

清·三篇文章背景深

冯 锐

QingThree articles with deep background

Feng Rui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2024-174>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

南中国海区域海啸预警中心地震监测系统

The earthquake monitoring system in the South China Sea Tsunami Advisory Center

地震科学进展. 2022, 52(10): 473–481

历史强余震史料考证原则及目录校订方案探索以1668年郯城8级地震强余震为例

Principles of textual research on historical strong aftershocks and exploration of the catalogue revision planA case study of the strong aftershocks of the Tancheng 8 earthquake in 1668

地震科学进展. 2020, 50(5): 22–34

2019年四川荣县 $M_s4.9$ 地震序列监测与活动特征研究

Research on the monitoring and seismicity characteristics of the $M_s4.9$ earthquake sequence in Rong County, Sichuan Province, 2019

地震科学进展. 2021, 51(8): 362–370

曹蕴键和《曹南地震灾变记》

Cao Yunjian and *Record of disaster of Caonan earthquake*

地震科学进展. 2023, 53(11): 542–546

四川康定—磨西断裂强震危险背景研究

Study on the risk background of strong earthquake in Kangding–Moxi fault, Sichuan

地震科学进展. 2024, 54(10): 671–679

元·汾渭裂谷文章多

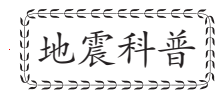
Yuan: Research on the Fen–wei rift valley

地震科学进展. 2025, 55(1): 43–62



关注微信公众号，获得更多资讯信息

冯锐. 清·三篇文章背景深——漫步地震五千年(14)[J]. 地震科学进展, 2025, 55(5): 296-310. doi:10.19987/j.dzqxjz.2024-174
Feng R. Qing: Three articles with deep background[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(5): 296-310. doi:10.19987/j.dzqxjz.2024-174



清·三篇文章背景深 ——漫步地震五千年(14)

冯 锐^{*}

(中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要 清朝遭遇过 8 级大地震和海啸的袭击, 本文以康熙、蒲松龄和曹雪芹的 3 篇文章为引子, 介绍有关的地震学背景。1679 年三河—平谷 8 级地震后, 康熙摒弃了天谴观, 认识到了一些地震现象, 后人对华北地震的研究涉及到地震的破裂机制和断裂带的共轭关系。1668 年郯城 8.5 级地震为蒲松龄所亲历, 他对人员的震感做了准确完整的记录, 有益于后人借鉴。本文对这次地震的水患、郯庐断裂带的特点和两次 8 级大地震的关系做了介绍。曹雪芹在《红楼梦》中提及的海啸有历史的真实性, 本文简述了我国风暴潮和地震海啸, 以及西太平洋构造域的演化。

关键词 康熙; 蒲松龄; 曹雪芹; 1679 年地震; 1668 年地震; 海啸

中图分类号: P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7780(2025)05-0296-15

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2024-174

Qing: Three articles with deep background

Feng Rui

(China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

Abstract The Qing Dynasty was affected by $M8$ earthquakes and tsunamis. This paper introduces the seismological background of these events using three texts by Kangxi, Pu Songling, and Cao Xueqin as guides. After the 1679 Sanhe-Pinggu $M8$ earthquake, Kangxi abandoned the belief in heavenly wrath and began recognizing observable seismic phenomena. Subsequent research on the North China earthquake addressed the rupture mechanisms and the conjugate relationship of fracture zones. The 1668 Tancheng $M8.5$ earthquake was experienced by Pu Songling, who recorded a detailed and accurate account of the tremors felt by people, providing an invaluable reference for future generations. This paper also describes the flooding disaster caused by the earthquake, the characteristics of the Tanlu fault zone, and the connection between the two major earthquakes. The tsunami mentioned in Cao Xueqin's essay has historical validity. This paper briefly introduces storm surges and seismic tsunamis in China, as well as the tectonic evolution of domains in the western Pacific Ocean.

Keywords Kangxi; Pu Songling; Cao Xueqin; 1679 earthquake; 1668 earthquake; tsunami

收稿日期: 2024-12-09; 采用日期: 2025-03-14。

^{*} 通信作者: 冯锐(1941-), 男, 研究员, 主要从事地球物理学的研究。E-mail: fr97214@sina.com。



0 引言

清朝的地震活动相当严重,一个好端端的华北在康熙年间被闹了个底儿朝天,实出意料,人称“康熙地震环”(图1)。

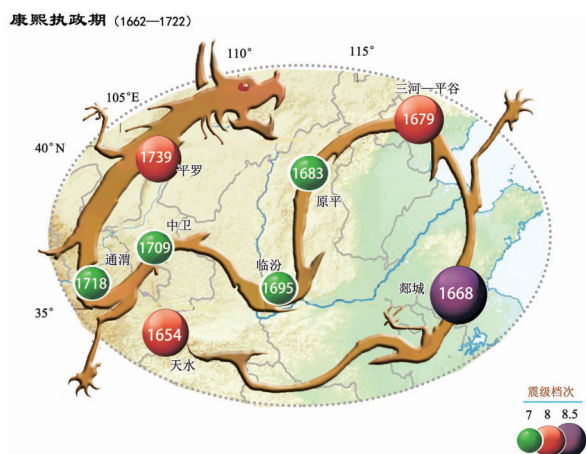


图1 康熙地震环

Fig. 1 Kangxi earthquake ring

康熙(玄烨)生于1654年。巧!同年的天水礼县发生8级地震^[1],就在他出生后78天的7月21日,曾造成城垣官舍崩圯殆尽,震死男妇七千四百六十四名(《秦州志》)。当年形成了巨大滑坡和堰塞湖,至今可辨,康熙地震环的旧账就从1654年算起了。

常说康乾盛世,其实没那么太平。康熙到乾隆年间的地震、海啸和风暴潮一直没有停过。地质上,华北是一个2亿9千万年前从南半球漂移过来的陆块,后来被挤压拉伸,弄得遍体鳞伤,到处断裂,频发地震。华南就不同了,是个比较坚硬、完整的陆块,少有地震。它向北漂得很慢,大约在1亿5千万年前才与华北地块相碰,先挤出NW-W向的秦岭一大别山造山带,后郯庐断裂的东侧地体继续向NE-E方向漂至朝鲜。

这一切,决定了我们对天灾地祸的认识不可简单化。笔者取康熙、蒲松龄和曹雪芹的3篇文章为引子,介绍有关的地震学背景和一些新的研究成果。

1 康熙与地震

1.1 三河—平谷地震和康熙对策

玄烨8岁登基,14岁亲政,一生的功绩伟岸。

1679年9月2日(阴历廿八),在他25岁时遇到了三河—平谷8级大地震,震中距北京仅40 km。震中烈度XI,发震断裂是NE向的夏垫断层,震源深度约20 km,死亡5万余人。严重程度接近于2008年

汶川地震。据史料记载^[2]:

市区内不仅一般百姓民居遭破坏,就建筑结构严谨,梁柱坚实,施工精细的皇宫、王府、古刹、楼阁也有数十处被毁。紫禁城的城墙有倒塌,31处宫殿、9处寺庙和13处衙署遭到破坏。康熙居住的乾清宫的房墙倒塌,皇帝和贵族们躲进了帐篷。德胜门下裂一大沟,水如泉涌,德胜门内涌黄流,天坛旁裂出黑水,城内外均可见到数丈长的地裂缝。北京共倒塌房屋12793间,损坏18028间。山海关、三河地方平沉为河。直到10月19日地动未息。

大震的前一年,延庆和北京曾在8、9和12月闹过地震。夏垫断裂带是北京地区几条NE向平行的断裂之一,它们与巨大的NW向张家口—蓬莱断裂带相交,惹出不少事端。早在2.6万年前,夏垫断裂就发生过11次地表破裂型的古地震,复发活动曾与古气候环境有着密切关系,复发间隔大约为3700~5800年^[3]。

对三河—平谷地震的袭击,年轻的康熙皇帝在发布罪己诏的同时,做出迅速的反应。

震后不到4小时,他在帐篷内召集了满汉高官研究对策;第2天宣布发内帑银十万两,赈恤灾民;第3天宣布了他思虑的施政弊端,对满朝高官单刀直言:朕反躬修省,尔等亦宜洗涤肺肠;第5天宣布官员俸禄减半,强制官绅富民,捐资赈济;10天内,拟出了革除6种弊政的严厉正法,救灾同时,肃贪追责;15天后的中秋节,天坛祈祷后立刻上朝,再议震情和应对措施(《清圣祖实录》《起居册》等)。这等果敢做法,史无前例。

雍正是个官二代,康熙的四子,曾在1730年遇到圆明园6.5级地震,他的糟糕表现就人所不齿了。

1.2 康熙写《地震》一文

康熙的地震对策能做到这步,有思想基础。

早在顺治(1644—1661)年间,西方的文艺复兴运动已经风生水起,法、意、比等传教士带来了西方的天文、数理和机械学的知识,康熙还与德国的伟大数学家莱布尼兹(Leibniz, 1646—1716)建立了关系。地震前的10余年,他曾邀请了法国6位高级学者来华,长住宫廷。天主教耶稣会传教士南怀仁(Ferdinand Verbiest, 1623—1688)曾任他的钦天监监务,1668年向康熙推荐过他的著作《坤舆图说》,其中的《地震论》里就有西方的“地震气动假说”。这些文化交流和熏染对康熙帝接受科学观念具有重要影响。

毕竟,1679年的地震损失极为严重,死亡5万

多人。

震灾促使康熙认真查阅了《老子》《汉史》《宋儒》《玉历通政经》《国语》《谢肇淛》以及诸多名家学者的地震观。最终让他坚决地否定了天谴观,摒弃了荒谬:朕观前史,如汉朝有灾异见,即重处宰相,此大谬矣(《十一朝东华录·康熙》卷七七)。在他去世的前一年(1721)居然还写出了具有新思想的科学文章《地震》(《御制文》第4集第30卷)。

从他《地震》一文的内容看,他已经注意到了华北地震多、华南地震少的现象,认为是被水泽以舒泄之,即水泽释放了华南地区的地震能量。难能可贵的是,他对于地震已经有了震源深浅的概念:

深则震虽微,而所及者广;浅则震虽大,而所及者近。

意识到了地震还存在远近之别:

适当其始发处,甚至落瓦倒垣,裂地败宇。而方幅之内,递以远近而差。其发始于一处,旁及四隅。

他还接受了地震会造成次生灾害的事实:

涌泉溢水,此皆地中所有,随此气而出耳。

自秦始皇到清末代的2132年间,中国皇帝共计495人。能著文讲科学的仅康熙帝,没有之一。

19世纪末,更有一位伟大的政治家涉足了自然科学,他就是恩格斯。他在1873—1883年通过对数学、物理、生物和自然科学的考察,写下了《自然辩证法》:

一切僵硬的东西溶解了,一切固定的东西消散了,一切被当做永恒存在的特殊的東西变成了转瞬即逝的东西,整个自然界被证明是在永恒的流动和循环中运动着。各种物体是相互作用着的,它们的相互作用就是运动。没有运动,物质是不可想象的。

恩格斯的观点对我们从物质运动的角度来认识地震,至为重要。

1.3 老问题新认识

尽管夏垫断层是1679年地震的发震断层,已作定论。

但有个疑惑一直存在:它的地表破裂长度过短。

按照1983年对三河—平谷地震现场的调查看,破裂长度仅有10 km左右^[4]。这个数量级,与华北地区8级地震的地表破裂长度相比,譬如1739年平罗的88 km、1668年郟城地震的130 km绝然不能匹配,更无法与西部8级地震的破裂长度相比^[5]:

- 1902年阿图什8.3级地震——250 km;
- 1920年海原8.0级地震——230 km;
- 1931年富蕴8.0级地震——159 km;
- 2001年昆仑山8.1级地震——426 km;
- 2008年汶川8.0级地震——300 km。

咋一看,不过是个小参数。

实则不然。地表破裂长度涉及到震源体积的大小、隐伏断裂的位置和展布,进而关乎到对未来地震危险性的判断,切不可盲目轻视。

更费解的是,华北平原的几个大地震的地表破裂长度竟然也是这么低(图2):

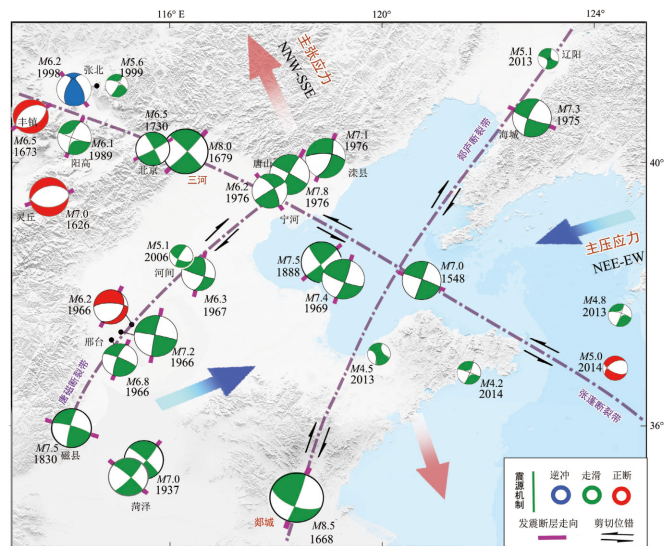


图2 华北地区强震震源机制的分布

Fig. 2 Distribution of focal mechanisms of strong earthquakes in North China

- 1937 年菏泽 7.0 级地震——7 km;
- 1975 年海城 7.3 级地震——5.5 km;
- 1976 年唐山 7.8 级地震——8 km;
-

即便考虑到浅部土层的黏合作用、地下水的影响等,地表的破裂痕迹也不至于消失掉百余千米的数量级!

较真的科学家当然不依不饶了。

第 1 步: 架起钻机开挖。

终于让 1679 年三河—平谷地震的地表破裂长度扩展到 20 km^[6], 1976 年唐山地震的扩展到 47 km^[7]。再往前寻, 没了。

2021 年, 又在夏垫断裂的两端专门布设了浅层地震勘探, 有个新发现^[8]: 断裂端部的活动出现了滑动亏损的特征, 存在明显的结构分叉和位移减小。也就是说, 1679 年地震的同震位移是分别向 NE 和 SW 两个反方向扩展的, 逐渐减弱直至消失, 几何形态呈现出了明显不对称的钟形。研究者认为, 震源发生过双边破裂!

第 2 步: 对比华北地区各次强震的震源机制。

图 2 综合了目前已发表的华北强震破裂机制解, 列出了震级较大的几个事件^[9-10], 包括 1548 年蓬莱地震^[11]、1730 年北京地震^[12]、1937 年菏泽地震^[13]、1975 年海城地震^[14]和 1976 年唐山地震^[15-16]等。对于 1966 年前的震源机制解, 有关的研究者是根据等震

线和地震断层推断的, 精度的差异是在可以接受的水平上。

除却西端山西的震源机制独具特色外, 平原地区地震的机制表现出了一个共同的特征——都是双向或双边破裂。

具体来说, 华北稳定的控制应力场一直是 NEE-EW 向的构造主压应力、NNW-SSE 向的主拉张应力, 早为多种研究所确认。恰好, 这个构造应力场所产生的(理论上的)最大剪切带是与该区先存的 NE 和 NW 向破裂带(或断层)吻合, 因此在这两个方向的断层面必然有着几乎均等的机会发生位错。换句话说, 控震断裂和发震断裂都不是绝对独立、相互无关的, 双边和双向破裂会同时发生, 或者交互发生。这就符合了华北区域的诸多特点——断裂的交汇点多、规模偏小, 地震等震线的长短轴比值偏小、地表破裂的长度不会很大等。

简言之, 共轭破裂是这个地区的基本卸载方式, 不同于西部地区。

第 3 步: 对渤海湾的几次地震再开展精细探测。

跨渤海的主要断裂是 NE 向的郯庐断裂, 它是控震断裂, 宽度百余千米, 又与大量的 NW 向(或 NS 向)的小型断裂交割, 导致发震机制十分复杂。但 1975 年的海城地震、1548 年的长岛地震都是 NW 向的错动, 地震等震线主轴的 NW 取向十分明显(图 3)。至于 1969 年渤海 7.4 级地震, 由于等震线呈典型的圆

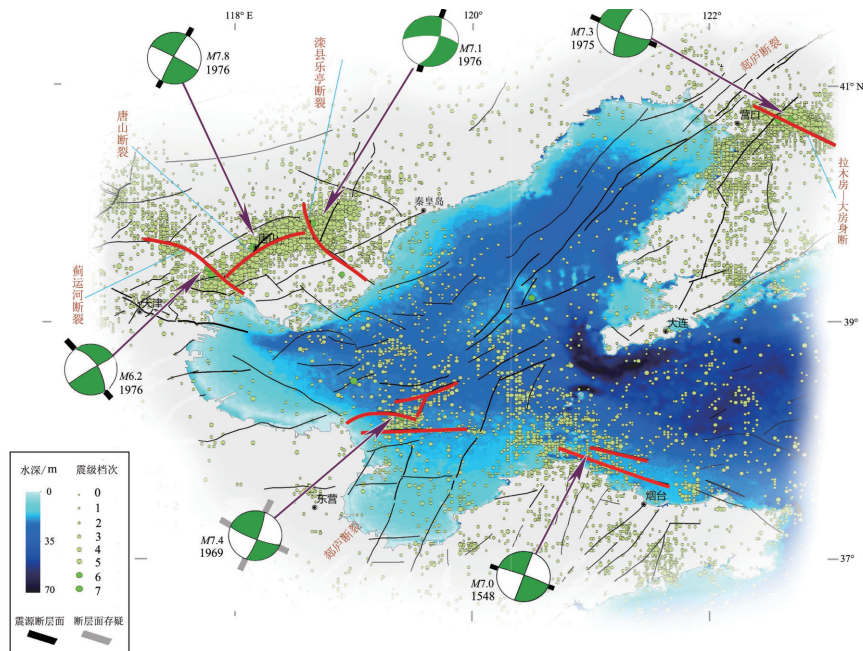


图 3 环渤海的强震机制

Fig. 3 Mechanisms of strong earthquakes around the Bohai region

状,更可能是 NE 和 NW 向的双向破裂(尽管有不同的推断^[17])。

1976 年的唐山大震也不是单次破裂,而是发生了 3 次相对独立的破裂(图 3)^[15-16]。7.8 级地震后的 15 个小时在主破裂的北端发生滦县 7.1 级地震,又于 11 月在其南端发生宁河 6.2 级地震,这 3 次地震的发震断裂并不是同一条,而是相互正交的 3 条——唐山断裂、滦县乐亭断裂和蓟运河断裂,组成了一组共轭断裂系统。释放能量的总体不会很弱,但地表的破裂长度都不大。

从最近的认识来看,NE 向的夏垫断层是 1679 年

地震的发震断层,它不过是控震断层——总体呈 NW 向的张家口—蓬莱断裂带其中的一个局部而已,后者又与 NE 向的唐山—磁县断裂和郅庐断裂存在共轭剪切的关系。此外,环鄂尔多斯裂谷的断裂带也如此,它们之间的破裂过程也是相互影响的,共同组成了华北地震活动的基本构架。

当然,情况并不是都了如指掌的。比如华北地区的“康熙地震环”只存在于 1920 年海原 8.5 级地震之前(图 4),随着 1920 年海原大震和台湾花莲 8 级地震的发生,“地震环”顿然销声匿迹了,好像整体地转入了收敛或休眠期(图 5),尽管在 1966—1976 年

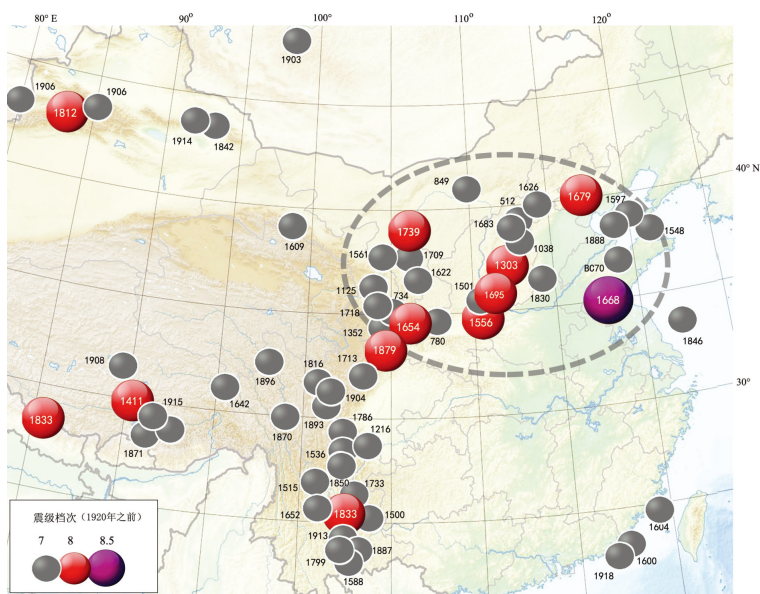


图 4 1920 年前全国的强震分布

Fig. 4 Distribution of strong earthquakes nationwide before 1920

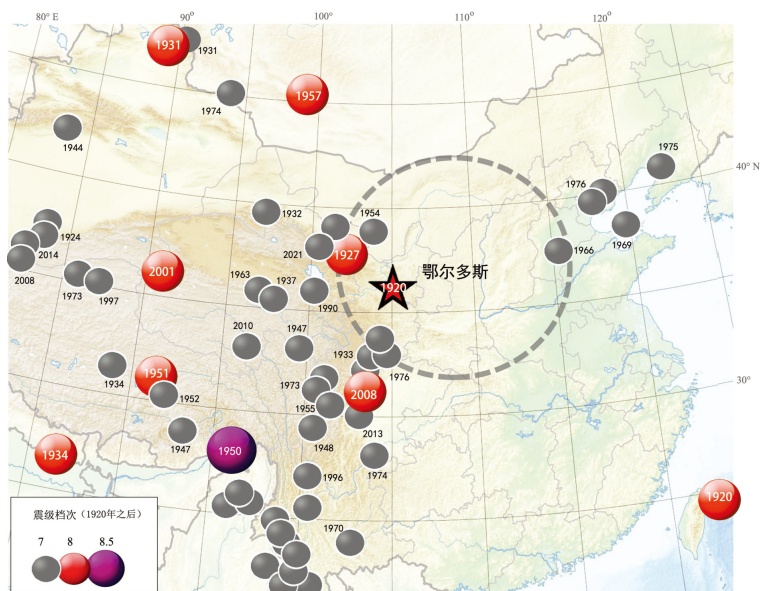


图 5 1920 年后全国的强震分布

Fig. 5 Distribution of strong earthquakes nationwide after 1920

间也折腾过一段，出现过一个小高潮。不过这里的真真假假，着实难说清。

2 蒲松龄与地震

2.1 蒲松龄的《地震》

蒲松龄的狐鬼故事，凄婉可爱。想不到，百忙之中的他还写了一篇地震文章！

这要说到 1668 年的地震了。

是年，蒲松龄已经 28 岁(图 6)。他在山东两次应乡试，均未中，便在淄川(淄博南)王村的王永印家担任塾师。已开始写作，他的文采出众、涉猎广泛，自然远近闻名了。可巧，这年的夏日 7 月 25 日在山东莒县、郯城间发生 8.5 级特大地震，淄川位于烈度高达 X 度的极震区里(图 7)。山川巨变，声若轰雷，河水横溢，城垣民房倒塌一空，计压死四万余人。

作为幸存者，他把刻骨铭心的经历写成《地震》一文，收入《聊斋志异》。

人员在地震时候的完整感觉可参见图 8，相应的地震记录应该是三分量的(竖向、东西、南北)，图中



图 6 蒲松龄(1640—1715)

Fig. 6 Pu Songling (1640—1715)

仅给的单分量为示意性质。一般来说，只有在近震中地区的人员才会有完整的 4 个阶段的感觉，那是对

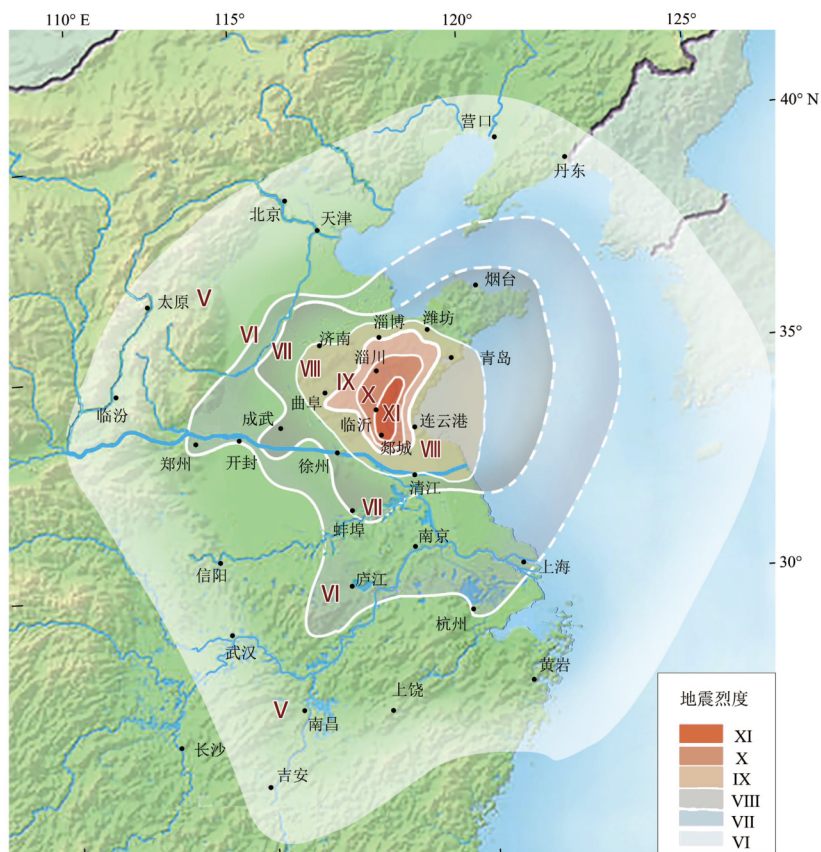


图 7 1668 年郯城地震的等震线^[18-19]

Fig. 7 Isoseismal map of the 1668 Tancheng earthquake^[18-19]

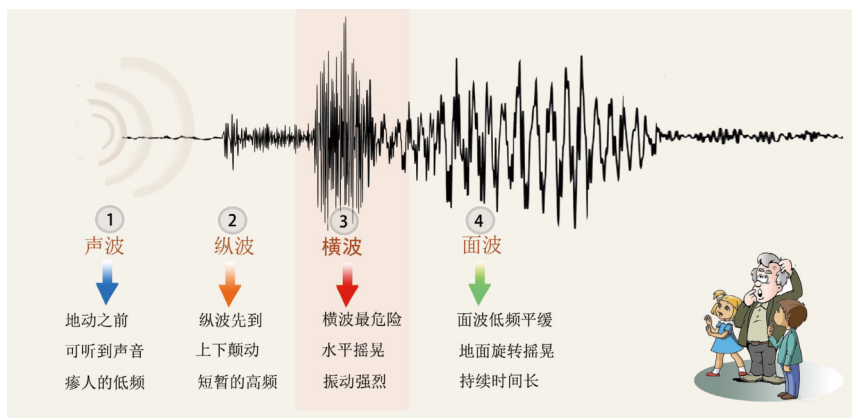


图8 人员感受地震波动的完整过程

Fig. 8 Complete process of perceived ground motion during the earthquake

相继出现的4个波动相位的反应——声波、纵波、横波和面波。

- 声波是由震前的岩石微破裂或压电效应所激发的空气震荡，信号弱，传不远，不容易遇到；
- 纵波以上下颠簸和颤抖为主，同日常的噪声干扰相似，人员仅凭感觉很难判定它是否为地震，但地震预警系统要利用它；
- 横波最危险，水平震动和摇晃十分剧烈，人员无法站立，是房倒屋塌的破坏元凶；
- 最后出现的波动是面波，有感范围最大，头晕目眩，周期长，会旋转，但危险性较小。专业研究还会分析其后的尾波、散射波等。

读读蒲松龄，他把上述4个阶段的现象写得十分准确和清晰：

- ① 忽闻有声如雷，自东南来，向西北去。众骇异，不解其故。
- ② 俄而，几案摆簸，酒杯倾覆；屋梁椽柱，错折有声。相顾失色。久之，方知地震，各疾趋出。
- ③ 见楼阁房舍，仆而复起，墙倾屋塌之声，与儿啼女号，喧如鼎沸。
- ④ 人眩晕不能立，坐地上，随地转侧。

文章结尾，很是真实：

视街上，则男女裸聚，竞相舌语，并忘其未衣也……良久，忽悟一身未着寸缕，乃奔。

此事并不罕见，教训也不少：主震后余震频发，房倒屋塌多酿大祸。故而蒲文的最后两字——乃奔，应该解读成奔向树林或旷野，不是奔回室内。

2.2 郯庐断裂和1668年地震

历史上，中国第一张地震等震线图是对1668年郯城地震绘制的。

清朝末年，江南教区的黄伯禄神父用法文编辑出版了中国的第一份地震史料汇编——《中国地震年表》，根据这份古籍材料，黄神父的两位外籍弟子（Tobar 和 Gauthier）于1913年完成了郯城地震等震线的绘制（图9）^[20]。不过，人们长期以来并不知晓这里的地质构造。

郯城地震发生在郯庐断裂上，但对这个断裂带的发现却颇具戏剧色彩。

20世纪50年代地矿部门搞普查，从苏联引进了航空磁测技术——在飞机上测量地磁场总强度异常，数据处理后可以揭示沉积层下面结晶基底的磁异常分布。他们从磁测图中发现：我国东部有一条NE-E方向、线性清晰、延伸2400 km的巨型异常条带（图10）^[21]，切穿了不同的大地构造，规模宏伟，结构复杂。经地面勘察证实，它确是我国大陆东部的地壳差异运动的结合带^[22]，对我国油田、金矿、金刚石、水晶和铁矿等矿产资源的分布具有重要的控制作用，大喜过望。于1957年将之命名“郯城—庐江断裂带”。

有趣的是，太平洋的彼岸也有一条相应的大断裂——圣安德烈斯断裂，二者遥相呼应，卓尔不群。在地质演化和活动构造上存在可比性，曾于1906年发生旧金山7.9级地震，6万余人遇难，至今是加州地震最活跃的部位。

郯庐断裂的演化过程比较简单。在距今208 Ma的时候仅存于湖北和山东之间，左行走滑，慢慢向渤海方向发展。它的西侧发展出松辽平原和华北平原，

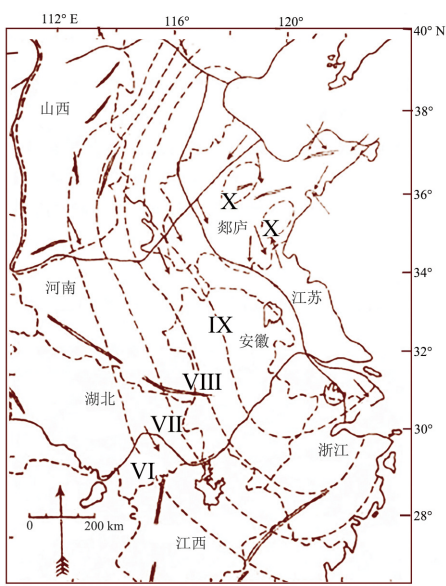


图 9 黄伯禄神父(1830—1909) 和中国第一张地震等震线图

Fig. 9 Father Auguste F. P. Hoang (1830—1909) and China's first isoseismal map

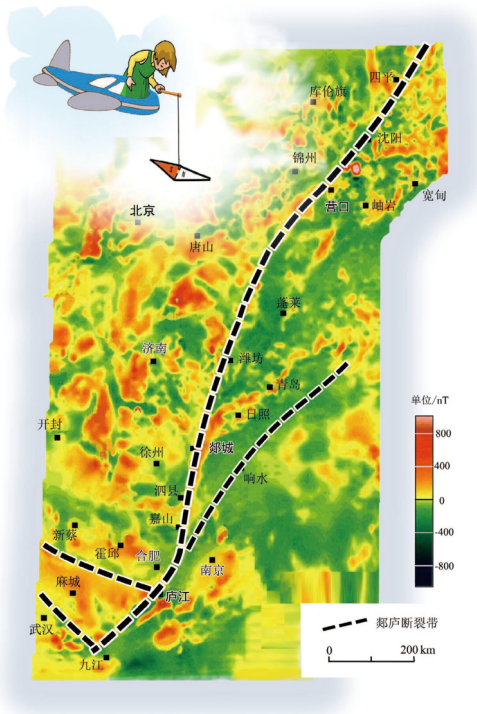


图 10 郯庐断裂带的航磁异常图

Fig. 10 Aeromagnetic anomaly map of the Tanlu fault zone

东侧的山体和地层一直延续到朝鲜。当距今约 50 Ma 印度—亚洲大陆碰撞之后, 两侧岩盘的错动大掉头, 转变成了右旋走滑, 破裂继续向 NE 方向扩展, 最后进入俄罗斯(图 11)。现今的活动分成 3 段——北段(沈阳以北)、中段(渤海—山东)、南段(苏皖)。

1668 年郯城地震的灾情多种多样, 这里仅谈谈

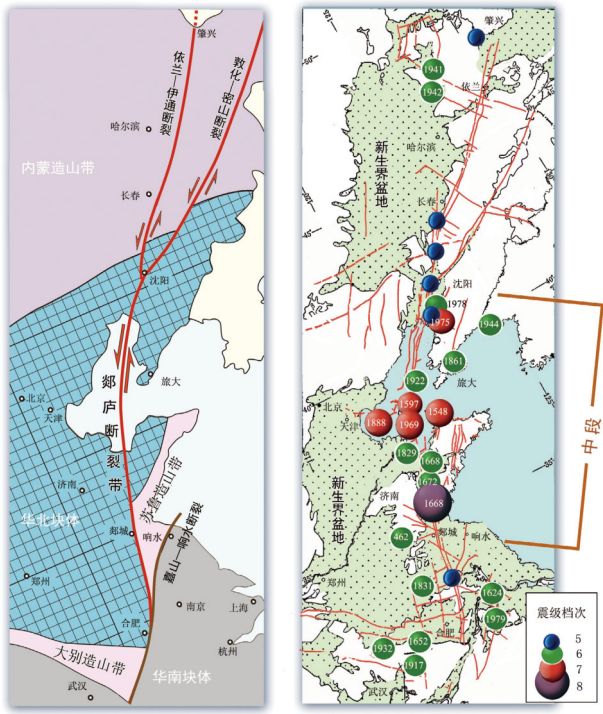


图 11 郯庐断裂带地质分区与地震活动

Fig. 11 Geological zoning and seismic activity of the Tanlu fault zone

水患^[23]。

淮河—鲁南地区本是个水乡之地、沿海之滨, 除运河、沂水、沭河和大片的苏北河湖港汊之外, 康熙年间的黄河是南流淮河入海的。这些河流刚好都位于极震区!

地震时分,黄、淮、运三大河流交汇处的三仪坝首先被震坏,堤坝多处溃决,遂造成了无尽的水患:高邮环城水高二丈,漂溺人,死者数万……地裂泉涌,上喷二三丈高,遍地水流,沟浍皆盈……海水大涨,滨湖之家尽没,停泊之舟多覆溺……连浙江的海塘工程都遭崩塌,海水侵溢、农田盐碱。苏北赣榆县海滩隆起,黄海海水退舍 30 里,还导致朝鲜西北海岸出现了海啸^[19],海潮大溢,屋瓦皆倾……

地震恰在雨季,地震前后数月霖雨连绵,平地波涛泛涨,田禾淹没,死者甚众……降雨连绵,城内行舟。最受罪的是邳州城,直到 1684 年的时候还有大部分城区浸泡在水中,难以清除。

地震的滑坡、坍塌、喷砂、堰塞湖等较为常见,但次生灾害的水患能达到这么严重的程度,很是少见,录此为戒。

2.3 地震活动的空区

在 2016 年的研究中,还发现 1668 年大震前后的地震活动图像存在明显的空区,时间分别是 1481—1667 年和 1910—2015 年^[24]。笔者对这个时间段做了扩展,分成 3 段:1290—1667 年、1668—1679 年和 1680—2024 年(图 12)。

可以看出,在 1668 年郯城地震前的 300 年间华北地区确实存在一个近 800 km 尺度的、6 级以上的地震空区(图 12a)。而后,在相隔 10 年的短期内,两个 8 级档次的大震——1668 年郯城和 1679 年三河—平谷地震相继爆发(图 12b),这在中国东部 8 级地震的历史中是没有先例的。又过了 340 年,在同样的位置又出现了同样尺度的空区(图 12c),一直维持至今,其外围地震的强度更大、空区更明显。

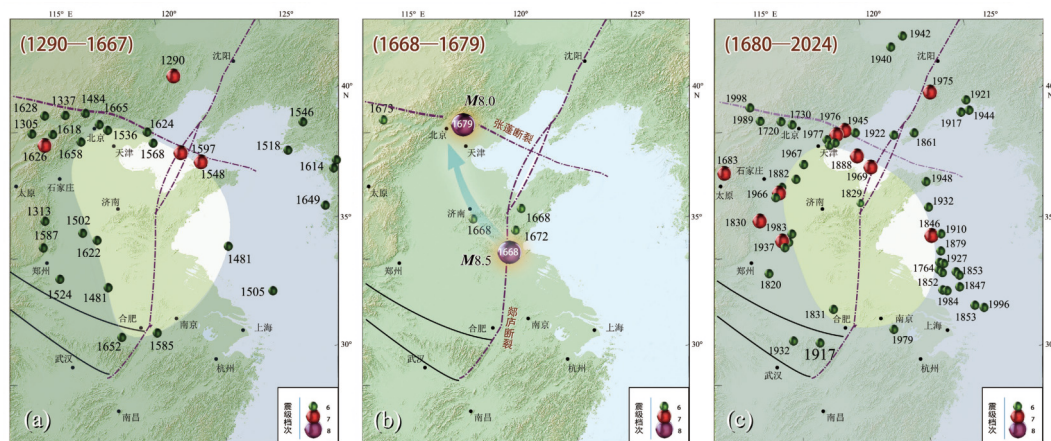


图 12 两次 8 级大震前后的地震活动图像^[24]

Fig. 12 Seismic activity before and after two $M8$ earthquakes^[24]

目前有一个初步的推测:1668 年郯城和 1679 年三河—平谷大地震可能是同一个动力学过程。毕竟,郯庐断裂和张蓬断裂同处于 NE 向挤压和 NW 向拉伸的构造应力场中,二者又是两个最大的共轭剪切应力带,该区的累积应变量应该是由这两次大震共同调整的。古地震 3000~6000 年的强震复发期,也许还会继续。

据最近的监测^[25]: 这里的地震活动已经从早期的郯庐断裂带中段(山东)转移到南段——南黄海、苏中和安徽一带,诸如 NE 向的淮阴—响水断裂,滁河断裂和九江—浦如断裂地区,不过整体的活动水平仍然偏低,震级多在 5 级左右。研究者认为,该区尚处于应力加强调整阶段,近期危险不大。

3 曹雪芹与地震

3.1 曹雪芹的海啸

现从曹雪芹的《红楼梦》第七十回,摘录一小段文字(图 13):

贾政书信到了,说六月中准进京等语。

宝玉进入怡红院,袭人便乘机见景劝他收一收心:书是第一件,字是第二件。到那时你纵有了书,你的字写在那里呢?从明日起,天天快临几张字补上。林黛玉听得贾政回家,也不以外事去勾引他。探春、宝钗二人每日也临一篇楷书字与宝玉,紫鹃送了一卷蝇头小楷,字迹十分相似。史湘云、宝琴二人亦皆临了几篇相送。凑成虽不足功课,亦足搪塞了……



图 13 《红楼梦》中的惜春作画(项维仁作)

Fig. 13 Xichun Painting in *A Dream of Red Mansions* (by Xiang Weiren)

可巧近海一带海啸，又遭踏了几处生民。地方官题本奏闻，奉旨就着贾政顺路查看赈济回来。如此算去，至冬底方回。宝玉听了，便把书字又搁过一边，仍是照旧游荡。

下文会交代：曹雪芹写的“近海一带海啸，又遭踏了几处生民”的情节，确有历史的真实事件可对应——1696 年(康熙三十五年六月初一)发生在长江三角洲的一次海啸灾难。

3.2 中国的海啸

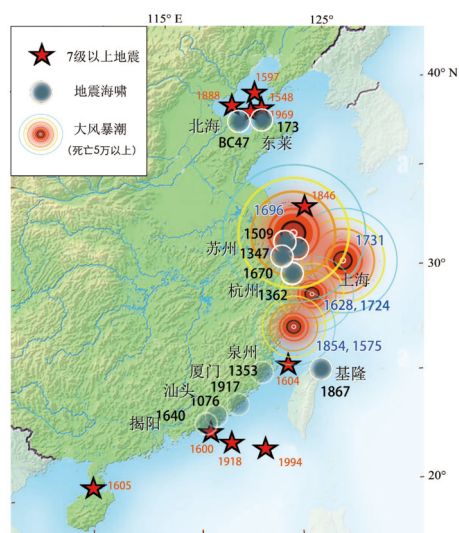
2004 年印度尼西亚 9.1 级地震海啸造成 14 个国家的 22.7 万人遇难，100 多万人无家可归，破坏时长超过 7 个小时。这个惨痛事件震撼了全球，海啸一词被迅速推到云端。

中国对海啸的记载一直很少，古书曾用过“海溢、潮溢、海吼、海啞、海沸”等称谓，大约在元代之后才通用“海啸”一词。

通过近年的研究，已初步明确中国历史上的海啸绝大部分是由气象因素引发的风暴潮。局地出现的强风和气压剧变是由于寒潮、温带气旋和台风的作用，也会叠加上天文大潮的影响。自汉代至民国末期(1940 年)，我国各种史书、地方志记载的风暴潮灾高达 570 多次，集中发生在渤海湾沿岸、苏北沿岸、杭州湾附近和华南沿岸。

根据文献 [26-32] 的数据，图 14 给出了大陆地区死亡人数在 5 万以上的特大风暴潮，以及沿海 7 级

以上强地震的分布。

图 14 沿海地区的主要海啸事件^[26-32]Fig. 14 Major tsunami events in coastal areas^[26-32]

曹雪芹(1724—1764)生活在雍正(1723—1735)和乾隆(1736—1795)期间。从时间上看，当时确实在江浙地区发生过海啸(图 15)。不过，长江口 1731 年的海啸时，他才 7 岁，后来的海啸规模又太小。故而《红楼梦》所述海啸的最佳候选者应该是 1696 年事件，这是几百年间东海沿岸最大的、灾情最严重的一次海啸。

将它选入小说，有个好处：既避嫌了当朝的追

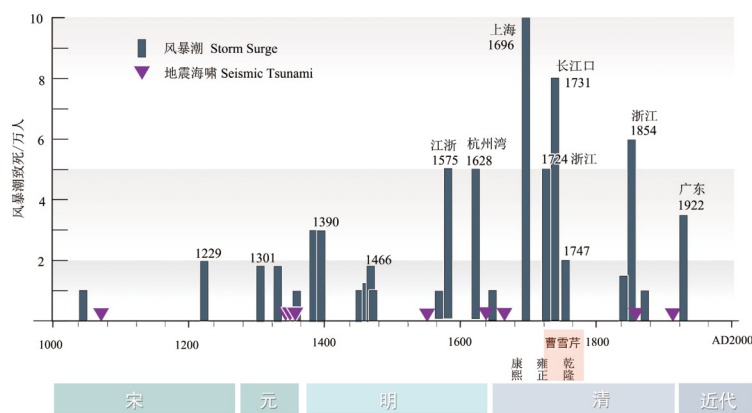


图 15 史料中的重大风暴潮和地震海啸事件

Fig. 15 Major storm surge and seismic tsunami events in historical records

究,还有丰富的材料,仅古籍记载就有 23 种。诸如《三冈识略·续》等所述:

海水冲入沿海一带地方数百里,水面高于城丈许,盐场尽没……漂没海塘千丈,灶户一万八千户,淹死者共十万余人……康熙三十五年六月初一日,大风潮……淹死万人,牛羊鸡犬倍之。

2023 年,自然资源部发布了《中国海平面公报》。我国沿海海平面也随着全球气候的变暖在不断地升高,1993—2023 年的上升速率为 4.0 mm/a,高于全球平均水平。2023 年处于历史高位,比 1993—2011 年的平均值高 72 mm。其中渤海沿海的海平面上升尤为显著,较常年高 122 mm,天津和河北涨幅最大,分别高 145 mm 和 143 mm。这种情况下,风暴潮的发生自然会引起更严重的灾害。

地震海啸的研究。最早的记载是公元前 47 年的渤海事件,齐地震,北海水溢……一年中,地再动,北海水溢流,杀人民。还有 173 年事件,北海地震。东莱,北海海水溢。历史上,我国沿海地区还没有出现超过 1 m 的地震涌浪和增水。

我国的东海沿岸存在日本—琉球—菲律宾一线的岛链保护,海啸波通过岛链会损耗大量的能量,使得越洋海啸的影响幅度降低,太平洋以及印度洋几次著名的大海啸传播到我国近海时,也就几十厘米的波高。东海黄海也有地震,但是这个地区的水层浅(黄海平均深度 40 m,东海平均超 200 m),缺乏足够的存储水量以形成较大的海啸。

我们目前防范的重点,主要是菲律宾岛弧的地震海啸。

3.3 西太平洋构造域

海洋,自古就是先民关注的一个重点。

精卫填海、张羽煮海、八仙过海的传说,无不与海洋有关。连学术界最常用的“沧海桑田”都是有来头的。

这件事是东晋的葛洪在《神仙传》里讲的:有一次仙女麻姑到蓬莱赴宴,迟到了,遂连忙解释:接待以来,已见东海三为桑田……说她自从得道接受天命以来,见到东海变桑田已经有过 3 次了。刚才飞过蓬莱赴宴的路上,看到海水又浅了一半,恐怕又要变成桑田陆地了……从此,地质学家就把东海仙女说的“沧海桑田”抢过来,大做文章……

东海仙女应该乐不可支吧。

今天看到的东部海岸线是 1.2 万年前形成的,“黄海”则是宋朝以后被黄河泥沙在东海的折腾才搞出来的一个称呼。在 2 万年前的旧石器时期晚期,东海陆架仍然是块平坦的陆地,那时的海平面位于现在的 150 m 水深处,也就是大陆的边缘要从今天海岸线位置向东推出约 100 km,直接面临广袤的古太平洋^[33]。

再早,30~50 万年前这里存在过古人类。据考古界 2024 年的发布,安徽省池州发现的华龙洞人便是东亚地区向智人演化的最早古人类,它与北京猿人是两件仅有的证据。看来,说我们的祖先在中国东部沿海生活过,还是有点依据的。

图 16 绘出了我国东部包括滨海地区的地形图。地貌上有个很突出的特点:山脉和盆地、隆起和沉降是呈条带状分布的,而且它们又呈交错排列:

- 沉降带(海沟)——千岛、日本、琉球、马尼拉、吕宋和马里亚纳;
- 隆起带(岛弧)——日本、琉球、菲律宾、伊豆—小笠原;

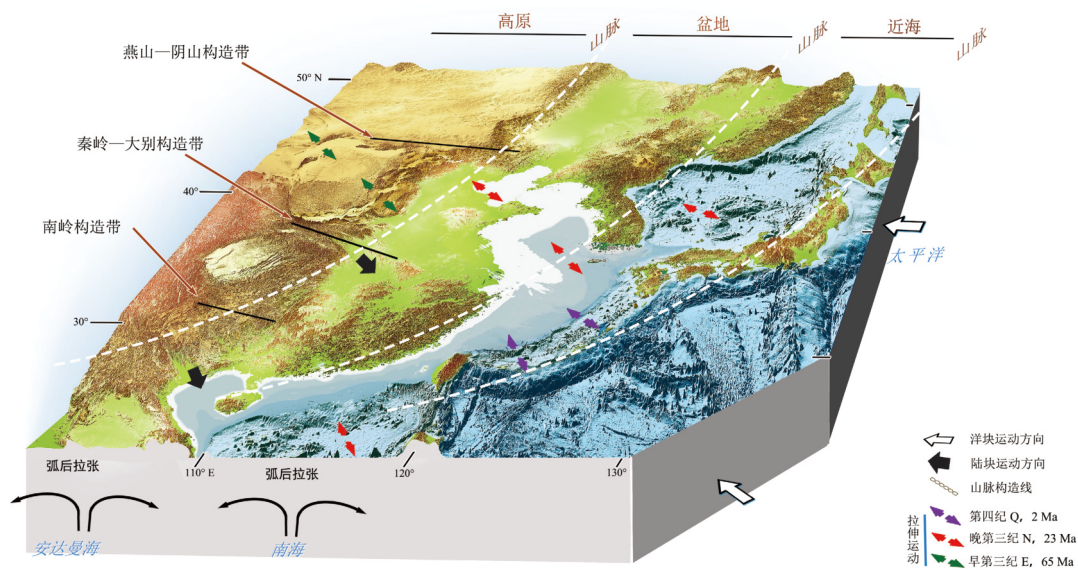


图 16 中国东部的沟-弧-盆体系

Fig. 16 Trench-arc-basin system in eastern China

- 沉降带(边缘海)——鄂霍次克海、日本、冲绳、南海；
- 隆起带(山脉)——锡霍特、长白、崂山、武夷；
- 沉降带(平原)——松辽、渤海、华北、江汉、北部湾；
- 隆起带(山脉)——大兴安、太行、大巴、武陵；
- 沉降带——蒙古、鄂尔多斯。

这种高低交错的地貌，并不是简单的、偶然的现象，它是“沧海桑田”的一个真实造化。地质上称之为板块构造当中的“沟-弧-盆体系”，以西太平洋构造域最为突出和巨大，北从阿留申群岛开始，延续到新西兰以南。

它的形成，是太平洋板块向西不断俯冲，而俯冲海沟的相对位置又不断后退、弧后盆地不断扩张的结果。根据文献 [34-36]，本文简单地绘制了西太平洋构造域在中国部分的演化过程(图 17)，便于形成一个基本概念。

我国东部地学现象的某种整体性便与这个构造演化有关：

- 第三纪以后的 NW 方向的拉伸运动在中国东部一直占据主导地位，沉降地区的发生是与上地幔的隆起直接相关的；
- 亚洲陆地存在东侧的逃逸和挤出现象，主要的

推动力来自印度板块碰撞的远程影响；

- 中国东海地区的演化，有更多证据支持弧后扩张的被动大陆边缘模式；
- 东海岛弧的地震活动与大陆内部的关系不甚紧密，同太平洋和菲律宾板块的推挤和俯冲方式有关，导致力学作用并不那么直接和强烈。

当今，对西太平洋构造域的研究正热火朝天。至少有两个原因：一是资源和构造探测，全世界 80% 的石油储量和 70% 的天然气储量聚集在大陆边缘附近。我国海域的油气田，比如北部湾、莺歌海、琼东南、南海、珠江口、台西、东海等潜力很大的油气田也都位于这里。二是动力学研究，中国西部的地震活动，已经对印度板块的碰撞有了很多研究成果，但是对东部的动力学过程和深部构造的认识就不够清楚，一些空白领域正亟待填补。

大海养育了我们，
造就了家园。
辽阔无垠的碧浪让我们展翅高飞，
永不干涸的轻波唱起我们心中的歌……

致谢

刘传金为本文绘制了重要的海域图件，林向东处理了相关的震源机制，没有他们的帮助不可能完成此文，谨表诚挚感谢。

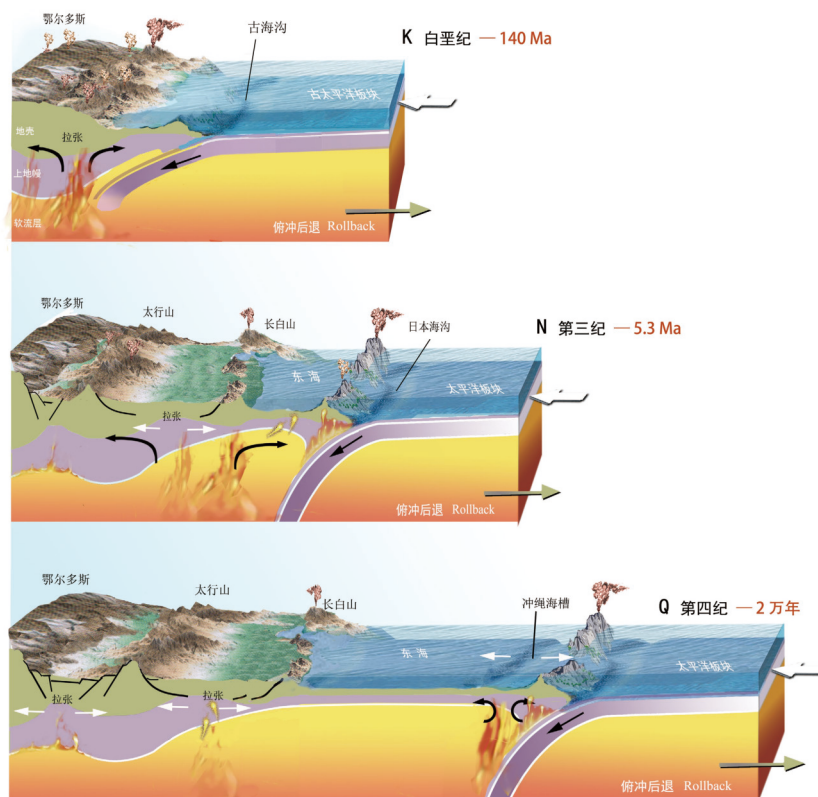


图 17 西太平洋构造域演化简图

Fig. 17 Schematic of tectonic domain evolution in the western Pacific Ocean

参考文献

- [1] 赵云. 1654 年甘肃天水地震烈度和震级考析 [J]. 高原地震, 2008, 20(2): 30-33, 29
Zhao Y. Textual research on the intensity and magnitude of Gansu Tianshui earthquake in 1654[J]. Plateau Earthquake Research, 2008, 20(2): 30-33, 29
- [2] 贺树德. 北京及周边地区历史地震研究 [M]. 北京: 北京燕山出版社, 2013
He S D. Earthquake research in Beijing and adjacent areas[M]. Beijing: Beijing Yanshan Press, 2013
- [3] 徐锡伟, 计凤桔, 于贵华, 等. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列: 河北夏垫断裂古地震研究 [J]. 地震地质, 2000, 22(1): 9-19
Xu X W, Ji F J, Yu G H, et al. Reconstruction of paleoearthquake sequence using stratigraphic records from drill logs: A study at the Xiadian fault, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(1): 9-19
- [4] 孟宪梁, 杜春涛, 王瑞, 等. 1679 年三河—平谷大震的地震断裂带 [J]. 地震, 1983(3): 18-23
Meng X L, Du C T, Wang R, et al. The seismic fault zone of 1679 Sanhe-Pinggu earthquake[J]. Earthquake, 1983(3): 18-23
- [5] 黄静宜. 强震地表破裂评估方法研究 [D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2016
Huang J Y. Research on the method for evaluating the earthquake surface rupture[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2016
- [6] 冉勇康, 邓起东, 杨晓平, 等. 1679 年三河—平谷 8 级地震发震断层的古地震及其重复间隔 [J]. 地震地质, 1997, 19(3): 193-201
Ran Y K, Deng Q D, Yang X P, et al. Paleearthquakes and recurrence interval on the seismogenic fault of 1679 Sanhe-Pinggu M8 earthquake, Hebei and Beijing[J]. Seismology and Geology, 1997, 19(3): 193-201
- [7] 郭慧, 江娃利, 谢新生. 对 1976 年河北唐山 $M_S 7.8$ 地震地表破裂带展布及位移特征的新认识 [J]. 地震地质, 2011, 33(3): 506-524

- Guo H, Jiang W L, Xie X S. New evidence for the distribution of surface rupture zone of the 1976 $M_s7.8$ Tangshan earthquake[J]. [Seismology and Geology](#), 2011, 33(3): 506-524
- [8] 殷娜, 李莹甄, 纪同娟, 等. 1679年三河—平谷8级地震地表破裂端部特征及其地质意义[J]. 地震工程学报, 2021, 43(6): 1288-1293, 1302
- Yin N, Li Y Z, Ji T J, et al. Characteristics of the surface rupture end of the 1679 Sanhe-Pinggu $M8$ earthquake and its geological significance[J]. *China Earthquake Engineering Journal*, 2021, 43(6): 1288-1293, 1302
- [9] 林向东, 袁怀玉, 徐平, 等. 华北地区地震震源机制分区特征[J]. [地球物理学报](#), 2017, 60(12): 4589-4622
- Lin X D, Yuan H Y, Xu P, et al. Zonational characteristics of earthquake focal mechanism solutions in North China[J]. [Chinese Journal of Geophysics](#), 2017, 60(12): 4589-4622
- [10] 沈正康, 万永革, 甘卫军, 等. 华北地区700年来地壳应力场演化与地震的关系研究[J]. [中国地震](#), 2004, 20(3): 211-228
- Shen Z K, Wan Y G, Gan W J, et al. Crustal stress evolution of the last 700 years in North China and earthquake occurrence[J]. [Earthquake Research in China](#), 2004, 20(3): 211-228
- [11] 蔡克明. 1548年蓬莱地震[J]. 地震地质, 1987, 9(2): 95-96, 2
- Cai K M. Penglai earthquake of 1548[J]. *Seismology and Geology*, 1987, 9(2): 95-96, 2
- [12] 环文林, 时振梁, 杨玉林. 1730年北京圆明园地震[J]. 地震研究, 1996, 19(3): 260-266
- Huan W L, Shi Z L, Yang Y L. The Yuanming Park earthquake in Beijing in 1730[J]. *Journal of Seismological Research*, 1996, 19(3): 260-266
- [13] 胡长和. 1937年菏泽地震[M]. 北京: 地震出版社, 1991
- Hu C H. 1937 Heze earthquake[M]. Beijing: Seismological Press, 1991
- [14] 江娃利, 李咸业, 张英礼. 辽宁海城NW向构造全新世活动特征及古地震研究[J]. 地壳构造与地应力文集, 1999: 32-40
- Jiang W L, Li X Y, Zhang Y L. Study on holocene active characteristics and paleo-earthquakes of the NW-trending tectonics in Haicheng area, Liaoning Province[J]. *Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics*, 1999: 32-40
- [15] 杨理华, 赵喜柱. 1976年唐山地震为三主震型地震[J]. 地震研究, 1984, 7(6): 639-648
- Yang L H, Zhao X Z. The Tangshan earthquake of 1976: An event of triple main shock pattern[J]. *Journal of Seismological Research*, 1984, 7(6): 639-648
- [16] 丁学文, 高树义, 陈永新. 1976年唐山7.8级地震成因探讨[J]. [山西地震](#), 2019(3): 33-38
- Ding X W, Gao S Y, Chen Y X. Discussion on the genesis of the 1976 Tangshan $M7.8$ earthquake[J]. [Earthquake Research in Shanxi](#), 2019(3): 33-38
- [17] 刁守中, 李红, 王峰. 1969年渤海7.4级地震应急钩沉及其历史印记: 纪念1969年渤海地震50周年[J]. [地震科学进展](#), 2020, 50(6): 28-37
- Diao S Z, Li H, Wang F. Review and evaluation of the emergency response after the magnitude 7.4 earthquake in Bohai Sea in 1969: To commemorate the 50th anniversary of the Bohai Sea earthquake in 1969[J]. [Progress in Earthquake Sciences](#), 2020, 50(6): 28-37
- [18] 马玉香, 钟普裕. 1668年山东郯城8½级地震综述[J]. [国际地震动态](#), 2009(2): 9-18
- Ma Y X, Zhong P Y. Summarization of the Tancheng earthquake with $8\frac{1}{2}$ in 1668[J]. [Recent Developments in World Seismology](#), 2009(2): 9-18
- [19] 李裕澈, 李德基, 吴锡熏, 等. 1668年中国郯城8.5级巨震在韩半岛的地震影响区及地震海啸[J]. [中国地震](#), 2003, 19(2): 184-187
- Li Y C, Lee D, Oh S, et al. The felt area and tsunami of the 1668 Tancheng great earthquake with $M8.5$ in the Korean Peninsula[J]. [Earthquake Research in China](#), 2003, 19(2): 184-187
- [20] 高继宗, 苏彦, 高山子. 详解法文版《中国地震年表》[J]. [城市与减灾](#), 2015(4): 39-43
- Gao J Z, Su Y, Gao S Z. Detailed explanation of *Earthquake Chronology of China* in French version[J]. [City and Disaster Reduction](#), 2015(4): 39-43
- [21] 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 郯庐断裂带的演化及其对西太平洋板块运动的响应[J]. [地质科学](#), 2004, 39(1): 36-49
- Zhu G, Wang D X, Liu G S, et al. Evolution of the Tan-lu fault zone and its responses to plate movements in west Pacific basin[J]. [Chinese Journal of Geology](#), 2004, 39(1): 36-49
- [22] 王德华. 郯庐断裂带深部构造研究现状及存在的问题[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2017: 33-44
- Wang D H. Research status and problems in the study of deep structure of Tan-lu fault zone[J]. *Bulletin of the Institute of Crustal*

- Dynamics, 2017: 33-44
- [23] 郭迎堂. 1668 年山东郯城 8½ 级地震水灾分析 [J]. 灾害学, 1993, 8(1): 82-85
Guo Y T. Analysis on flood disasters caused by great earthquake of $M_{8.5}$ on July 25, 1668 in Tancheng of Shandong[J]. Journal of Catastrophology, 1993, 8(1): 82-85
- [24] 赵根模, 吴中海, 刘杰. 郯庐断裂带周边地震活动图像及未来大震危险性分析 [J]. 地质通报, 2016, 35(12): 2082-2087
Zhao G M, Wu Z H, Liu J. Images of seismic activities around Tanlu faulted zone and an analysis of future great earthquake risk[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(12): 2082-2087
- [25] 张月辉, 郭斌, 王斌, 等. 郯庐断裂带近期南段和 1668 年郯城 8.5 级地震前中段的中强地震活动比较 [J]. 高原地震, 2013, 25(1): 22-26
Zhang Y H, Guo B, Wang B, et al. Comparison of seismicity in south region of Tanlu fault and middle region medium-strong earthquake activity before Tancheng $M_{8.5}$ earthquake in 1668[J]. Plateau Earthquake Research, 2013, 25(1): 22-26
- [26] 李善邦. 中国地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1981
Li S B. Earthquake in China[M]. Beijing: Seismological Press, 1981
- [27] 邱国珍. 三千年天灾 [M]. 南昌: 江西高校出版社, 1998
Qiu G Z. Three thousand years of natural disasters[M]. Nanchang: Jiangxi Higher Education Press, 1998
- [28] 陆人骥, 宋正海. 中国古代的海啸灾害 [J]. 灾害学, 1988(3): 70-74
Lu R J, Song Z H. On tsunamis in ancient China[J]. Journal of Catastrophology, 1988(3): 70-74
- [29] 杨宝国. 中国沿海的风暴潮灾及其防御对策 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 82-88
Yang B G. Storm surge disaster and disaster defensive countermeasures along China coast[J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(4): 82-88
- [30] 吴芷菁. 中国古代海溢灾害的初步分类研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2006
Wu Z J. A preliminary classification study of sea overflow disasters in ancient China[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2006
- [31] 王锋, 刘昌森, 章振铨. 中国古籍中的地震海啸记录 [J]. 中国地震, 2005, 21(3): 437-443
Wang F, Liu C S, Zhang Z Q. Earthquake tsunami record in Chinese ancient books[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(3): 437-443
- [32] 刘珊, 王英华, 石先武, 等. 公元前 48 年—公元 1949 年我国四类主要海洋灾害的史料统计与分析 [J]. 海洋环境科学, 2020, 39(4): 544-550
Liu S, Wang Y H, Shi X W, et al. The historical records research of four kinds of marine disasters in China from BC 48 to 1949[J]. Marine Environmental Science, 2020, 39(4): 544-550
- [33] 李家彪, 丁巍伟, 吴自银, 等. 东海的来历 [J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(4): 406-411
Li J B, Ding W W, Wu Z Y, et al. Origin of the East China Sea[J]. Scientia Sinica Terrae, 2017, 47(4): 406-411
- [34] 环文林, 时振梁, 鄢家全. 中国东部及邻区中生代构造演化与太平洋板块运动 [J]. 地质科学, 1982(2): 179-190
Huan W L, Shi Z L, Yan J Q. Meso-cenozoic tectonic evolution of eastern China and adjacent area and movement of the Pacific plate[J]. Scientia Geologica Sinica, 1982(2): 179-190
- [35] 任建业, 李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 203-213
Ren J Y, Li S T. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western Pacific[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 203-213
- [36] 彭艳菊, 孟小红, 吕悦军, 等. 我国近海地震活动特征及其与地球物理场的关系 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23(5): 1377-1388
Peng Y J, Meng X H, Lü Y J, et al. The seismicity of China offshore seas and its relationship with geophysical fields[J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(5): 1377-1388