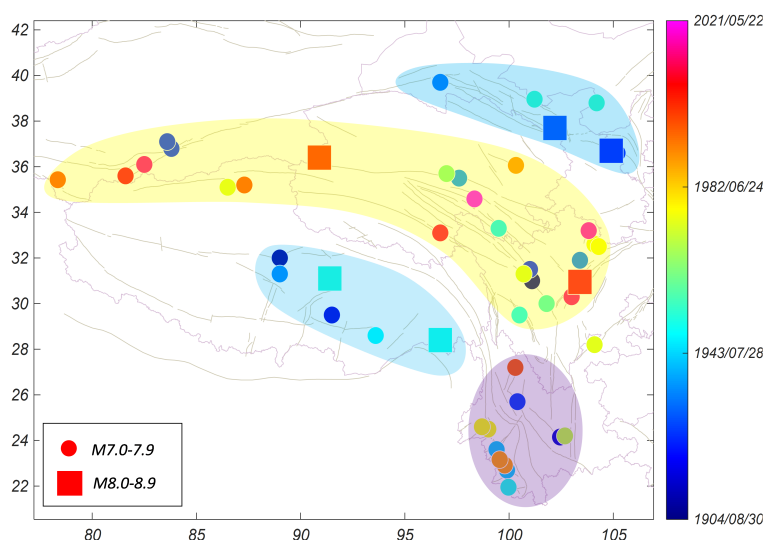


图1 1900年以来青藏高原7级以上强震时间—空间分布图

Fig.1 The temporal and spatial distribution map of strong earthquakes with  $M \geq 7$  in the Qinghai-Tibet Plateau since 1900

## 2 祁连地块强震活动特征

青藏高原北缘祁连地块的7级强震活跃期为20

世纪上半页,并且沿主要活动断层北北西走向呈现时空关联分布的特征。如1920年宁夏海原8.5级地震、1927年甘肃古浪8.0级地震;1954年2月的甘肃山丹7.25级地震和1954年7月内蒙古腾格里

沙漠的7.0级地震。两组强震的时间、空间、强度都较为接近,显示较强的时空关联特征。1986年后至今祁连地块的地震活动以6级地震活动为主,但仍然呈现了沿北北西时空关联的特征。如1986年青海门源6.5级地震、1990年甘肃天祝、景泰

6.1级地震、1993年青海天峻6.0级地震为一组。2016年、2022年青海门源的6.4、6.9级地震,2022年青海德令哈6.0级地震为一组,都呈现了以上特征。目前看来在祁连带的东段还缺少6级左右地震。

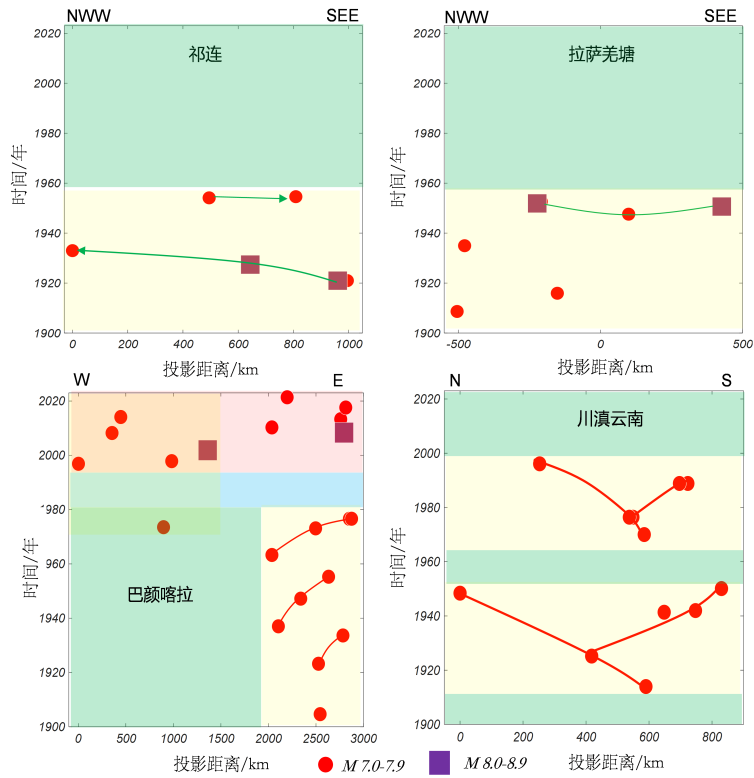


图2 青藏高原二级活动地块7级强震沿主要活动断层走向投影时空分布图(NWW:方位)

Fig.2 The temporal and spatial distribution map of the projection of strong earthquakes with  $M \geq 7$  along the strike of main active faults in the secondary active block of Qinghai-Tibet Plateau(NWW:direction)

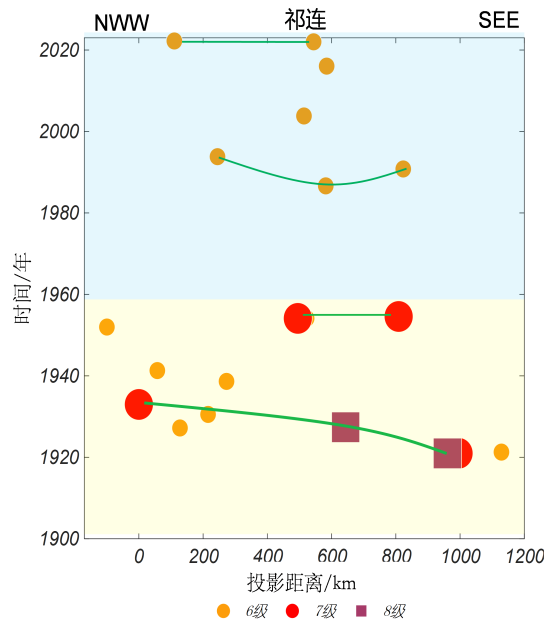


图3 祁连地块6级强震沿NWW走向投影时空分布图

Fig.3 The temporal and spatial distribution of the projection of strong earthquakes with  $M \geq 6$  along the NWW strike in the Qilian block

### 3 巴颜喀拉块体强震活动特征

巴颜喀拉块体位于青藏高原中部,也是近30年来中国大陆强震最为活跃的地区。1900年以来巴颜喀拉块体的强震活动经历了4个活跃期(图4),1976年前的3个活跃期强震集中在南北边界东段的鲜水河断裂和东昆仑断裂的中东段,并且强震有从西向东迁移的特征。第一活跃期发生了1923年四川炉霍、道孚间7.3级地震和1933年四川茂汶北迭溪7.5级地震;第二活跃期发生了1937年青海阿兰湖东7.5级、1947年青海果洛州达日县7.7级和1955年四川康定折多塘7.5级地震;第三活跃期发生了1963年青海阿兰湖7.0级、1973年四川甘孜州炉霍7.6级、1976年四川松潘、平武间7.2级双震。另外这3个活跃期的首发7级地震和第二个7级地震时间上都是间隔10年,显示了这种时间关联的稳定性。随后巴颜喀拉块体进入20年的7级地震

平静期,直至1996年开始块体西段7级地震开始活跃,相继发生了1996年喀拉昆仑7.1、1997年藏那曲双湖7.5、2001年昆仑山8.1和2008年新疆于田7.3级地震,这一活跃期前期的地震和前面3个活跃期不同,都发生在块体的西段。随后是整个块体的活动,相继发生了2008年汶川8.0级地震、2010年玉树7.1级地震、2013年芦山7.0级地震、2014年新疆于田7.3级地震、2017年四川九寨沟7.0级地震、以及块体内部的2021年青海玛多7.4级地震。第四活跃期是整个块体的活动,汶川地震应该是巴颜喀拉块体乃至整个青藏高原百年来地震活动的节点性事件,相对闭锁的东边界应力得以释放,标志着这一轮巴颜喀拉块体的强震活动趋于结束,但由于本轮活动是整个块体的活动,部分破裂空段仍然有发生6、7级地震的可能,但未来青藏高原强震活动的主体地区很有可能轮转,不再集中在巴颜喀拉块体。

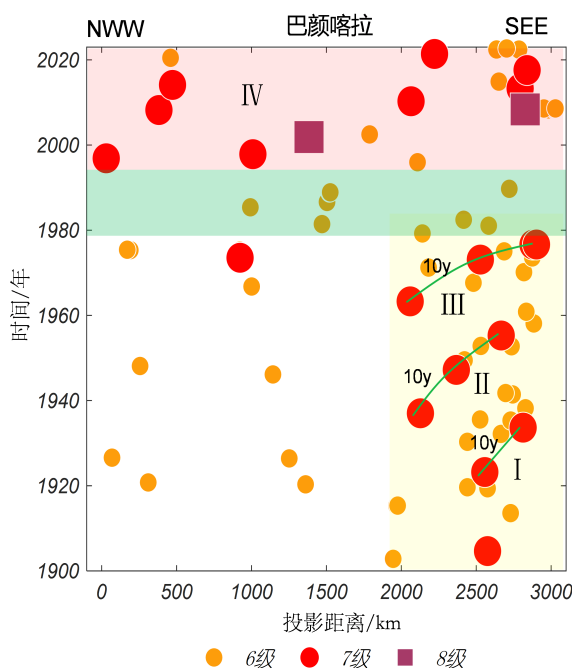


图4 巴颜喀拉块体6级强震沿NWW走向投影时空分布图

Fig.4 The temporal and spatial distribution of the projection of strong earthquakes with  $M \geq 6$  along the NWW strike in the Bayankala block

### 4 拉萨羌塘地块强震活动特征

拉萨羌塘块体的7级地震活跃期为20世纪上半页,并且也以由西向东迁移为主(图5)。相继发生了1908年西藏奇林湖7.0级地震和1915年西藏山南扎囊县7.0级地震,1934年西藏那曲市申扎县

7.0级地震后进入块体的8级强震主体时间段,相继发生了1947年西藏山南7.7级地震、1950年西藏察隅8.6级地震和1951年西藏那曲8.0级地震,这些强震基本都位于喜马拉雅构造带向东延伸到南迦巴瓦的东构造结的西侧,说明东构造结对拉萨羌塘块体的强震活动有显著的影响。1952年西藏那曲7.5级地震后至今70年块体内部及边界发生接

近60余次6级地震,但未发生过7级地震,未来这一区域有可能是下一个强震活动的主体地区。

5 川滇及云南强震活动特征

川滇及云南地区1900年以来经历了2个7级强震活动周期,两个周期的强震活动具有较为同步的时空迁移特征(图6~7)。两个周期的首发7级地震都位川滇菱形块体南边界的曲江和红河断裂的

交汇处的云南玉溪。随后向西迁移至滇西南发生多次7级强震,每一周期的结束时间段会在川滇菱形块体北部边界发生一次7级强震。两个周期强震的时空分布特征非常相似。两轮活跃期的中后阶段在云南中部地区都会出现6级地震的平静时间段。1996年云南丽江7.0级地震后该区域进入7级地震的平静期至今已经27年,云南地区未来可能进入新一轮的7级地震活跃期,首发地震最有可能区域的是玉溪地区。

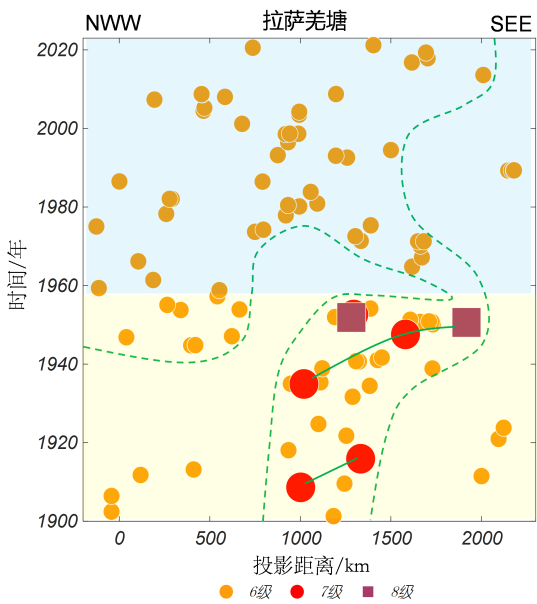


图5 拉萨羌塘地块6级强震沿NWW走向投影时空分布图

Fig.5 The temporal and spatial distribution of the projection of strong earthquakes with  $M \geq 6$  along the NWW strike in the Changtang block of Lhasa

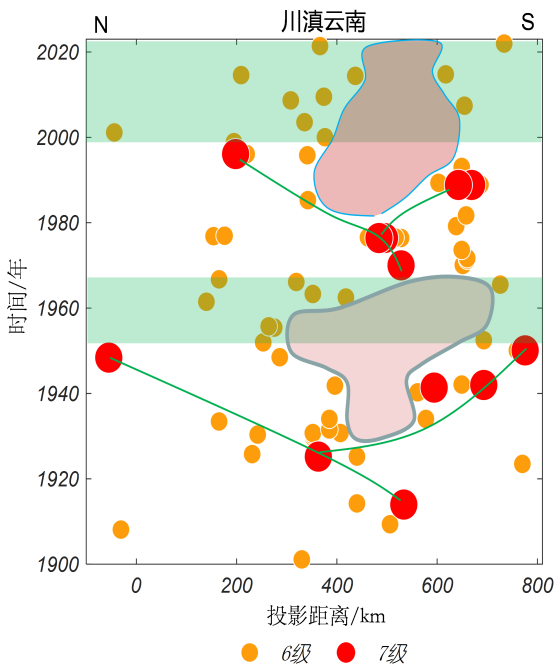


图6 川滇及云南6级强震沿N-S向投影时空分布图

Fig.6 The temporal and spatial distribution of the projection of earthquakes with  $M \geq 6$  along N-S direction in Sichuan-Yunnan



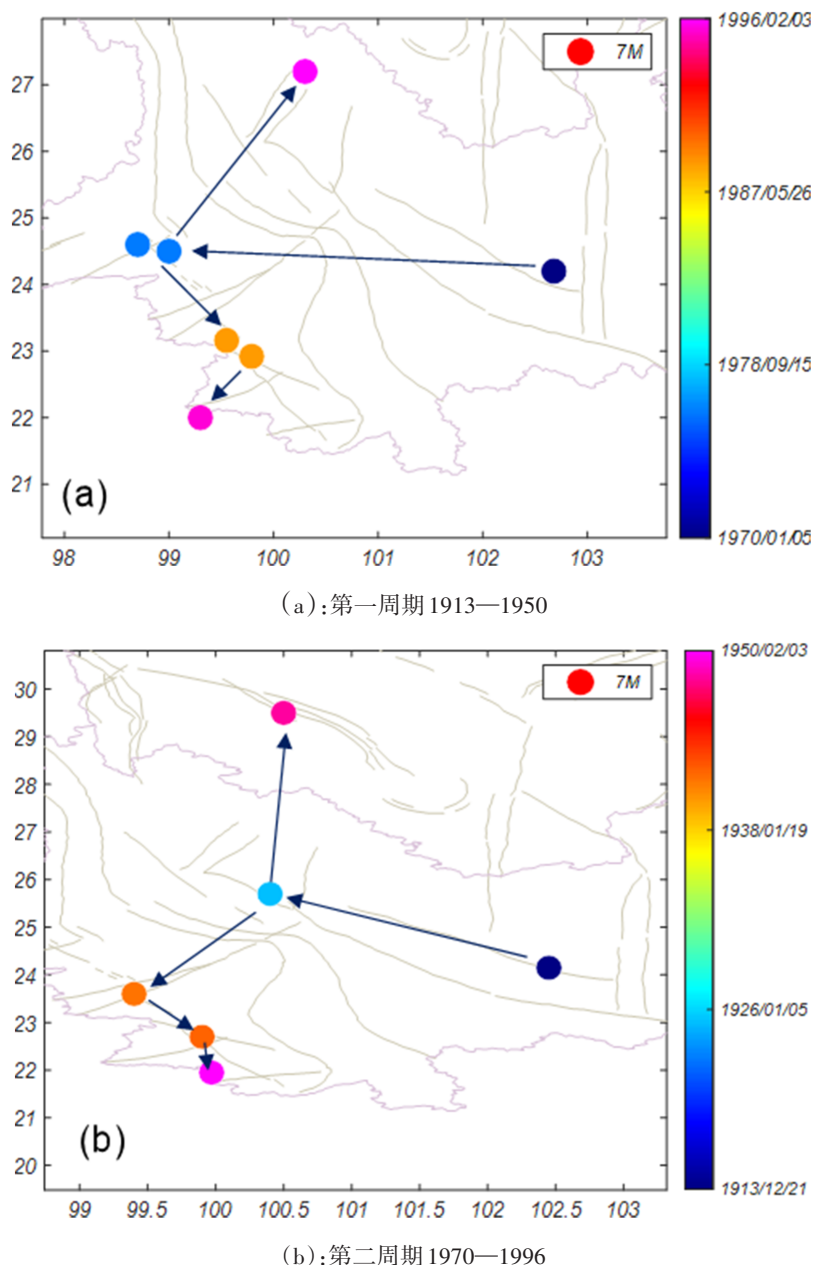


图7 川滇及滇西南1900年来两个周期的7级强震迁移

Fig.7 Migration of strong earthquakes with  $M \geq 7$  in Sichuan-Yunnan and southwest Yunnan in two cycles since 1900

## 6 结论和讨论

青藏块体的强震活动存在显著的时空丛集关联的特征,总体上二十世纪前半页强震的活动主体地区是青藏块体北南两侧的祁连、柴达木地块和羌塘拉萨地块,其中祁连、柴达木地块呈现沿北北西向断层走向时空关联的特征。中部的巴颜喀拉块体1900年以来的强震活动经历了4个活跃期,1980年前的3活跃期强震集中在南北边界东段的鲜水河断裂和东昆仑断裂的中东段,并且强震有从西向东迁移的特征。第4活跃期是整个块体的活动,发生了

一系列强震。川滇及云南地区1900年以来经历了2个7级强震活动周期,两个周期的强震活动具有较为同步的时空迁移特征。

青藏高原及内部次级块体的强震活动呈现了相对复杂的时空关联特征,这种关联性由于构造的复杂性和区域动力学环境随时间的改变而呈现了不同的特征。从全时空域对整个青藏块体强震活动特征的研究有助于对其关联特征的认识,从而可以对未来青藏块体强震活动做出一些判断。

综上所述,笔者认为汶川地震是百年来青藏块体的节点性事件,标志着这一轮巴颜喀拉块体的强震活动趋于结束,但由于本轮活动是整个块体的活

动,部分破裂空段仍然有发生6、7级地震的可能。青藏块体北缘的祁连、柴达木地块的6级地震有北北西向断层走向时空关联的特征,门源、德令哈地震后,块体的东段仍然缺6级地震。云南地区96年丽江地震后再未发生7级地震,未来7级地震的首发地震在玉溪地区的可能性较大。拉萨羌塘块体近70年来发生多次6级地震,但缺少7级地震,未来是7、8级强震的值得关注区域。

#### 参考文献:

- [1] Armijo R, Tapponnier P, Mercier J L, et al. Quaternary extension in southern Tibet: field observations and tectonic implications[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91 (B14): 13803-13872.
- [2] Armijo R, Tapponnier P, Han T. Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting in southern Tibet[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94 (B3): 2787-2833.
- [3] 国家地震局地质研究所. 西藏中部活动断层[M]. 北京:地震出版社, 1992.
- [4] 唐荣昌, 韩渭滨. 四川活动断裂与地震[M]. 北京:地震出版社, 1993.
- [5] 尹安. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化—显生宙亚洲大陆生长[J]. *地球学报*, 2001, 22(3): 193-230.
- [6] 尹安. 喜马拉雅造山带新生代构造演化: 沿走向变化的构造几何形态、剥露历史和前陆沉积的约束[J]. *地震前缘*, 2006, 13(5): 1005-2331.
- [7] 张培震, 王琪, 马宗晋. 中国大陆现今构造运动的GPS速度场与活动地块[J]. *地学前缘*, 2002, 9(2): 430-438.
- [8] 张培震, 邓起东, 张竹琪, 等. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程[J]. *中国科学:地球科学*, 2013, 18(43): 1607-1620.
- [9] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. *中国科学(D辑:地球科学)*, 2002, 32(12): 1020-1030.
- [10] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造与地震活动[J]. *地学前缘*, 2003, 10(S1): 66-73.
- [11] 邓起东, 程绍平, 马冀, 等. 青藏高原地震活动特征及当前地震活动形势[J]. *地球物理学报*, 2014, 57(7): 2025-2042.
- [12] 陈玉华, 马文静. 昆仑山口西8.1级地震前地震活动图像演化特征[J]. *高原地震*, 2002, 14(1): 41-47.
- [13] 张晓东, 张永仙, 吕梅梅, 等. 青海昆仑山口西8.1级地震时空强有序特征探讨[J]. *地震学报*, 2003, 25(6): 583-590.
- [14] 刘小凤, 肖丽珠, 梅秀萍, 等. 祁连山地震带地震活动特征及序列类型[J]. *西北地震学报*, 2005, 27(1): 55-60.
- [15] 张培震, 徐锡伟, 闻学泽, 等. 2008年汶川8.0级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(4): 1066-1073.
- [16] 朱红彬. 青藏块体8级左右地震前中强地震活动图像的相似性演化[J]. *地球物理学报*, 2010, 53(7): 1611-1621.
- [17] 张浪平, 邵志刚, 晏锐. 藏东南及周边地区地震活动特征研究[J]. *地震*, 2011, 31(3): 9-18.
- [18] 闻学泽, 杜方, 张培震, 等. 巴颜喀拉块体北和东边界大地震序列的关联性与200年汶川地震[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(3): 706-716.
- [19] 黄圣睦, 董瑞英. 川滇强震活动图像特征及其重复性研究[J]. *内陆地震*, 2015, 29(1): 1-14.
- [20] 吕坚, 宋美琴, 周龙泉, 等. 基于《中国震例》的地震空区和地震条带统计特征[J]. *地震*, 2016, 36(4): 22-34.
- [21] 李建军, 张军龙, 蔡瑶瑶. 东昆仑断裂带历史地震、古地震及地震空区讨论[J]. *地震*, 2017, 37(1): 104-111.
- [22] 吴微微, 梁明剑, 龙锋, 等. 青川断裂及邻区现今地震活动性研究[J]. *地震研究*, 2023, 46(2): 188-203