



江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震有序网络结构及其预测研究

摘要

江苏—南黄海地区是我国东部地震重点监视防御区之一,自 1846 年以来,该研究区 $M \geq 6$ 强震活动具有显著的可公度性和有序性,其主要有序值为 74~75 a、57~58 a、11~12 a 和 5~6 a,其中 74~75 a 和 57~58 a 具有突出的预测作用。根据翁文波信息预测理论,构建了该研究区全区和南黄海海域 $M \geq 6$ 强震的二维和三维有序网络结构,据此分析讨论了该区地震活动的分期,并对未来 $M \geq 6$ 强震趋势进行了预测。研究结论表明:该区从 1998 年起进入新一轮平静幕,此幕可能持续到 2042 年前后;该区下次活跃幕的首次 $M \geq 6$ 强震可能发生在 2053 年前后,地点很可能在南黄海海域内;未来第 2 次、第 3 次 $M \geq 6$ 强震或强震群可能分别发生在 2058、2070 年前后。

关键词

江苏—南黄海地区;地震活动分期;强震链;信息有序网络结构; $M \geq 6$ 强震预测

中图分类号 P315.75

文献标志码 A

收稿日期 2013-01-12

作者简介

门可佩,男,教授,主要从事应用统计分析、信息预测理论、天灾预测与地震预测研究。
menkepei@163.com

0 引言

强震预测是百年来尚未解决的世界科学难题之一。20 世纪 80 年代,翁文波院士创立了信息预测理论并在地震、旱涝等天灾预测和预测科学中取得了杰出的成就,为重大自然灾害预测开辟了一条崭新的道路^[1-4]。徐道一等^[5-8]对中国和亚洲大地震在时间和空间上的有序性与网络特性进行了深入研究,提出了大地震的网络假说和自组织网络新观念,进一步开拓丰富和发展了信息预测理论^[9-11]。网络假说把大震视为多层次、多因素、多维的网络节点,从整体和动态的角度出发,有利于研究大地震的复杂性和信息有序性。2010 年,徐道一等^[12]首次提出了中国大陆 8 级大震的网络结构,这是对 8 级大震预测研究的重要创新与贡献。1993 年以来,笔者致力于地震预测研究,特别致力于新疆地区和青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构、中国大陆 $M \geq 8$ 大震有序网络结构以及江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震活动的有序性及其网络结构研究,取得了一批研究成果^[13-20]。江苏—南黄海地区地处中国华东东部,著名特大城市上海和中国经济大省江苏均在该地域范围之内,因此,本研究区强震趋势及其预测研究具有极其重大的现实意义。本文在上述研究成果的基础上,试图将信息预测理论与复杂网络技术相结合,对本区 170 多年来中强地震活动的时空有序性进行深入的分析与总结,挖掘并探索强震时间序列中所蕴含的信息有序网络结构及其预测功能,同时对本区未来地震活跃幕将于何时开始提出预测意见,为我国东部防震减灾工作提供重要科学依据。

1 研究区地震活动概况

本研究区范围为 118~124.5°E,31~35.5°N,是长江中下游—南黄海地震带(简称长南带)的主体。区内断裂构造发育,新构造和现代构造运动比较活跃。境内北东向、北北东向与北西向、北西西向等多组活动断裂交汇切割处,断陷和隆起的交界处,是地震发生的主要场所。其地震活动水平,无论是强度还是频度,在全国均属中等水平,多年来一直被列为我国东部地震重点监视防御区。

本研究区一方面属于大华北地震区的一部分,其地震活动和大

¹ 南京信息工程大学 数学与统计学院,南京,210044

华北地震活动具有统一构造应力场,它们之间具有内在联系,同时又具有自身的活动特点和活动期幕.在时间分布上,本区地震活动具有明显的不均匀性,呈现出密集—平静相互交替的周期性特征.在空间分布上,本区地震活动最显著的特点是海强陆弱,绝大多数中强地震都发生在南黄海海域,海域 $M \geq 6$ 地震的累积释放应变能占全区的 92%.南黄海海域按地质构造特征可划分为 4 个地震活动性有明显差异的构造单元,自北向南分别为北部拗陷区、中部隆起区、南部拗陷区及勿南沙隆起区.本区最大地震(1846 年 7 级)就发生在南黄海南部拗陷区海域.

根据文献 [17-22] 和地震史料 [23-25],从公元 1400 年以来本研究区大致可划分为 2 大地震活跃期:1491—1838 年为第 1 活跃期,其间中强地震多有漏记,此处不再细谈;第 2 活跃期为 1839—2011 年,本区已经历了 3 个地震轮回,共发生 $M \geq 5$ 中强震 45 次,其中 $M \geq 6$ 强震 16 次(见表 1 和表 2).本区第 1 地震轮回(1839—1904)历时 66 a,应变能释放总量为 $14.26 \times 10^7 J^{1/2}$,其中第 1 活跃幕历时 17 a,释放应变能为 $12.04 \times 10^7 J^{1/2}$;第 2 地震轮回(1905—1973)历时 69 a,应变能释放总量为 $12.76 \times 10^7 J^{1/2}$,其中第 2 活跃幕(1905—1932)历时 28 a,释放应变能为 $12.11 \times 10^7 J^{1/2}$;第 3 地震轮回自 1974 至 2011 年已历时 38 a 尚未完成,其中第 3 活跃幕(1974—1997)则历时 24 a,其应变能释放总量 $5.83 \times 10^7 J^{1/2}$.由此可知,自 1839 年以来本区这 3 个地震轮回总体活动水平按时间为序,依次递减,第 3 活跃幕所释放的应变能仅为前 2 个活跃幕的 48%.

2 $M \geq 6$ 强震链有序网络结构分析

2.1 构建本研究区 $M \geq 6$ 强震有序网络

根据笔者多年研究结果,本研究区中强地震活

动呈现出良好的有序性和可公度性 [17-20].经计算, $M \geq 5$ 中强震的可公度值(或可公度元)约为 2.9 a, $M \geq 6$ 强震的可公度值约为 6.2 a.特别是 $M \geq 6$ 强震的有序性,则表现得更为显著,其主要有序值(即序参数)为 74~75 a、57~58 a、11~12 a 和 5~6 a.图 1 展示出整个研究区(包括海域和陆域) $M \geq 6$ 强震链有序网络结构全图,按照文献 [13] 网络构建的原则与方法,为突出整体结构的规律,需要选择可公度性或有序性强的强震样本作为网络节点.这里,图 1 就没有选用 1879 强震样本作为网络节点参与有序性分析.为保证样本上下左右之间的时序关联,个别样

表 1 江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震目录(1846—2012 年)

Table 1 Catalogue of $M \geq 6$ strong earthquakes in Jiangsu-South Yellow Sea region during 1846—2012

序号	发震日期	震中位置		震级/ M	地点
		纬度/(°N)	经度/(°E)		
1	1846-08-04	33.5	122.0	(7)	南黄海
2	1847-11-12	33.0	122.0	(6)	南黄海
3	1852-12-16	33.5	121.5	($\geq 6\frac{1}{2}$)	南黄海
4	1853-04-14	33.5	121.5	($\geq 6\frac{1}{2}$)	南黄海
5	1853-04-15	33.0	121.5	(≥ 6)	南黄海
6	1853-04-23	32.0	122.5	(6)	南黄海
7	1879-04-04	34.0	122.0	($6\frac{1}{2}$)	南黄海
8*	1905-09-29	33.8	121.5	($6\frac{1}{2}$)	南黄海
9	1910-01-08	35.0	122.0	$6\frac{3}{4}$	南黄海
10	1921-12-01	33.7	122.0	$6\frac{1}{2}$	南黄海
11	1927-02-03	33.5	121.0	$6\frac{1}{2}$	南黄海
12	1927-02-03	33.5	121.0	$6\frac{1}{2}$	南黄海
13	1979-07-09	31.45	119.25	6.0	溧阳西南
14	1984-05-21	32.60	121.66	6.1	南黄海
15	1984-05-21	32.64	121.60	6.2	南黄海
16	1996-11-09	31.83	123.10	6.1	南黄海

注:序号 8* 在文献 [23] 中震级为 $6\frac{1}{2}$ 级,在文献 [24] 中修改为 5.6 级.

表 2 江苏—南黄海地区中强地震活动分幕

Table 2 Division of seismic period in Jiangsu-South Yellow Sea region

分幕	起止年份	时长/a	轮回时长/a	地震频数				最大震级/ M	释放能量/($10^7 J^{1/2}$)	
				5~5.9	6~6.9	≥ 7	合计		$\Sigma \sqrt{E}$	合计
第 1 活跃幕	1839—1855	17		6(有缺失)	5	1	12	7	12.05	
第 1 平静幕	1856—1904	49	66	1	1	0	2	6.5	2.21	14.26
第 2 活跃幕	1905—1932	28		10	5	0	15	6.75	12.11	
第 2 平静幕	1933—1973	41	69	2	0	0	2	5.75	0.65	12.76
第 3 活跃幕	1974—1997	24		9	4	0	13	6.2	5.83	
第 3 平静幕	1998—2042?	45?	69?	?	?	?	?	(至今 5.0)	(0.14)	(5.97)
未来活跃幕	2043? —									

注:表 2 根据文献 [20] 表 2 改编.

本也可重复出现在网络结构图中. 有时一个网络图难以概括全面, 可以分别采用二维平面或三维立体的多个网络图从不同角度来加以描述^[12-13]. 本文将强震样本 1847 并入 1846, 将 1853 并入 1852, 以平面左上角为坐标原点, 按照时序从左向右, 同时从上往下相互连接展开. 为了研究的方便, 本文采用强震样本发生的年份来表示网络节点, 两节点之间连线上的数字为年号之差, 即此两强震的时间间隔. 个别情况略加调整, 如节点 1921 与 1910, 按年号相差 11 a, 而两者之间实际间隔 11.90 a, 故按 12 a 计算; 节点 1910 与 1846, 按年号相差 64 a, 而两者之间实际间隔 63.43 a, 故按 63 a 计算; 节点 1910 与 1852, 按年号相差 58 a, 而两者实际间隔 57.06 a, 故按 57 a 计算. 横行表示在同一个活跃幕内 6 级强震链的传递关系, 纵列则表示 6 级强震跨活跃幕之间的连接关系. 图 1 深入地刻画了本研究区自 1846 年以来 $M \geq 6$ 强震活动的客观规律, 既简明扼要, 又准确清晰. 尤为令人关注的是, 有序值 74~75 a 具有突出的预测功能, 它能在各个活跃幕之间传递, 而有序值 11~12 a 和 5~6 a 则在活跃幕内部传递.

同时, 图 1 非常鲜明地反映出本研究区 $M \geq 6$ 强震活跃幕的划分. 1996 年南黄海 6.1 级强震之后, 本区 $M \geq 6$ 强震活动确已进入平静幕. 笔者曾于 1993、1995 年根据信息有序网络结构以及本区 $M \geq 5$ 中强地震的可公度性与有序性, 较好地预测了 1996 年 11 月 9 日南黄海 6.1 级地震的发生^[17-18]. 由图 1, 将其第 1 条纵线延伸 74 a, 则可知本区未来 $M \geq 6$ 强震可能发生在 2053 年前后, 该强震将可能成为本区未来第 4 活跃幕的首次 $M \geq 6$ 强震; 同样, 将第 2 条、第 3 条纵线分别延伸 74 a, 则本区未来第 2 次、第 3 次 $M \geq 6$ 强震或强震群可能分别发生在 2058、2070 年前后 (因本文采用发震年号表示强震样本, 故而预测误差取 ± 1 a, 下同).

如果将图 1 做三维立体化处理, 则有整个研究区 $M \geq 6$ 强震四棱柱形状的三维立体网络预测示意 (图 2), 由强震样本 1921 向下竖直延伸 75 a, 即为 1996 年南黄海 6.1 级强震. 这与图 1 的预测结果是一致的.

同样, 如果将图 1 做三维立体化处理, 还可以有五棱柱体形状的有序网络结构, 如图 3 实线部分所示. 这里样本 1921 重复出现, 以便上下底面各节点的联系. 图 3 也非常准确地概括并总结了 1846 年以来本区强震链前后关联的活动规律. 将图 3 中的强

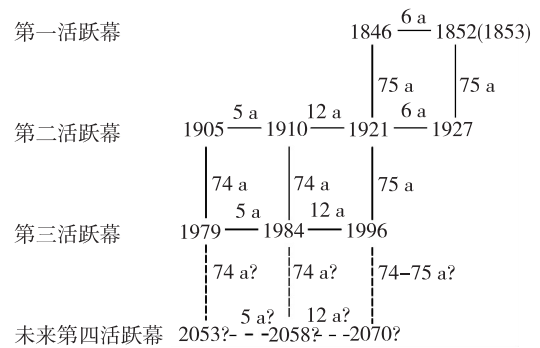


图 1 江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震有序网络结构及其预测示意 (虚线表示预测, 下同)

Fig. 1 Ordered network structure of $M \geq 6$ strong earthquakes and its prediction in Jiangsu-South Yellow Sea region (dashed line denotes prediction and the same in following figures)

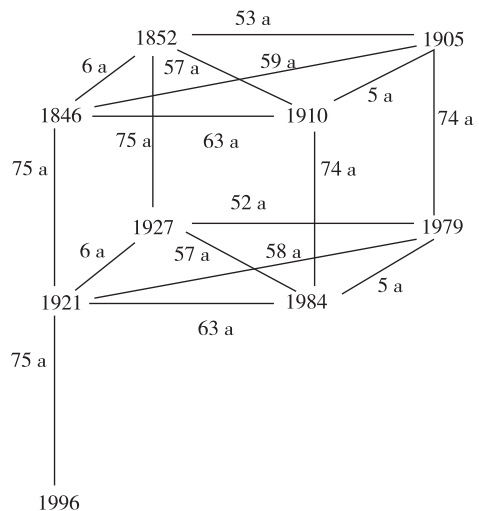


图 2 1996 年南黄海 6.1 级地震三维立体网络预测示意

Fig. 2 Sketch of prediction for the $M = 6.1$ earthquake in 1996 in the South Yellow Sea by using a 3D-ordered network

震样本 1979、1984、1996 分别向下方竖直延伸 74 a, 即得本区未来第 4 活跃幕强震预测值 2053、2058、2070. 这与图 1 和图 2 的预测结果是完全一致的.

2.2 构建南黄海海域 $M \geq 6$ 强震有序网络

在本研究区南黄海海域之内, $M \geq 6$ 强震链有序网络结构如图 4 所示. 1846 年以来南黄海海域 $M \geq 6$ 强震具有鲜明的丛集特征, $M \geq 6$ 强震按 3 丛分布, 每丛间隔 57 a, 丛内强震间隔 11~12 a 和 5~6 a. 图 4 中以横线为主链, 每条横线表示处于同一活跃幕内的一丛强震 (不计余震), 竖线则起着连接与支撑的作用, 表示上下 2 个活跃幕的联系, 按时间顺序描述

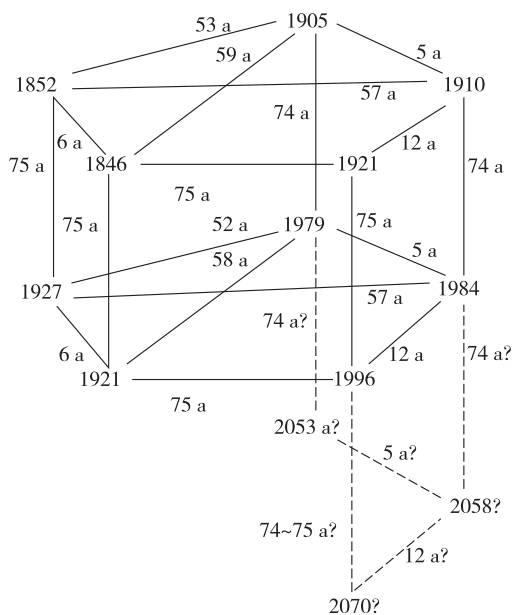


图3 江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震三维立体有序网络结构及其预测示意

Fig. 3 3D-ordered network structure of $M \geq 6$ earthquakes and its prediction in Jiangsu-South Yellow Sea region

了南黄海海域3丛 $M \geq 6$ 强震链传递的过程,而斜线则表示跨越间隔关系,比如强震链的第1个强震样本(1846)与第3个强震样本(1910)之间,第4个强震样本(1921)与第6个强震样本(1984)之间的跨越间隔关系都是63 a,可用斜线表示;同样,第2个强震样本(1852)与第4个强震样本(1921)之间,第5个强震样本(1927)与第7个强震样本(1996)之间的跨越间隔关系都是69 a,也用斜线表示.由此类推,在3个强震样本1984—1996—未来强震(设为X)之中,1984与未来强震X的跨越间隔关系也可用虚斜线表示(虚线表示预测),其时长也应为69 a,它与由1996开始的竖线延长57 a正好相交,这一点即“2053”(为由实线和虚线所构成的平行四边形的第4点,见图4下方).

图4清晰地表明:1846年以来,南黄海海域3个 $M \geq 6$ 强震幕与平静幕交替发生,而平静幕时长为57 a基本保持不变,其规律性十分显著.根据文献[17-20]的研究结果,1997年南黄海5.1级地震之后,江苏—南黄海地区确已进入新一轮地震平静期.因此,1996年6.1级南黄海强震样本所处的地位与1927、1852两强震样本的地位十分相似,具有转折的引导作用.由强震样本1996,经过时长约为57 a的平静期后,将引出未来第4丛首个 $M \geq 6$ 强震样本

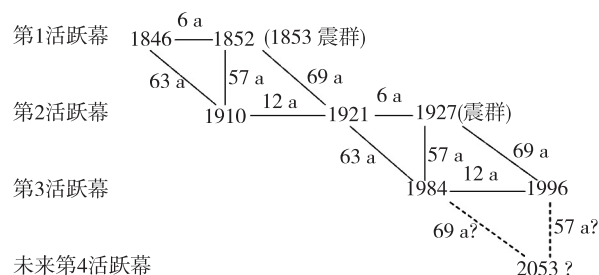


图4 1846年以来南黄海海域3丛 $M \geq 6$ 强震链有序网络结构

Fig. 4 Three groups of $M \geq 6$ strong earthquake chains and its ordered network structure in the South Yellow Sea since 1846

2053“报幕登场”,从而宣告南黄海海域内新一轮 $M \geq 6$ 强震活跃幕的开始.也就是说,图4右下方的4个强震样本:1927—1984—1996...→2053,如果构成一个非常规则而对称的平行四边形展示于未来,则预示本区2053年前后将可能发生 $M \geq 6$ 强震.

在图4中,南黄海海域内的3丛 $M \geq 6$ 强震,共有7个样本:1846、1852、1910、1921、1927、1984和1996,可构成2个几乎全等的对称四边形:1846—1852—1910—1921和1921—1927—1984—1996,这似乎表明南黄海 $M \geq 6$ 强震活动具有自我复制的特征.本文采用类似生物工程中遗传基因剪切粘接技术,将图4从1921节点剪开,然后将这2个四边形上下平行搁置,前者取为上底,后者取为下底.为突出样本间的有序关联,这里特地将样本1921重复出现,则上述7个强震样本又可构成一个四棱柱形状的三维立体有序网络(图5).图5深刻地概括并准确揭示了1846年以来南黄海海域 $M \geq 6$ 强震活动时空规律.由图5也可预测1996年南黄海6.1级强震的发生.

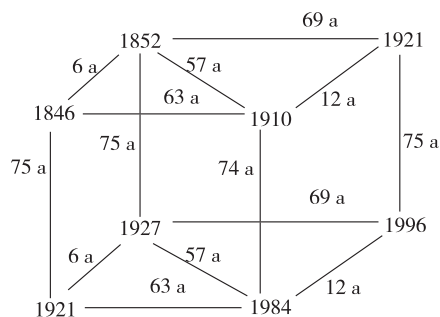


图5 南黄海 $M \geq 6$ 强震三维立体有序网络结构

Fig. 5 3D-ordered network structure of $M \geq 6$ strong earthquakes in the South Yellow Sea

将图5沿上下底面对角线垂直剖开,则可分解

为2个三棱柱体有序网络,如图6所示.图6a反映出1984年6.2级强震与强震样本1846、1852、1910、1921和1927之间耦合关联的有序性;图6b反映出1996年6.1级强震与样本1852、1910、1921、1927和1984之间耦合关联的有序性.由图6也可分别对1984、1996年强震进行预测.

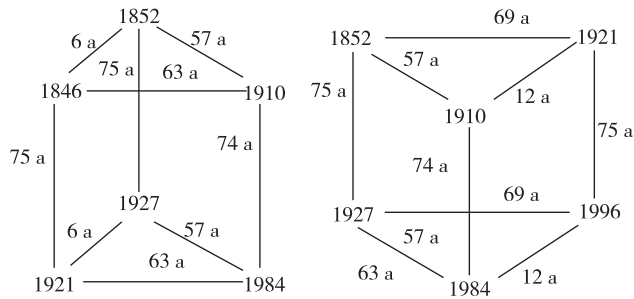


图6 由图5的四棱柱分割而成的2个三棱柱体有序网络
Fig. 6 Two triangular prisms by cutting the quadrangular in Fig. 5

2.3 构建全区经纬线强震链

上述7个强震样本不仅是南黄海海域的核心样本,也是整个研究区的核心样本,它们蕴含了强震活动规律最重要的信息:3个基本序参数57 a(或58 a)、11 a(或12 a)、5 a(或6 a),其和为57 a+12 a+6 a=75 a(或74 a).将图1强震样本按照时间顺序重新排列成“经纬线强震链”如图7所示,则所展示的3个基本序参数“—6 a—57 a(52 a+5 a)—12 a—”具有循环往复的韵律特征,特别有趣而令人瞩目.图7十分清晰而准确地反映出全区(海域和陆域) $M \geq 6$ 强震活跃幕与平静幕之间的连接关系,3条纬线分别代表3个活跃幕,而2条经线则代表2个平静幕.换言之,经线所表示的平静幕,就是它所连接的前后2个活跃幕之间的时间间隔.

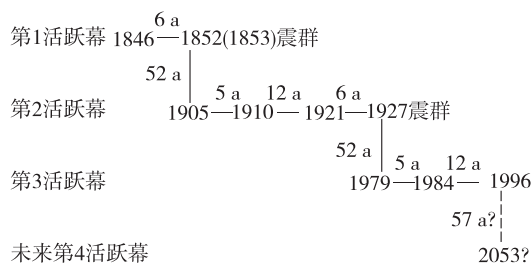


图7 江苏—南黄海全区3丛6级强震链时序关系
Fig. 7 Time sequence relationship between three groups of $M \geq 6$ strong earthquake chains in Jiangsu-South Yellow Sea region

将图7的“经纬线强震链”依照时序剪切分解,

则有以下5条强震链,其长均为75 a(或74 a):

第1条,1846—1852—1905—1910—1921,即1846(+75 a)→1921;

第2条,1852—1905—1910—1921—1927,即1852(+75 a)→1927;

第3条,1905—1910—1921—1927—1979,即1905(+74 a)→1979;

第4条,1910—1921—1927—1979—1984,即1910(+74 a)→1984;

第5条,1921—1927—1979—1984—1996,即1921(+75 a)→1996.

于是,可得:1979—1984—1996...→2053,其长也为74 a(75 a)(参见图1左边竖直虚线).

综上所述,南黄海海域 $M \geq 6$ 强震活动是整个研究区的主体.本研究区未来第4活跃幕的首次 $M \geq 6$ 强震将发生在2053年前后,震中很可能在南黄海海域之内.

3 结论与讨论

1) 地震链上的强震不是一个孤立的事件,而是具有耦合性前后关联的相互作用,从而形成网络,即所谓“涌现”.这种强震网络是一种隐性网络.本文提出的江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震网络是一个简单的具有不同参数或信息的受限生成过程(constrained generating procedures)^[26].1846年以来,本研究区 $M \geq 6$ 强震具有显著的自组织性和有序性,其主要有序值为74~75 a、69 a、63 a、57~58 a、11~12 a和5~6 a,其中74~75 a和57~58 a是最重要的序参数,反映了本研究区3个地震活跃幕与平静幕之间的连接关系,故而具有突出的预测作用.

2) 自1839年以来,江苏—南黄海地区中强地震已经历了3个轮回,从1998年起本研究区进入新一轮地震平静幕,该平静幕将持续到2042年前后,期间虽可能仍有个别5级左右地震发生,但一般不会发生 $M \geq 6$ 强震或强震群.本区未来第4活跃幕的首次 $M \geq 6$ 强震,可能发生在2053年前后,而且很可能就发生在南黄海海域内;未来第2次、第3次 $M \geq 6$ 强震或强震群可能分别发生在2058、2070年前后.

3) 地震预测研究的发展战略在于创新^[27].本文研究结果表明,强震是可以预测的,强震活动所呈现出的有序网络特性应该是强震形成的一种机制.结构是功能的基础,功能是结构的反映.这里的结构就是规律.将有序网络技术应用于强震预测研究就是

一种创新.本文所构建的江苏—南黄海整个研究区以及南黄海海域 $M \geq 6$ 强震的二维和三维有序网络结构,高度概括并深刻揭示了本研究区 170 a 以来强震活动复杂而有序的规律,并显示出其良好的预测功能,从而有效地分析和解决强震中长期跨越式预测预报问题,这对于大力推进强震预测研究和防震减灾工作具有十分重要的理论和实际意义.

4) 近期本研究区所发生的 2 个震例引起人们的普遍关注:2011 年 1 月 12 日 9 时 19 分在南黄海老震区附近(123.9°E, 33.3°N)发生过一次 5.0 级地震,这是南黄海海域内 14 a 来最大地震;2012 年 7 月 20 日 20 时 11 分在江苏省高邮市与宝应县交界处(119.6°E, 33.0°N)发生 4.9 级地震,震源深度 5 km,全省都有明显震感,这是 20 a 来江苏陆地的最大地震.本文研究结果表明,它们是本研究区平静幕内个别孤立发生的地震,公众不必为此担忧,近期不会有 5.5 级以上破坏性地震发生.

参考文献

References

- [1] 翁文波.预测论基础[M].北京:石油工业出版社,1984
WENG Wenbo. Fundamentals of forecasting theory[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984
- [2] 翁文波,吕牛顿,张清.预测学[M].北京:石油工业出版社,1996
WENG Wenbo, LÜ Niudun, ZHANG Qing. Theory of forecasting[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996
- [3] 翁文波原著,门可佩,秦伟良整理.初级数据分布[M].北京:石油工业出版社,2004
WENG Wenbo, MEN Kepei, QIN Weiliang. Primary data distribution[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004
- [4] 徐道一,王明太,耿庆国,等.翁文波院士的信息预测理论体系的创新性及其意义[J].地球物理学进展,2007,22(4):1375-1379
XU Daoyi, WANG Mingtai, GENG Qingguo, et al. The creativity of informative forecasting theory and its significance[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(4): 1375-1379
- [5] 徐道一, Ouchi T. 亚洲大地震的时间有序性与沙罗周期[J].地球物理学报,1999,42(增刊1):42-48
XU Daoyi, Ouchi T. Temporal ordering of earthquakes in Asia and Saros period[J]. Chinese J. Geophys, 1999, 42(sup1):42-48
- [6] XU Daoyi, Ouchi T. Spatiotemporal ordering of great earthquakes ($M \geq 8.0$) in Asia during 1934—1970 years[R]. Research Report of RCUSS, Kobe University, 1998(2):159-170
- [7] XU Daoyi, Ouchi T. Equidistant ordering of shallow earthquakes ($M \geq 7.5$) in and around Japan since 1890[R]. Research Report of RCUSS, Kobe University, 1998(2):141-158
- [8] XU Daoyi, Asteriadis G, Arabelos D. Equidistance ordering of large earthquakes in the aegean and surrounding areas[J]. Survey Review, 1999, 35(273):204-214
- [9] XU Daoyi, Ouchi T. On the network feature of large earthquake occurrence that appear in the spatio-temporal distribution[C]// Programme and Abstracts. The Seismological Society of Japan, 1997, 2: A54
- [10] 徐道一.大地震发生的网络性质:兼论有关地震预测的争论[J].地学前缘,2001,8(2):211-216
XU Daoyi. The network features of large earthquake occurrence and some words on the debate of earthquake prediction[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(2): 211-216
- [11] 徐道一.自组织网络与灾害链研究[C]//高建国.苏门答腊地震海啸影响中国华南天气的初步研究:中国首届灾害链学术研讨会论文集.北京:气象出版社,2007:175-179
XU Daoyi. Research on self-organization network and disaster chains[C]// GAO Jianguo. Proceedings of the First Disaster Chains Seminar in China. Beijing: China Meteorological Press, 2007:175-179
- [12] XU Daoyi, MEN Kepei, DENG Zhihui. Self-organized ordering of earthquakes ($M \geq 8$) in Mainland China[J]. Engineering Sciences, 2010, 8(4):13-17
- [13] 门可佩.新疆地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构及其预测研究[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2012,4(3):270-278
MEN Kepei. Ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in Xinjiang[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(3): 270-278
- [14] 门可佩.青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构及其预测研究[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2012,4(4):317-326
MEN Kepei. Ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in northern Tibetan Plateau region[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(4): 317-326
- [15] 门可佩.中国大陆 8 级大震有序网络结构及其预测研究[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2012,4(5):466-475
MEN Kepei. Research on ordered network structure of $M \geq 8$ great earthquakes and its prediction in Mainland China[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(5): 466-475
- [16] 门可佩.西藏北块 $M \geq 7$ 强震有序网络结构与汶川 8 级大震预测回顾[J].中国工程科学,2009,11(6):82-88
MEN Kepei. Orderly network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes in the north block of Tibet-Plateau and retrospect of prediction for Wenchuan M8.0 earthquake[J]. Engineering Sciences, 2009, 11(6): 82-88
- [17] 门可佩.江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震预测探索[J].地震地磁观测与研究,1993,14(2):7-12
MEN Kepei. Research for the prediction of strong earthquakes ($M \geq 6$) in Jiangsu-the South Yellow Sea region.

- Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1993, 14(2): 7-12
- [18] 门可佩, 赵兵. 江苏—南黄海地区地震活动趋势研究[J]. 地震地磁观测与研究, 1997, 18(3): 65-72
MEN Kepei, ZHAO Bing. Research on the seismicity trend of moderately strong earthquakes in Jiangsu-South Yellow Sea region [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1997, 18(3): 65-72
- [19] 门可佩. 江苏—南黄海地区强震有序网络结构与地震活动分期研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 1028-1032
MEN Kepei. Ordered network structure of strong earthquakes and division of seismic period in Jiangsu-South Yellow Sea region [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 1028-1032
- [20] 门可佩. 江苏—南黄海地区地震链及其有序网络结构研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(10): 2573-2579
MEN Kepei. Research on earthquake chains and its orderly network structure in Jiangsu-South Yellow Sea region [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(10): 2573-2579
- [21] 谢华章, 田建明. 长江中下游—南黄海地震带地震活动趋势分析[J]. 地震学刊, 1998(3): 1-6
XIE Huazhang, TIAN Jianming. Tendency analysis of seismicity for seismic zone of Changjiang mid-downstream reach and South Yellow Sea [J]. Journal of Seismology, 1998(3): 1-6
- [22] 田建明, 徐徐, 谢华章, 等. 江苏及南黄海地区历史地震分布类型特征[J]. 地震学报, 2004, 26(4): 432-439
TIAN Jianming, XU Xu, XIE Huazhang, et al. Distribution characteristics of historical earthquakes classes in Jiangsu province and South Huanghai Sea region [J]. Acta Seismologica Sinica, 2004, 26(4): 432-439
- [23] 江苏省地震局. 江苏地震志 [M]. 北京: 地震出版社, 1987
Seismological Bureau of Jiangsu Province. Historical records of Jiangsu earthquake [M]. Beijing: Seismological Press, 1987
- [24] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年) [M]. 北京: 地震出版社, 1995
Department of Earthquake Disaster Prevention, State Seismological Bureau. Catalogue of Chinese historical strong earthquakes (the 23rd century B C—1911 A D) [M]. Beijing: Seismological Press, 1995
- [25] 中国地震局震害防御司. 中国近代地震目录(公元1912—1990年, $M_s \geq 4.7$) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999
Department of Earthquake Disaster Prevention, China Earthquake Administration. Catalogue of Chinese recent earthquakes (1912—1990 A D, $M_s \geq 4.7$) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999
- [26] 约翰·霍兰. 涌现: 从混沌到有序 [M]. 陈禹译. 上海: 上海科学技术出版社, 2006
John Holland. Emergence: From chaos to order [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006
- [27] 许绍燮. 地震预报发展战略在于创新 [J]. 国际地震动态, 2005(5): 30-33
XU Shaoxie. The strategy of development of earthquake prediction should relied on innovation [J]. Recent Developments in World Seismology, 2005(5): 30-33

Ordered network structure of $M \geq 6$ strong earthquakes and its prediction in Jiangsu-South Yellow Sea region

MEN Kepei¹

¹ School of Mathematics & Statistics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The Jiangsu-South Yellow Sea region is one of the key seismic monitoring & defence areas in the eastern part of China. Since 1846, $M \geq 6$ strong earthquakes have showed an obvious commensurability and orderliness in this region. The main orderly values are 74-75 a, 57-58 a, 11-12 a and 5-6 a, wherein 74-75 a and 57-58 a carries an outstanding predictive role. According to the information prediction theory of Weng Wenbo, we conceived the 2D- and 3D-ordered network structure of $M \geq 6$ strong earthquakes in the South Yellow Sea and the whole research region. Based on this, we analyzed and discussed the variation of seismicity in detail and also made trend prediction of $M \geq 6$ strong earthquakes in the future. The results showed that since 1998 it has entered into a new quiet episode which may continue until about year 2042; and the first $M \geq 6$ strong earthquake in the next active episode will probably occur around year 2053, with the likely location in the area of the South Yellow Sea; furthermore, the second and the third ones or strong earthquake swarm in the future will probably occur around year 2058 and 2070.

Key words Jiangsu-South Yellow Sea region; division of seismic period; strong earthquake chains; informational ordered network structure; prediction of $M \geq 6$ strong earthquake