

郑建常, 李冬梅, 冀东普, 等. 日本与华北地区强震活动相关性再讨论[J]. 华南地震, 2022, 42(4): 7-19. [ZHENG Jianchang, LI Dongmei, JI Dongpu, et al. Rediscussion on the Correlation of Strong Earthquake Activities Between Japan and North China[J]. South China journal of seismology, 2022, 42(4): 7-19]

## 日本与华北地区强震活动相关性再讨论

郑建常, 李冬梅, 冀东普, 戴宗辉

(山东省地震局, 济南 250014)

**摘要:** 大量研究认为, 日本地区强震活动与华北地区的中强地震活动之间存在一定相关关系。通过梳理太平洋板块西北缘俯冲带的大震活动, 在搜集历史资料的基础上, 结合构造背景, 重新对日本与华北地区强震活动的相关性进行了分析, 最终认为: 日本地区8级以上大震与华北地区6级强震之间不存在一一对应的直接相关关系; 日本和华北地区大的地震活动期和稳定期具有某种对应性, 华北地区活动期的强释放阶段与东西两个构造边界活动存在联系; 2011年日本“311”9.0级地震的余震活动基本结束, 日本地区可能已经恢复背景的活动节律; 当前华北地区可能仍处于活动期末尾的调整期, 未来几年, 华北地区仍存在进入剩余释放阶段最后一个活跃幕的可能。

**关键词:** 历史地震; 期幕活动; 动力边界; 相关性

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2022)04-0007-13

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.04.02

## Rediscussion on the Correlation of Strong Earthquake Activities Between Japan and North China

ZHENG Jianchang, LI Dongmei, JI Dongpu, DAI Zonghui

(Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, China)

**Abstract:** A large number of studies suggest that there is a certain correlation between strong earthquakes in Japan and moderate-strong earthquakes in North China. This paper reviews the large earthquake activities in the subduction zone of the northwestern margin of the Pacific plate. On the basis of collecting historical data, combining with the tectonic background, the correlation between strong earthquake activities in Japan and North China is analyzed again. In the end, it is considered that there is no one-to-one correspondence between the earthquakes with  $M \geq 8$  in Japan and the strong earthquakes of  $M6$  in North China. There is a certain correspondence between the large earthquake activity period and the stable period in Japan and North China, and the strong release phase of the active period in North China is related to the activities of the two tectonic boundaries in the east and west. The aftershocks of the "311"  $M9.0$  earthquake in Japan in 2011 has basically ended, and the background activity rhythm may have been restored in Japan. At present, North China may still be in the adjustment period at

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 中国地震科学实验场地震可预测性国际合作项目(2018YFE0109700); 中国局地震大形势跟踪工作及震情跟踪定向任务(2022010120)联合资助。

作者简介: 郑建常(1978-), 男, 博士, 研究员, 主要从事地震活动性分析工作。

E-mail: zjcmail@yeah.net

the end of the active period. In the next few years, there is still the possibility of entering the last active episode of the remaining release phase in North China.

**Keywords:** Historical earthquake; Episodic activity; Dynamic boundary; Correlation

0 引言

太平洋板块对亚欧大陆板块的俯冲作用是我国华北地区构造运动的重要动力源之一. 许多学者研究认为, 位于太平洋板块俯冲带的日本地区的强震活动与华北地区的中强地震活动之间存在一定的相关关系<sup>[1-5]</sup>. 2011年3月11日日本宫城东北海域9.0级地震发生后, 国内普遍认为这次大震的发生将对华北地区未来强震活动产生重要影响<sup>[6]</sup>. 当前, 华北地区6级地震长期平静, 关于华北地区目前是否进入新的平静期出现了不同的认识<sup>[7-8]</sup>; 平静期还是平静幕的问题决定了对华北地区未来数十年活动趋势的判定, 对该区域防震减灾工作的规划和开展具有至关重要的意义. 在此背景下, 进一步分析日本地区与华北地区强震活动的关系尤为重要, 对准确判定华北地区当前活动阶段这一问题也有很大的帮助.

我们在进一步搜集历史资料的基础上, 结合构造背景, 重新对日本与华北地区强震活动的相关性进行了分析, 最终结合最近日本本州东岸3次7级地震, 讨论了2011年日本9.0级大震对华北地区地震活动的影响.

1 数据与资料

参考Slab 2.0<sup>[9]</sup>, 中国大陆构造块体的东边界存在一个双重俯冲, 菲律宾海板块沿着琉球海沟向欧亚大陆板块的俯冲, 太平洋板块沿着日本海沟、千岛群岛-勘察加海沟向欧亚大陆板块的俯冲, 以及太平洋板块沿马里亚纳海沟向菲律宾海板块的俯冲; 从构造动力学的角度, 这四个海沟区域的俯冲作用都可能对华北地区地震活动产生影响. 因此我们的研究以这四个海沟的大震活动为主, 图1给出了1900年以来中国大陆东边界8级以上大震分布.

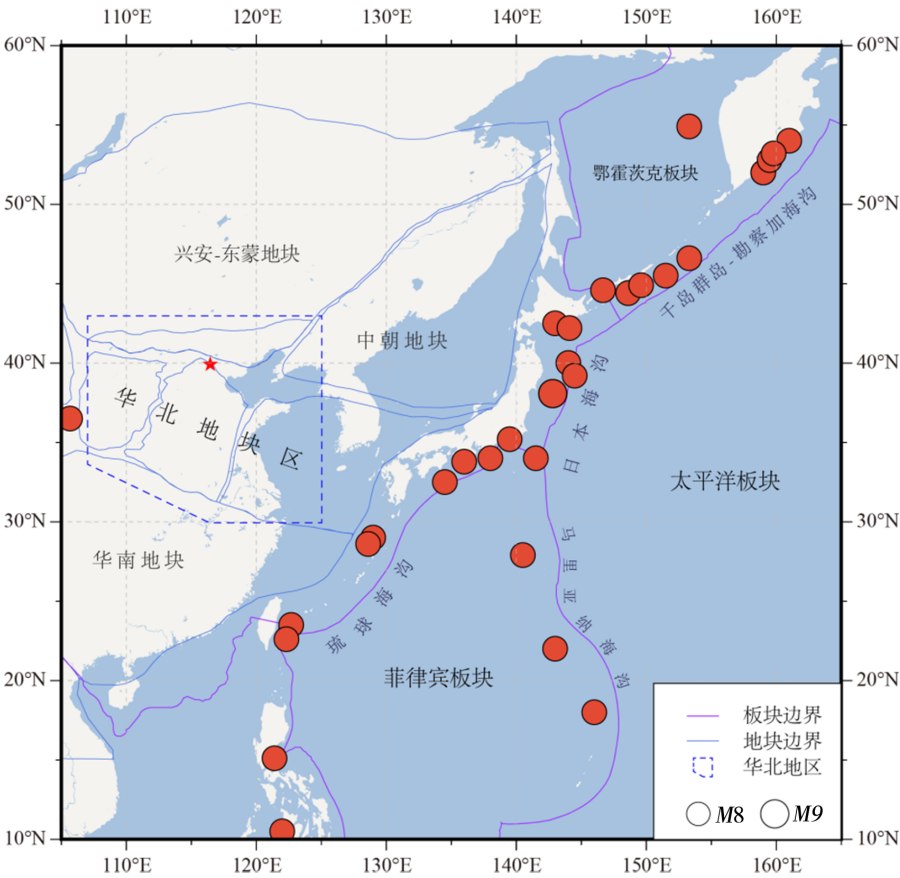


图1 中国大陆东边界M≥8.0地震分布

Fig.1 Distribution of earthquakes with  $M \geq 8.0$  on the eastern boundary of mainland China

表 1 华北地区第三、第四活动期平静幕的划分结果

Table 1 The division results of quiet episode during the third and fourth active periods in North China

	平静幕	平静起始 时间/(年-月-日)	地 点	震级/ $M_s$	间隔/a	平静结束 时间/(年-月-日)	地 点	震级/ $M_s$
第三 活动期	1	1505-10-19	黄 海	$6\frac{1}{2}$	18.38	1524-02-14	河南许昌	6.0
	2	1568-05-25	陕西西安东北	$6\frac{3}{4}$	18.94	1587-04-10	河南修武东	6.0
	3	1628-10-07	河北怀安	$6\frac{1}{2}$	13.74	1642-06-30	山西安邑西	6.0
	4	1704-09-28	陕西陇县	6.0	15.80	1720-07-12	河北沙城	$6\frac{3}{4}$
第四 活动期	1	1831-09-28	安徽凤台东北	$6\frac{1}{4}$	14.90	1846-08-04	黄 海	7.0
	2	1861-07-19	辽宁金县	6.0	17.77	1879-04-04	黄 海	$6\frac{1}{2}$
	3	1888-06-13	渤海湾	$7\frac{1}{2}$	21.58	1910-01-08	黄 海	$6\frac{3}{4}$
	4	1948-05-23	山东威海海中	6.0	17.86	1966-03-08	河北隆尧东	6.8
	5	1998-01-10	河北张北	6.2	24.30			

注:华北地区 6 级地震平静时间截至 2022 年 4 月 30 日。

本文在分析华北地区地震活动时,存在两个概念:华北地块区和华北地区。华北地块区依照张国民等<sup>[10]</sup>二级活动地块的划分,而华北地区范围则参考了薛艳等<sup>[7]</sup>、尹晓菲等<sup>[8]</sup>给出的范围(见图 1)。华北地区期幕划分则参考尹晓菲等<sup>[8]</sup>给出的划分方案(见表 1)。1900 年以前的历史地震目录,国内的使用了中国地震局监测司预报管理处整编的《中国地震目录》,日本地区的目录来自于宇津德治教授编制的《世界の被害地震の表》<sup>[11-12]</sup>。

2 现代 8 级以上大震影响分析

2.1 太平洋板块西北缘俯冲带 8.5 级以上特大地震

1900 年以来的全球大震目录中,“311”地震

之前,日本地区没有 9 级以上地震发生。为对比分析类似巨大地震对华北强震活动的影响,我们将下限震级放宽到 8.5 级,并将研究区域扩大到太平洋板块的整个西北缘俯冲带。首先分析这一区域 8.5 级以上特大地震与华北 6 级以上强震的对应关系。

该区域内 1900 年以来仅发生 8.5 级以上地震 4 次(图 1),除 2011 年日本“311”9.0 级地震外,其余 3 次都发生在千岛群岛—勘察加海沟,琉球海沟和马里亚纳海沟没有发生 8.5 级以上地震。对比分析该区域 8.5 级以上大震与华北地区  $M\geq 6.0$  级强震(图 2),千岛群岛—勘察加海沟 3 次 8.5 级以上大震中,两次发生在华北地区第四活动期第五平静幕,华北地区 6 级以上地震平静,距离其后的开幕震时间间隔分别为 13.3 年和 2.4 年;1923 年勘察加半岛的 8.5 级地震发生时华北地区处于活跃幕,但此次

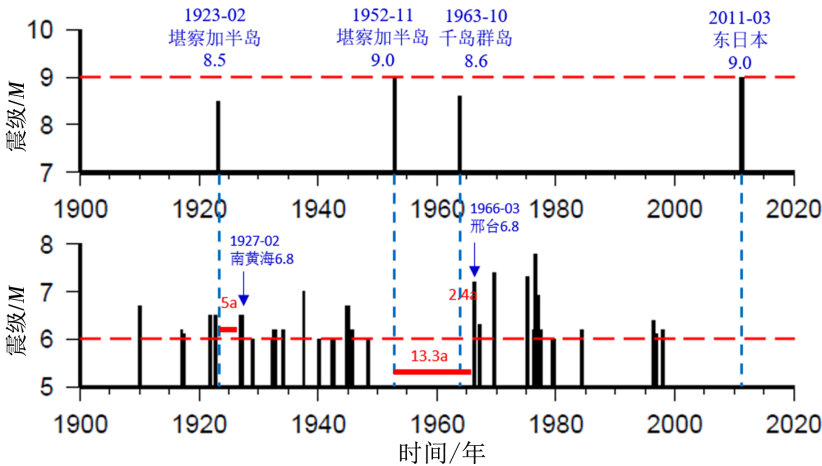


图 2 太平洋板块西北缘俯冲带 8.5 级以上大震与华北地区 6 级地震对比

Fig.2 Comparison between earthquakes with  $M\geq 8.5$  in the subduction zone of the northwestern margin of the Pacific plate and the earthquakes of  $M6$  in North China

地震发生后,华北地区并没有中强震活动响应,直到5年后华北地区才发生南黄海6.8级地震。从板块构造上看,千岛群岛—勘察加海沟俯冲带欧亚大陆一侧为鄂霍茨克次级板块<sup>[13]</sup>,太平洋板块的俯冲方向为NW,且与华北地块间隔着阿穆尔地块、兴安—东蒙地块等多个构造单元,从构造动力学的角度可以认为该区大震与华北地区强震活动的直接关系不大,更多地是通过影响日本海沟强震活动与华北地区间接产生联系。

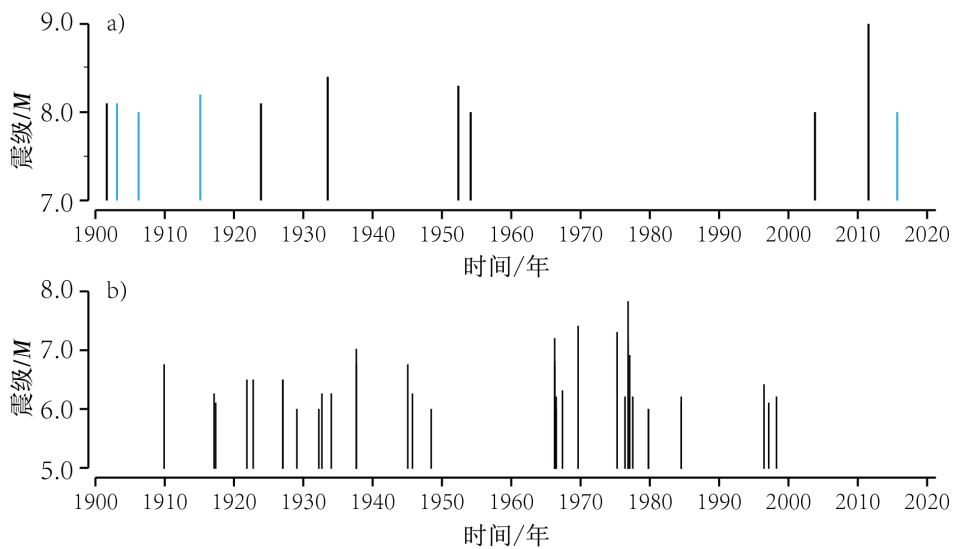
2.2 日本及马里亚纳海沟地区

日本及马里亚纳海沟地区1900年以来共发生8

级以上地震11次(表2),其中4次为中深源地震,均发生在马里亚纳海沟俯冲带上;从该区与华北地区 $M\geq 6.0$ 级地震 $M-t$ 图对比来看,基本上每次日本及马里亚纳海沟地区8级以上地震后3年内,华北地区都没有6级以上地震发生。唯一一次例外是1933年3月2日日本本州东岸近海的 $M_s8.4$ ,这次地震前后一年时间内,华北地区先后发生了1932年4月6日湖北麻城6.0、1932年8月22日南黄海 $6\frac{1}{4}$ 、1934年1月21日内蒙五原 $6\frac{1}{4}$ 等三次强震,并在4年后发生了1937年8月1日山东菏泽7.0级地震。

表 2 日本及马里亚纳海沟 1900 年以来 8 级以上大震  
Table 2 Large earthquakes with  $M\geq 8$  in Japan and the Mariana Trench since 1900

时间/( 年-月-日 )	纬度/( ° )	经度/( ° )	震级/ $M$	深度/km	参考位置
1901-08-09	144.00	40.00	8.1	35	日本海沟
1902-09-22	146.00	18.00	8.1	300	马里亚纳海沟
1906-01-21	138.00	34.00	8.0	340	马里亚纳海沟
1914-11-24	143.00	22.00	8.1	110	马里亚纳海沟
1923-09-01	139.50	35.20	8.1	35	日本海沟
1933-03-02	144.50	39.20	8.4	40	日本海沟
1952-03-04	143.00	42.50	8.3	29	北海道
1953-11-25	141.50	34.00	8.0	40	日本海沟
2003-09-26	144.10	42.20	8.0	27	北海道
2011-03-11	142.50	38.10	9.0	30	日本海沟
2015-05-30	140.55	27.75	8.0	690	马里亚纳海沟



(a)日本及马里亚纳海沟大震 $M-t$ 图,蓝色线条为中深源地震;(b)华北地区 $M\geq 6.0$ 级地震 $M-t$ 图;

图3 日本及马里亚纳海沟 $M\geq 8.0$ 级大震与华北地区 $M\geq 6.0$ 级地震对比

Fig.3 Comparison of earthquakes with  $M\geq 8.0$  in Japan and the Mariana Trench and earthquakes with  $M\geq 6.0$  in North China

1933年3月2日日本本州东海域发生的 $M_s8.4$ 级地震是一次非常特殊的大震。这次地震引发了高达28.7 m的巨大海啸,在日本三陆海岸产生了毁灭性的破坏,导致3000多人罹难,甚至在夏威夷也产生了破坏性海浪。这次地震还是有记录以来最大的正断层地震<sup>[14]</sup>,而日本海沟俯冲带的浅源地震,基本上都是逆冲的震源机制。这次地震与本区其他8级以上地震在华北地区地震响应的不同,可能和这次地震特殊的机制有关。

另外一个值得注意到现象是,1952年堪察加半岛9.0地震前后,日本本州和北海道等地曾先后发生8级地震,1953年11月25日本州海域8.0级地震后,日本海沟地区出现了长达50年的8级地震平

静;而这一时段,正是华北地区第四活动期的第五活跃幕,是整个活动期中地震能量的集中释放阶段。

2.3 菲律宾海板块西北缘

菲律宾海板块西北缘,即琉球海沟俯冲带上,1900年以来发生8级以上大震4次(表3)。与日本海沟相比,该地区与华北地块的空间距离更近。从该区8级大震与华北地区6级强震的对应统计看,其与华北地区的相关性可能更强一些。但由于该区8级以上大震数量过少,无法反向验证其与华北地区6级以上强震的相关关系。

表3 琉球海沟俯冲带8级以上大震与华北地区6级以上地震对应  
Table 3 Correspondence between large earthquakes with  $M \geq 8$  in the Ryukyu Trench subduction zone and earthquakes with  $M \geq 6$  in North China

时间/(年-月-日)	纬度/(°)	经度/(°)	震级/ $M$	深度/km	参考位置	华北地区对应活动	间隔时间/年
1911-06-15	29.00	129.00	8.1	160	琉球海沟	1910-01-08 黄海6 $\frac{3}{4}$	-1.43
1944-12-07	33.78	136.00	8.1	20	纪伊半岛	1945-09-23 滦县6 $\frac{1}{4}$	0.79
1946-12-20	32.50	134.50	8.1	35	南海道	1948-05-23 威海6.0	1.42
1981-01-02	28.60	128.60	8.0	225	琉球海沟	1984-05-21 勿南沙6	3.38

3 历史地震相关性分析

现代地震记录只有一百年的时间,对8级以上大震仍嫌样本量不足;故此我们进一步考虑历史地震活动的对比。华北地区历史地震记录较为丰富,1484年以来5级以上地震记录完整<sup>[15]</sup>;我们多渠道收集了日本地区的历史地震记录,并将日本

地区 $M \geq 7$ 和华北地区 $M \geq 6$ 的历史地震进行对比分析(图4)。受历史资料所限,本节中“日本地区”仅限于北起北海道、南至九州岛的日本本岛及其近海。日本地区的历史地震记录当然不如华北地区久远和全面,但自1603年进入江户时代后,日本本岛及近海地区发生的 $M \geq 7$ 级大震应该相对比较完整。

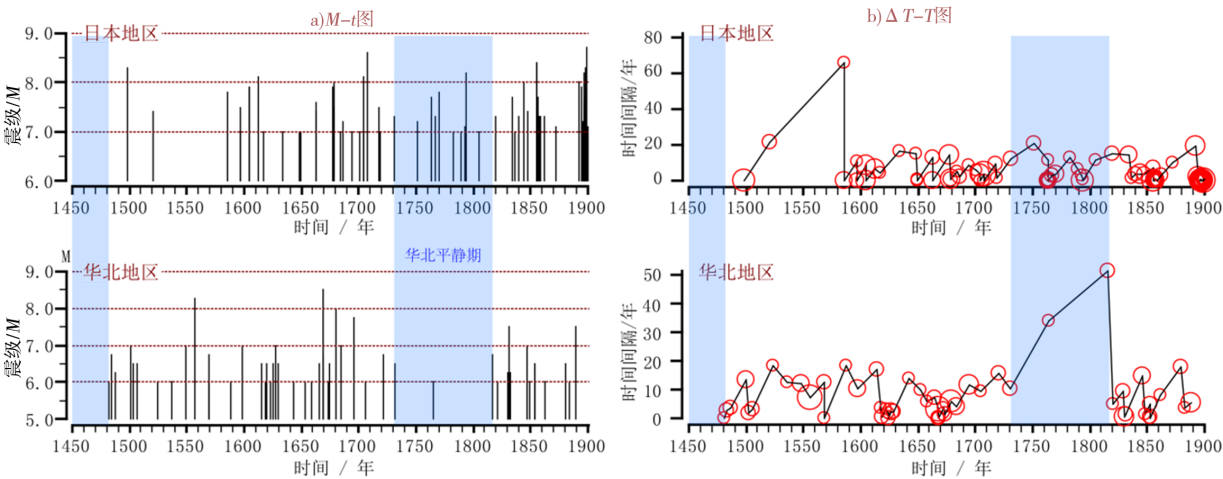


图4 日本与华北地区历史地震对比图  
Fig.4 Comparison of historical earthquakes between Japan and North China



3.1 活动周期对比分析

从  $M-t$  图和时间间隔图的简单对比, 大体上印证了前人的观点, 即二者大地震的活动期和稳定期具有某种对应性。如: 1730—1750 年日本地区活动减弱, 华北地区进入平静期; 1700 年前后日本地区大震的集中活动, 与华北地区 17 世纪下半页的强释放阶段相对应。

1670—1710 年间, 日本地区密集地发生了 3 次 8 级地震, 尤其 1707 年的宝永地震, 其破裂尺度可能已经接近 2011 年东日本的“311”地震。同一时段内, 华北地区也是强震频发: 从 1668 年郟城 8½ 到 1679 年三河平谷 8.0、1683 年山西原平 7.0、1695 年山西临汾 7¾, 最后到 1739 年平罗 8.0; 并且在朝鲜半岛也发生了该区历史上最大一次地震, 即 1681 年襄阳大地震 (估计震级  $M7.3$ , 最高  $M7.5$ ) [16-17]。

华北地区的这轮强震, 有研究认为存在板块

边界到内部地震活动迁移的现象<sup>[18]</sup>, 但我们认为 Zhang<sup>[19]</sup>提出的华北地区“书架式”构造格架可以很好地从机理上解释这一活动现象; 1739 年平罗 8.0 级大震, 不应该认为是华北内部这一组大震迁移的结果, 而更应该被视为华北地块西边界的活动影响, 因为此次地震前分别发生了 1709 年宁夏中卫和 1718 年甘肃通渭的两次 7.5 级大震, 并且在 1713 年还发生了四川茂县叠溪的 7.0 级地震, 无论同构造背景还是活动性质, 这一组活动的关系都更密切。

通过 1600 到 1750 这 150 年华北地块区与东西两个动力边界大震活动的对比 (图 5), 可以发现, 从 1609 年酒泉 7¼、1622 年固原 7.0 到 1654 年天水 8.0 大震, 是青藏高原东北缘由西向东先开始活动; 然后东边界从 1611 年庆长三陆  $M8.1$  级地震到 1707 年宝永地震, 8 级大震向南迁移; 迁移过程中华北地块区发生大震活动的集中释放。华北地块区地震活动受东西两个构造边界的影响是毋庸置疑的。

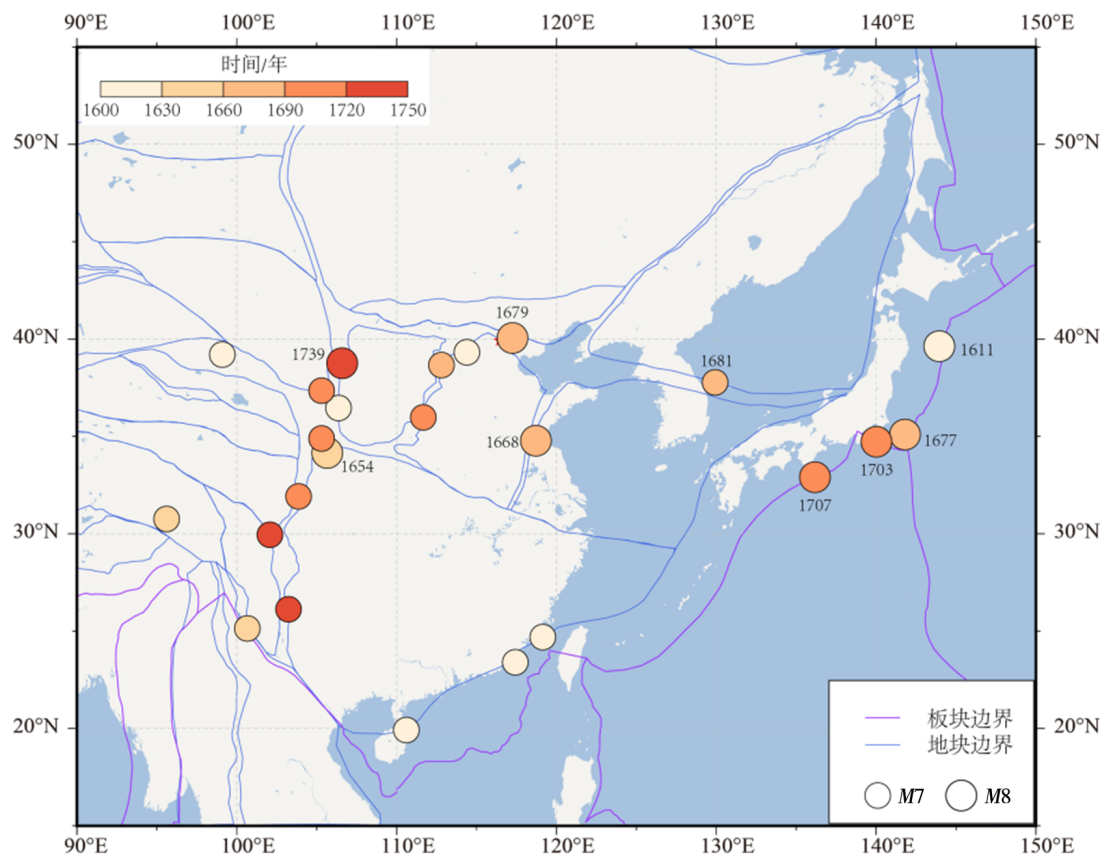


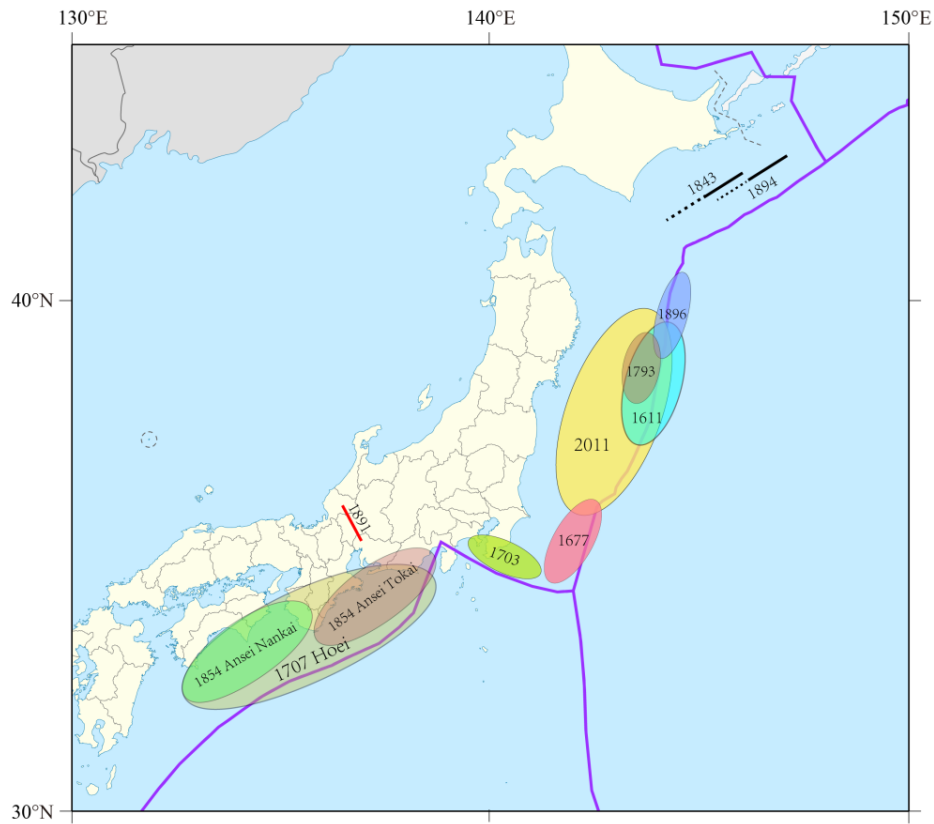
图 5 1600—1750 年华北地块及周边动力边界 7 级以上大震分布  
Fig.5 Distribution of large earthquakes with  $M \geq 7$  in the North China block and its surrounding dynamic boundary from 1600 to 1750

3.2 日本地区历史8级大震影响分析

通过收集资料,我们给出了1600—1900年之间日本地区12次8级大震的破裂区分布(图6)<sup>[20-22]</sup>。这12次地震中,1891年濃尾地震(或称美浓尾张地震)发生在陆地区域,是日本历史上最大

的内陆地壳地震,其余都发生在板块俯冲带上,其中有4次大致发生在2011年“311”地震破裂区内:

(1)1611年12月2日慶长三陸地震。估计震级 $M8.1(M_w>8.5)$ ,普遍认为是日本海沟附近发生的地震,但也有研究认为是千岛海沟附近的 $M9$ 级地震<sup>[23]</sup>。



破裂区范围根据文献<sup>[20-22]</sup>重绘

图6 日本海沟历史大震破裂区示意图

Fig.6 Schematic diagram of the rupture zone of historical earthquake in the Japan Trench

(2)1677年11月4日延宝房総沖地震,震中在房总半岛以东海域,推测震级为8级以上,最新的研究认为可能在 $M_w8.3\sim8.6$ 级<sup>[22]</sup>。这次地震造成福岛县、千叶县等地遭受海啸,并在茨城县地区历史上造成最大的海啸破坏。

(3)1793年2月17日的寛政地震。这次地震发生在仙台海域,估计震级为 $M8.0\sim8.2$ <sup>[24]</sup>,也基本位于“311”地震破裂范围内(图6)。

(4)1896年6月15日明治三陸地震。这次地震发生在日本岩手县釜石町以东200 km的三陆海域,估计震级在 $8.2\sim8.5$ 级。这次地震引发了规模巨大的海啸,最高记录达到38.2m,并造成的2万多人的死亡/失踪。

有两次发生在北海道地区的海沟区域,1843年4月25日天保十勝沖地震和1894年3月22日根室半島沖地震,这两次地震的破裂区域和破裂规模与1952年3月4日北海道8.3、2003年9月26日北海道8.0两次8级地震相当<sup>[25]</sup>;并且在时间上,后三次地震后发生在华北地区平静幕,1843年天保十勝沖地震发生在平静期,后续均没有华北地区6级以上地震与之对应。

另外有4次发生在与菲律宾海板块相关的构造上:

(1)1854年12月23日安政東海地震和12月24日安政南海地震。这两次地震规模相近,都被认为在8级以上,安政東海地震估计矩震级在 $M_w8.4\sim8.6$ ,安政南海地震估计在 $M_w8.5\sim8.7$ <sup>[26]</sup>

(2)1703年12月31日元禄关东地震。估计震中在相模海槽沿线,位于房总半岛南端千叶县野岛崎附近,震级估计为 $M7.9\sim 8.5$ 。由于是与1923年发生的大正关东 $M_s8.2$ 大地震同类型的海沟型地震,震中分布图也类似,因此被认为是大正关东地震前发生的巨大相模海槽地震。有研究认为,这次地震造成地壳运动规模要大于大正关东地震<sup>[27]</sup>。

(3)1707年10月28日宝永地震。这次地震发生在东海道外海到南海道外海,据估计,几乎整个南海海槽都发生了板间断层破裂,震级估计范围从8.4到9.3,被认为是日本有记录以来最大的地震之一<sup>[28]</sup>。日本“311”9.0级大地震的发生,使得日本地震学界又重新审视宝永地震,从震源模型、破裂分布等等有了更多的研究<sup>[21, 29-30]</sup>。

从时间的直观对比统计上看,似乎并不存在简单的相关对应:1896年6月15日明治三陆地震发生在华北第四活动期第三平静幕,之前活跃幕最后一个事件是1888年渤海湾 $7\frac{1}{2}$ 级地震,间隔8.0a,其后13.56a是第四活跃幕的开幕震(1910年1月8日黄海 $6\frac{3}{4}$ );1793年2月17日宽政地震后22.68年,1815年10月23日,山西平陆发生 $6\frac{3}{4}$ 级地震,华北地区进入第四活跃期;1707年日本宝永大地震前后,华北地区反而位于平静幕,6级地震平静接近16年,最终被1720年河北沙城 $6\frac{3}{4}$ 级地震打破;并且1703年元禄关东地震和1707年宝永地震发生时,华北地区的集中强释放已经结束。

### 3.3 南海海槽历史破裂分析

尤为值得关注的是1707年宝永地震,从估计的破裂尺度上,1707年宝永地震的规模与2011年日本“311”大地震大致相当(图7),研究2011年“311”地震对华北的影响,宝永地震是很好的参照。两次地震发生的时机较为一致,都发生在华北地区活动期末期的平静幕内,根据尹晓菲等<sup>[8]</sup>研究,华北地区的一个活动期内,根据应变能释放,可以分为积累期、预释放期、主释放期和调整期(图7)。对比宝永地震和“311”地震,两次地震都发生在华北地区的主释放期后的调整期内,1707宝永地震发生时间距华北第三活动期的最大事件即1668年郯城8.5级地震39.25年,2011年“311”地震距华北第三活动期的最大事件即1976年唐山7.8级地震34.62年。如果这样类比,宝永地震后12.7年发生1720年河北沙城 $6\frac{3}{4}$ 级地震,华北地区进入第三活动期的剩余释放阶段最后一个活跃幕,那么2011年“311”地震至今已超过11年,未来几年华北地区是否也有进入第四活动期最后一个活跃幕的可能?

南海海槽也是日本地震预报研究最为深入的地区<sup>[31]</sup>。日本地震学界根据研究,将南海海沟震源区分为5段,在历史地震记录中,南海海沟曾多次同时或在很短间隔内发生东海、东南海、南海连锁大地震(图8)<sup>[32-33]</sup>。

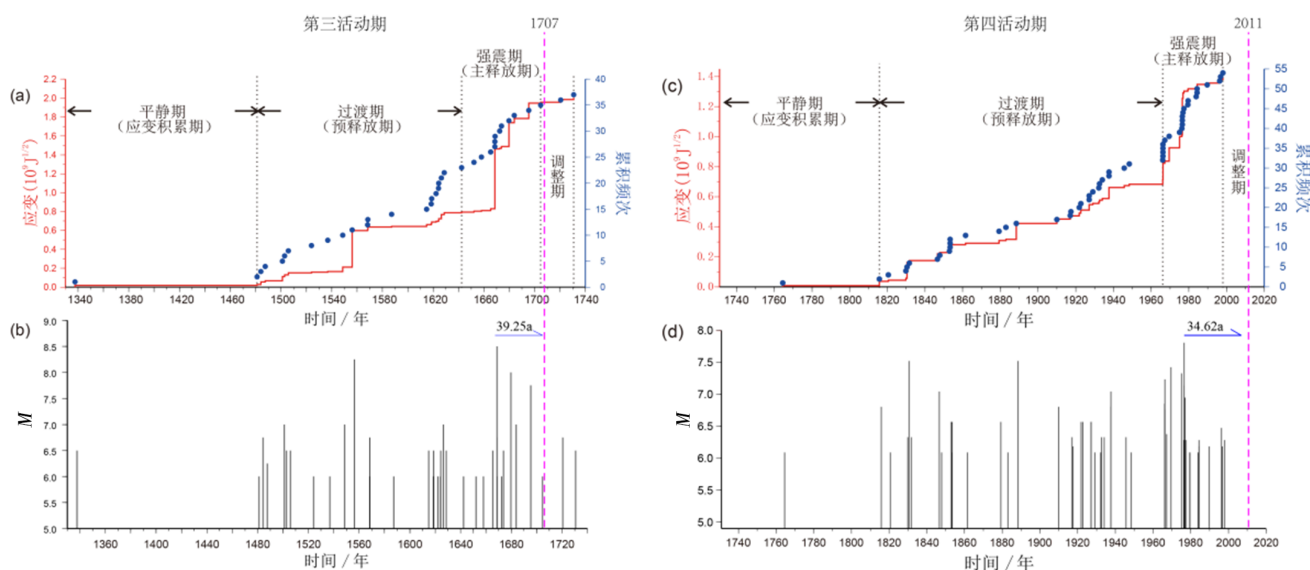


图7 1707年宝永地震和2011年“311”地震与华北活动期对比

Fig.7 Comparison of Baoyong earthquake in 1707 and the "311" earthquake in 2011 with the active period in North China

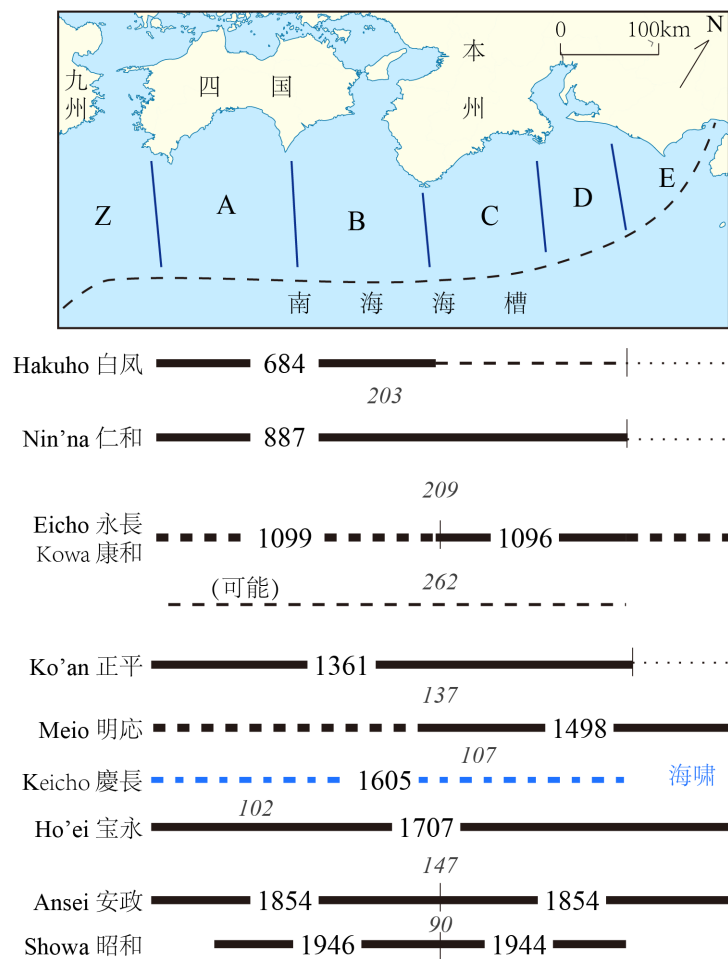


对比公元1000年以来南海海槽历史破裂和华北地区活动期的关系:1096年永長地震和1099年康和地震发生在华北第一活动期的末尾,距第一活动期最大事件1038年定襄7¼地震分别约58年和61年,1361年正平地震发生在华北第二活动期结束,平静期的开始阶段,距离第二活动期最大事件1303年洪洞8级地震同样约58年。再加上1707年宝永地震和2011年“311”地震,这几次特大地震都发生在华北活动期的主释放阶段后,从动力学角度,似乎是华北内部“书架式”构造框架一轮持续活动后,在东边界最终发生的活动。

但问题并不这么简单:1498年明应地震发生时,华北处于活跃幕;1605年的慶長地震,从日本关东到九州的太平洋沿岸都受到海啸的严重破坏,华北处于平静幕(慶長地震距第三活动期预释放阶段的最大地震1556年华县8¼约49年);1854年安政南海和东海大地震,位于华北第四活动期

第二活跃幕,值得注意的是,这一活跃幕中,南黄海发生5次6级地震和1次7级地震,可能和南海海槽的这次大破裂有关;1944昭和東南海地震和1946年昭和南海地震也位于华北地区活跃幕内,之前7.4(9.4)年发生了华北地区20世纪上半叶最大的1937年菏泽7.0级地震,其后1948年5月23日发生了威海海域6.0级地震。

公元800年以来华北地区的4个平静期中前三个的时长都超过了100年,唯独第四平静期时长只有84年,并且中间还额外地发生了一次6级地震(1764年6月27日南黄海M6.0)。如果说我们认为江户时代以来日本地区7级以上地震完整,那么从1707年宝永地震到1793年寛政地震85.3年的8级地震平静,是我们掌握的相对较完整的资料里日本地区最长的8级地震平静时间间隔,可能与华北地区的平静期有关。



根据参考文献[33]等重绘

图8 日本南海海槽破裂历史示意图

Fig.8 Schematic diagram of the rupture history of the South China Sea Trough in Janpan

#### 4 日本“311”9级地震影响分析

2021年初,日本本州东海岸连续两次7级地震(2021年2月13日 $M7.1$ 和2021年3月20日 $M7.0$ ),打破了日本地区自2016年11月22日本州东海岸 $M7.2$ 地震后长达4.2 a(1543 d)的7级地震平静。日本地区是全球地震活动最为强烈的地区之一,从1900年以来的活动统计上看(图9),超过1500 d的

7级地震平静此前仅出现过两次,时间间隔最长的1次为2306 d(1953年11月25日8.0至1960年3月20日7.0),而当时在日本海沟毗邻地区发生了1952年11月4日勘察加9.0级地震,正如前面的分析,这一长时间7级地震平静可能也是勘察加9.0级地震的影响,但几乎同期,华北地区正处于第四活动期第五平静幕(1948年5月24日至1966年3月7日)。

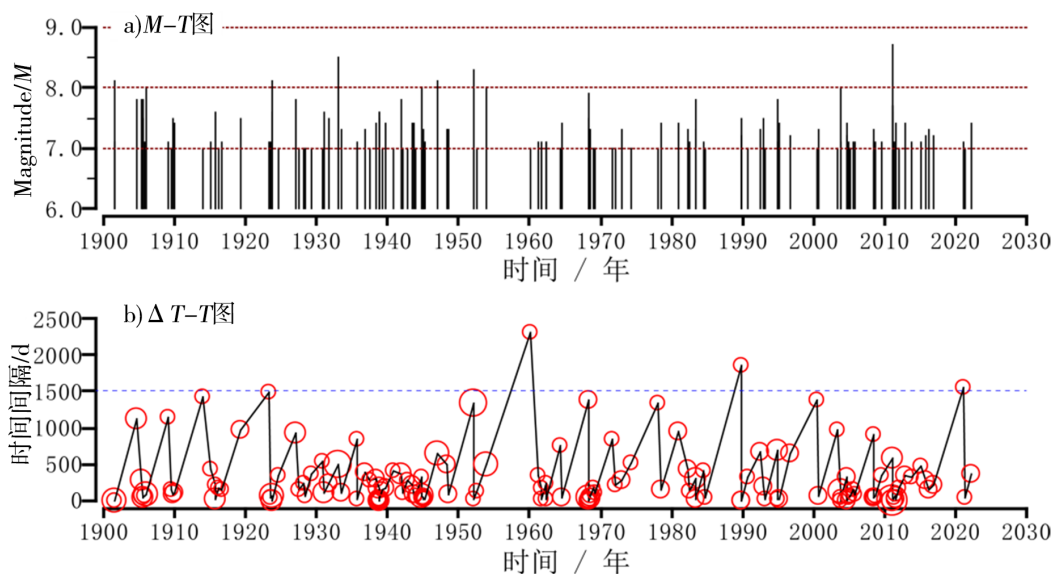


图9 日本地区7级地震 $M$ - $T$ 图与时间间隔图

Fig.9  $M$ - $T$  map and time interval map of the  $M7$  earthquakes in Japan

按照传统的认识,日本海沟7级强震发生后,华北地区应当在较短时间内发生6级以上地震与之对应,但华北地区至今并没有发生6级以上地震。2022年3月16日,日本本州东海岸再次发生 $M7.4$ 级地震。这三次7级地震都发生在日本“311”9级地震的破裂区内,这三次地震是否为日本“311”9.0级地震的余震对大形势研究也是重要的一个问题。

参考相关研究<sup>[32-34]</sup>,选择日本“311”9.0级大地震破裂区如图10所示,给出了该区域 $M \geq 5.0$ 级地震的 $M$ - $t$ 图和时间间隔图(图10)。可以发现该区域 $M \geq 5$ 级以上地震呈现出较好的余震衰减,发震时间间隔不断增大,直到2019年出现超过100天的平静,2019年后发震时间间隔又逐渐缩短。对比该区1970年以来的统计结果看,该区5级地震平均发震间隔为21 d(图11),2021年这一区域

的5级地震活动已达到这一水平。因此分析认为,这一现象可能表明2011年日本“311”地震的余震活动基本结束,破裂区三次7级地震的发生,或许意味着日本地区地震活动恢复背景的活动节律。

从“311”地震之前该破裂区的 $M \geq 5.0$ 地震统计结果看(图11),除20世纪70年代早期可能存在记录不全的现象外,其余时段最长时间间隔出现在2007年,平静时间超过1年,恰好出现在中国大陆发生的汶川8.0级地震前,该平静被打破后,2008年5月8日日本本州茨城县远海发 $M7.1$ (USGS测定震级为 $M6.9$ )地震,随后就是5月12日的汶川地震。这一现象应当说不是巧合,而是具有严格的地球动力学背景,表明了中国大陆东边界和内部青藏高原边界之间存在深层动力上的联系。

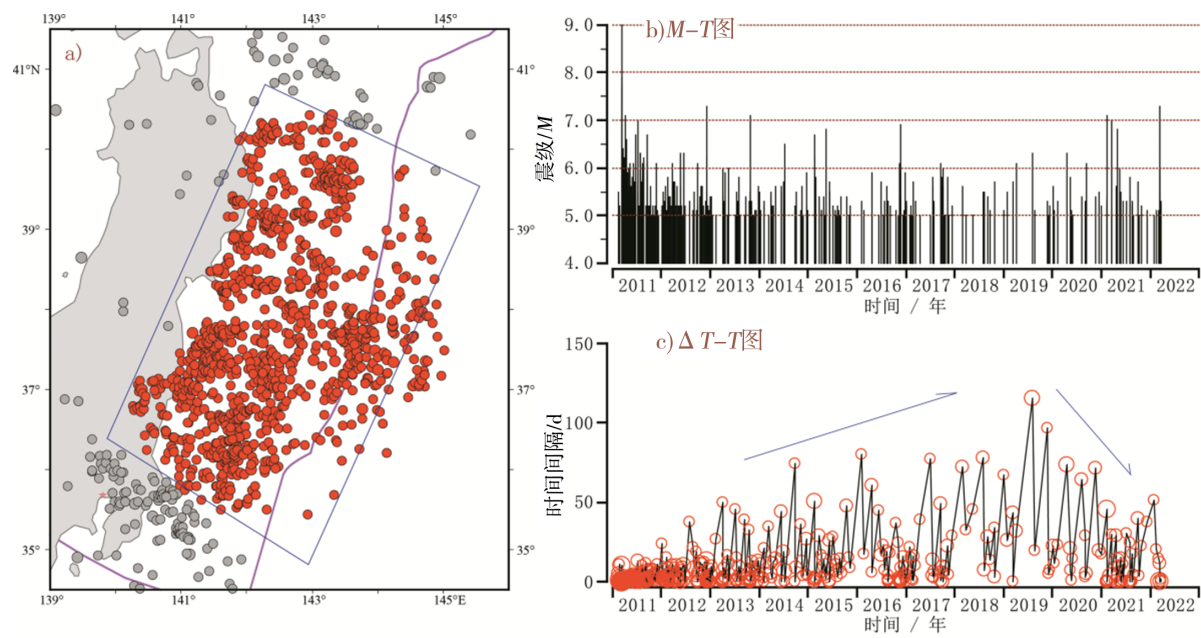


图10 日本“311”9级地震破裂区  $M \geq 5.0$  地震活动统计结果

Fig.10 Statistical results of seismic activity with  $M \geq 5.0$  in the rupture zone of the “311”  $M9$  earthquake in Japan

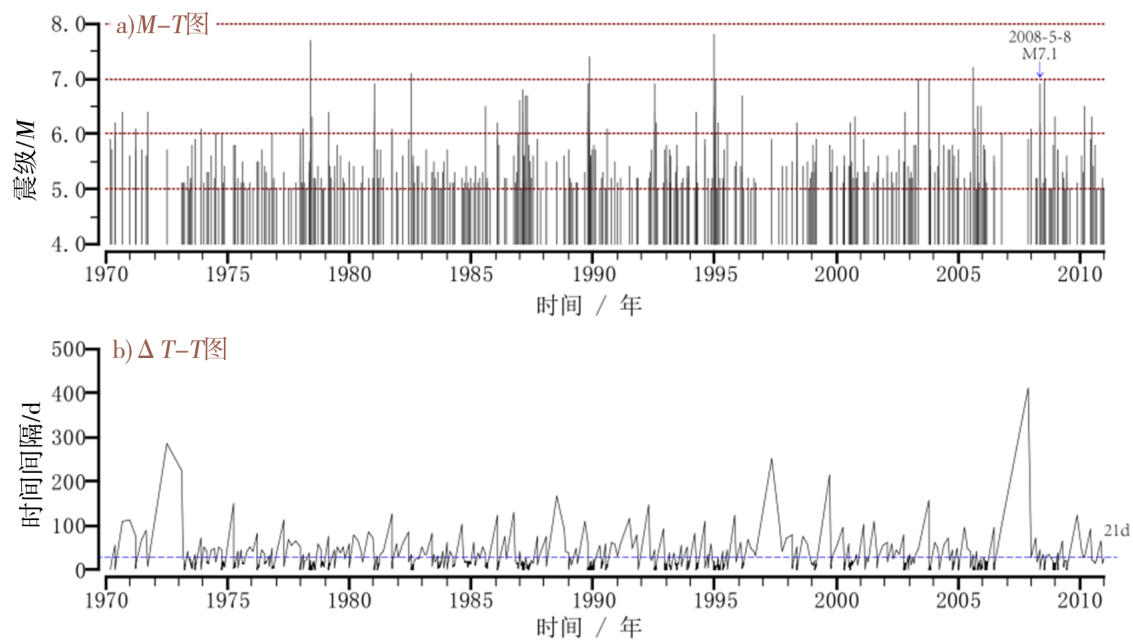


图11 日本“311”9级地震破裂区1970—2010年  $M \geq 5.0$  地震活动统计结果

Fig.11 Statistical results of seismic activity with  $M \geq 5.0$  in the rupture zone of the “311”  $M9$  earthquake in Japan from 1970 to 2010

最后，我们再次将“311”地震放到华北活动期里讨论其对华北地区的影响。前面讨论了第三活动期集中释放阶段与1707年宝永地震的关系，同样地我们对比分析1950到2020这华北地块区与东西两个动力边界大震活动(图12)，可以发现，青藏高原东北缘1954年先后发生了山丹7¼和腾格里7.0两次大震，1966—1976年华北地区主释放阶段日本地区没有发生8级以上地震，但朝鲜半岛东

侧1975年发生了该区罕见的超过500 km的7.4级深震；日本南部到琉球岛弧是华北地块区的东边界，统计显示：九州岛地区1970年以来平均10年左右发生1次7级地震，但在1960—1970年间，该区连续发生了4次7级以上地震，最大为1968年4月1日日向灘7.5，这一活动的显著增强与华北地区的强释放活动基本同步，同样表明了二者之间的关系。

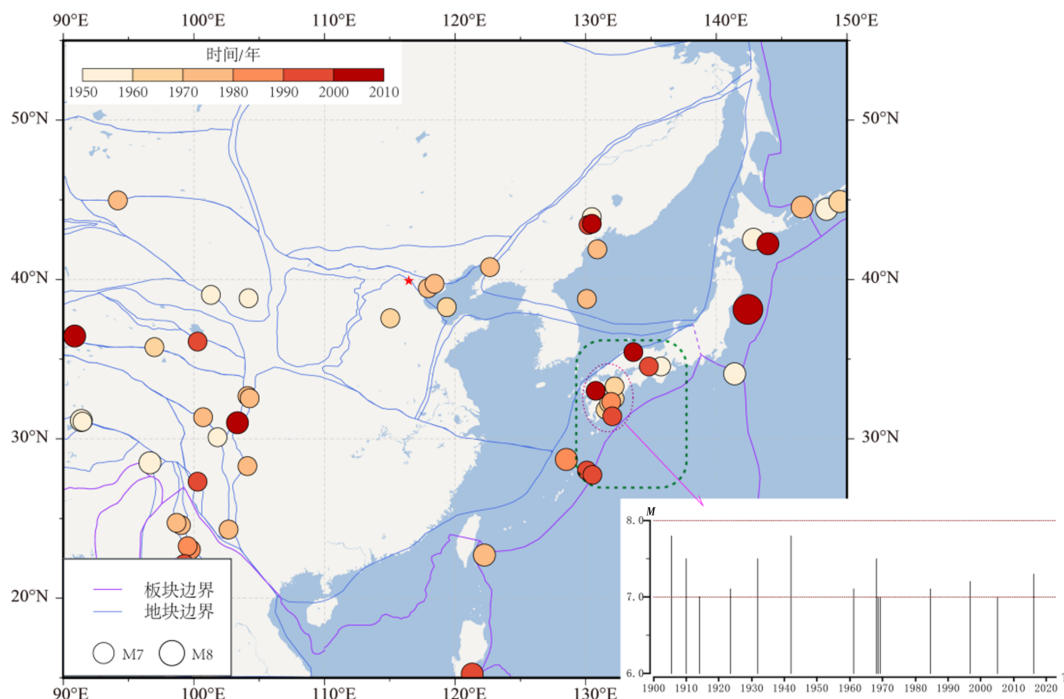


图12 1950—2020年华北地块及周边动力边界7级以上大震分布

Fig.12 Distribution of large earthquakes with  $M \geq 7$  in the North China block and its surrounding dynamic boundary from 1950 to 2020

放到华北地区三百年活动周期的背景下,“311”地震和1707年宝永地震以及1096、1361年南海海槽几次大的破裂,都发生华北地区强释放之后,而第三、第四活动期末尾的调整期,是不是也与华北构造框架活动后动力边界的调整作用有关?如果说芦山、玉树、九寨沟等地震活动可以视为汶川地震后青藏高原边界的调整,那么2015年5月30日小笠原群岛8.0、11月14日东海7.2和2016年4月16日熊本7.3级地震或许也可以看做“311”地震后东边界的调整。1707年宝永地震后23年,1730年北京西北郊6.5级地震,第三活动期调整期结束,华北地区进入平静期;以此类推,2011年日本“311”地震后,华北地区第四活动期的调整期可能也有至少20年才会进入平静期。

## 5 讨论与结论

(1)通过对整个太平洋板块西北缘俯冲带8级以上大震的分析,认为日本地区8级以上大震与华北地区6级强震之间不存在一一对应的直接相关关系;

(2)基于日本地区历史地震目录,对比分析认为日本和华北地区大的地震活动期和稳定期具有某种对应性,华北地区活动期的强释放阶段与东西两个构造边界活动存在联系;

(3)2011年日本“311”9.0级地震破裂区 $M \geq 5.0$ 级地震活动显示,“311”地震的余震活动基本

结束,日本地区可能已经恢复背景的活动节律。

最后,通过1707年日本宝永地震和2011年“311”地震的对比,我们认为,当前华北地区可能仍处于活动期末尾的调整阶段,调整期时长可能超过20年;未来几年,华北地区仍有进入第四活动期最后一个活跃幕的可能。

本文仅从地震目录的统计上进行了直观的对比分析,资料所限,没有进一步开展更深层次的研究。所以,认识未必正确,希望得到其他方面更多的证据,无论正反支持与否,以期能更好地理解日本与华北地区地震活动之间的关系。

致谢:感谢周斌研究员多次有建设性的意见和讨论。感谢地震预测研究所尹晓菲博士、王振宇博士以及邵志刚研究员的帮助。

## 参考文献

- [1] 茂木清夫. 巨大地震论[J]. 数理科学, 1976(158):16-23.
- [2] 吴佳翼, 郁曙君, 何淑韵. 华北地震同日本地震的相关性[J]. 地球物理学报, 1978, 22(4):415-438.
- [3] 张国民. 关于我国大陆地区地震大形势的研究[M]. 北京: 地震出版社, 1989:1-263.
- [4] 虞雪君, 冯德益, 蒋淳, 等. 中国东部地区中强以上地震与日本海域地区强震的相关性研究[J]. 中国地震, 1994, 10(1):38-46.
- [5] 李文英, 王秀英. 华北地区与日本海沟地震的相关性分析[J]. 地震, 1996, 16(3):219-224.



- [6] 朱红彬,李红. 千岛海沟、日本海沟8级左右地震与华北强震活动[J]. 国际地震动态, 2012(6):103.
- [7] 尹晓菲,张国民,邵志刚,等. 华北地区强震活动特点研究[J]. 地震, 2020,40(1):11-33.
- [8] 薛艳,姜祥华,刘桂萍. 华北地区强震活动状态研究[J]. 地震, 2020,40(2):1-17.
- [9] Hayes G P, Moore G L, Portner D E, et al. Slab2, a comprehensive subduction zone geometry model[J]. Science, 2018,362(6410):58-61.
- [10] 张国民,马宏生,王辉,等. 中国大陆活动地块与强震活动关系[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2004,34(7):1-12.
- [11] Utsu T. A list of deadly earthquakes in the world: 1500-2000[M]//Lee W H K, Kanamori H, Jennings P, et al, eds. International handbook of earthquake and engineering seismology part A. San Diego :Academic Press, 2002:691-717.
- [12] 宇津徳治. 世界の被害地震の表(古代から2002年まで), 宇津徳治先生を偲ぶ会, 東京, 電子ファイル最終版. 改定・更新版[M/OL] [2022-09-10]. <http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>.
- [13] Seno T, Sakurai T, Stein S. Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1996, 101 (B5) : 11305-11315.
- [14] Okal E A, Kirby S H, Kalligeris N. The Showa Sanriku earthquake of 1933 March 2: a global seismological reassessment[J]. Geophysical Journal International, 2016, 206(3):1492-1514.
- [15] 黄玮琼,李文香,曹学锋. 中国大陆地震资料完整性研究之一——以华北地区为例[J]. 地震学报, 1994, 16(03): 273-280.
- [16] Lee D K, Li Y C, Yang J M, et al. Analysis study on the earthquakes occurred at June 12, 17, 26, 1681 in the offshore between the Yangyang and Samcheok Counties, Gangwon Province, Korea[J]. Journal of the Korean Geophysical Society, 2004, 7(2):89-97.
- [17] 国家气象研究所. 朝鮮半島歴史地震記録(2年\_1904年)[M]. 首尔:气象局, 2012:1-276.
- [18] Bykov V G, Merkulova T V, Andreeva M Y. Stress transfer and migration of earthquakes from the western Pacific subduction zone toward the Asian continent[J/OL]. Pure and Applied Geophysics, 2022: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02924-7>.
- [19] Zhang Y G, Zheng W J, Wang Y J, et al. Contemporary deformation of the north China plain from global positioning system data[J]. Geophys Res Lett, 2018(45):1851-1859.
- [20] 羽鳥徳太郎. 三陸沖歴史津波の規模と推定波源域[J]. 地震研究所彙報, 1975(50):397-414.
- [21] Furumura T, Imai K, Maeda T. A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2011, 116 (B2):B02308.
- [22] Yanagisawa H K, Goto D, Sugawara K, et al. Tsunami earthquake can occur elsewhere along the Japan Trench—historical and geological evidence for the 1677 earthquake and tsunami[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2016, 121(5):3504-3516.
- [23] Inoue T, Goto K, Nishimura Y, et al. Paleo-tsunami history along the northern Japan Trench: evidence from Noda Village, northern Sanriku coast, Japan[J]. Prog Earth Planet Sci, 2017, 4(42):1-15.
- [24] 行谷佑一,都司嘉宣,上田和枝. 寛政五年(1793)宮城県沖に発生した地震の詳細震度分布と津波の状況[J]. 歴史地震, 2003:80-99.
- [25] 佐竹健治,山本滋. 19~21世紀の十勝沖・根室沖地震の波源域[J]. 地球, 2005(49):168-172.
- [26] Kusumoto, S, Imai K, Hori, T. Time difference between the 1854 CE Ansei-Tokai and Ansei-Nankai earthquakes estimated from distant tsunami waveforms on the west coast of North America[J]. Prog Earth Planet Sci, 2022, 9(2):1-10.
- [27] 阿部勝征. 遡上高を用いた津波マグニチュードMtの決定——歴史津波への応用[J]. 地震, 1999, 52(2):369-377.
- [28] Ando M. Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai Trough, Japan[J]. Tectonophysics, 1975, 27(2):119-140.
- [29] Hyodo M, Hori T, Ando K, et al. The possibility of deeper or shallower extent of the source area of Nankai Trough earthquakes based on the 1707 Hoei tsunami heights along the Pacific and Seto Inland Sea coasts, southwest Japan[J]. Earth, Planets and Space, 2014, 66(1):1-14.
- [30] Kim S B, Saito T, Fukuyama E, et al. The Nankai Trough earthquake tsunamis in Korea: numerical studies of the 1707 Hoei earthquake and physics-based scenarios[J]. Earth, Planets and Space, 2016, 68(1):1-16.
- [31] Seno T. Great earthquakes along the Nankai Trough—a new idea for their rupture mode and time series. Zisin[J]. Journal of the Seismological Society of Japan. 2nd ser, 2012, 64(2): 97-116.
- [32] Koper K D, Hutko A R, Lay T, et al. Frequency-dependent rupture process of the 2011  $M_w$ 9.0 Tohoku earthquake: comparison of short-period P wave back projection images and broad band seismic rupture models[J]. Earth, planets and space, 2011, 63(7):599-602.
- [33] Lee S J. Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake based upon joint source inversion of teleseismic and GPS data[J]. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 2012, 23(1):1-7.
- [34] Zhang Y, Xu L, Chen Y. Rupture process of the 2011 Tohoku earthquake from the joint inversion of teleseismic and GPS data[J]. Earthquake Science, 2012, 25(2):129-135.