

门可佩. 江苏—南黄海地区地震链及其有序网络结构研究. 地球物理学报, 2009, **52**(10): 2573~2579, DOI: 10. 3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 10. 016

Mei K P. Research on earthquake chains and its orderly network structure in Jiangsu-South Yellow Sea region. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, **52**(10): 2573~2579, DOI: 10. 3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 10. 016

江苏—南黄海地区地震链及其有序网络结构研究

门可佩

南京信息工程大学数理学院, 南京 210044

摘 要 根据翁文波信息预测理论, 对江苏—南黄海地区自 1839 年以来 $M_s \geq 5$ 中强地震链时空有序性进行了深入研究, 构建了本区南黄海海域和全区 $M_s \geq 6$ 强震的有序网络结构, 并据此对未来 6 级强震进行了预测, 同时分析讨论了本区地震活动的分期. 结论表明: 本区从 1998 年起进入新一轮平静幕, 此幕可能持续到 2042 年前后, 下次活跃幕的首次 6 级强震可能发生在 2053 年前后.

关键词 江苏—南黄海地区, 地震链, 信息有序网络结构, 地震预测

DOI: 10. 3969/j. issn. 0001-5733. 2009. 10. 016

中图分类号 P315

收稿日期 2008-04-30, 2009-09-05 收修定稿

Research on earthquake chains and its orderly network structure in Jiangsu-South Yellow Sea region

MEN Ke-Pei

College of Mathematics & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Abstract According to the information prediction theory, we have done an in-depth research on the spatio-temporal orderliness of $M_s \geq 5$ mid-strong earthquake chains in Jiangsu-South Yellow Sea region since 1839. We conceived $M_s \geq 6$ strong earthquake orderly network structure in the South Yellow Sea region and the whole region. We also did prediction of strong earthquake with magnitude 6 in the future and meanwhile we analysed and discussed the variation of seismicity. The result showed that since 1998 it has entered into a new quiet episode, and it may last to about 2042; the first strong earthquake with magnitude 6 of next active episode may take place in the year about 2053.

Keywords Jiangsu-South Yellow Sea region, Earthquake chains, Informational orderly network structure, Earthquake prediction

1 引 言

地震预测预报是当今世界难题. 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]的研究表明, 中国和亚洲大地震不仅在时间上而且在空间上也具有有序性, 1997 年他提出信息有序系列概念, 2001 和 2007 年又分别提出大地震的网络假说和自组织网络新观念, 进一步丰富和发展了信息预测理论^[9~12]. 网络假说把大震视为多

基金项目 南京信息工程大学科研基金资助项目.

作者简介 门可佩, 男, 1949 年生, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事应用统计分析、信息预测理论和天灾预测研究.

E-mail: menkp1949@tom.com

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. 1987年郭增建等^[13~15]首次提出灾害链的理论概念和分类. 郭增建等^[16]指出:地球物理灾害链是一门新的交叉创新学科,它是研究广义地球物理领域内不同灾害相互关系,并由这一灾害预测另一灾害的学科. 而所谓强震灾害链则是一定的时期内强震灾害在同一地区或遥联地区相继有序发生的现象. 从1972年开始,耿庆国^[17]在早震链方面用大早作大地震的中期预报取得明显成效. 专家群体关于灾害链及其预测的研究成果极大地开拓和推进了信息预测理论的发展.

1993年以来,作者即致力于新疆地区、青藏高原北部地区以及江苏—南黄海地区强震与强震链的有序性及其网络结构研究^[18~27]. 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,对地处华东东部的江苏—南黄海地区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,同时对本区未来新一轮地震活跃幕将于何时开始提出判断意见,为我国东部防震减灾工作提供重要依据.

2 研究区地震活动的基本情况

本研究区(31~35.5°N, 118~124.5°E)是长江中下游—南黄海地震带(简称长南带)的主体,位于华北活动地块的二级地块鲁东—黄海活动地块之内,其北界为燕山—渤海地震带,其西界为郯庐断裂地震带,其南界与华南活动地块区相接,东部为黄淮海域. 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、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淮海域,海域6级以上地震的累积释放应变占全区的

92%. 南黄淮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海域. 根据文献^[28]和地震史料^[29~31],从公元1400年以来本区大致可划分为两个地震活跃期:1491~1838年为第一活跃期,其间中强地震多有漏记,此处不再细谈. 第二活跃期自1839年至今,本区已经历了3个地震轮回,共发生 $M_s \geq 5$ 中强震44次,其中 $M_s \geq 6$ 强震16次(见表1,表2). 本区19世纪地震轮回(1839~1904)历时66年,应变释放总量为 $14.26 \times 10^7 J^{1/2}$,其中活跃幕历时17年,释放应变能为 $12.04 \times 10^7 J^{1/2}$;第二地震轮回(1905~1973)历时69年,应变释放总量为 $12.76 \times 10^7 J^{1/2}$,其中20世纪第一活跃幕(1905~1932)历时28年,释放应变能为 $12.11 \times 10^7 J^{1/2}$;第三轮回自1974年至今已历时34年尚未完成,其中20世纪第二活跃幕(1974~1997)则历时24年,其应变释放总量 $5.84 \times 10^7 J^{1/2}$. 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. 20世纪第二活跃幕所释放的应变能仅为前两个活跃幕的48%.

表1 1846~2008年江苏—南黄海地区 $M_s \geq 6$ 强震目录
Table 1 Catalogue of $M_s \geq 6$ strong earthquakes in Jiangsu-South Yellow Sea region (1846~2008)

序号	发震时间	震中位置		震级	地点
	年月日	°N	°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	(≥ 6.5)	南黄海
4	1853-04-14	33.5	121.5	(≥ 6.5)	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	(6.5)	南黄海
8	1910-01-08	35.0	122.0	6.75	南黄海
9	1921-12-01	33.7	122.0	6.5	南黄海
10	1927-02-03	33.5	121.0	6.5	南黄海
11	1927-02-03	33.5	121.0	6.5	南黄海
12	1932-08-22	36.1	121.6	6.25	黄海
13	1979-07-09	31.45	119.25	6.0	溧阳
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

表 2 江苏—南黄海地区地震活动分幕表(1839~2008)

Table 2 Division of seismic period in Jiangu-South Yellow Sea region (1839~2008)

分幕	经历时间			地震频数				最大震级 (M_s)	释放能量	
	起止年份	时长	轮回时长	5~5.9	6~6.9	≥ 7	合计		$\Sigma \sqrt{E} \times 10^7 J^{1/2}$	合计
活跃幕	1839~1855	17a		6(有缺失)	5	1	12	7	12.05	
平静幕	1856~1904	49a	66a	1	1	0	2	6.5	2.21	14.26
活跃幕	1905~1932	28a		10	5	0	15	6.75	12.11	
平静幕	1933~1973	41a	69a	2	0	0	2	5.75	0.65	12.76
活跃幕	1974~1997	24a		9	4	0	13	6.2	5.83	
平静幕	1998~2042?	45a?	69a?	0	0	0	?	(至今 4.7)	(0.08)	(5.91)
活跃幕	2043 ? -									

注:此表参阅文献[28]和江苏省地震局《江苏省 2003 年度地震趋势研究报告》而编制。

3 $M_s \geq 6$ 强震链的有序网络结构分析

3.1 构建本区 6 级强震有序网络

根据作者多年研究,本区中强地震活动呈现出良好的有序性和可公度性^[22~25]. 经计算,5 级中强震的可公度值约为 2.9a,6 级强震的可公度值约为 6.2a. 特别是 6 级强震的有序性,则表现得更为显著,其主要有序值为 74~75a,57~58a,11~12a 和 5~6a. 图 1 是整个研究区(包括海域和陆域)6 级强震有序网络结构图,纵列表示在同一个活跃幕内 6 级强震链的传递关系,横行则表示 6 级强震跨幕之间的连接关系. 该图深入地刻画出本区 6 级强震活动的客观规律,准确清晰,且又简明扼要. 尤为令人关注的是有序值 74~75a 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 11~12a 和 5~6a 只在本活跃幕之内出现. 同时,图 1 非常鲜明地反映出本区地震活跃幕的划分,1996 年南黄海 6.1 级强震后本区 6 级强震活动确已进入平静期. 作者曾于 1992、1995 年根据此有序结构网络图以及本区中强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^[22,23]. 由图 1,将其第一条横线延伸可知,本区未来 6 级强震可能发生在 2053 年前后,该强震将成为本区 21 世纪新一轮活跃幕的首次 6 级强震.

3.2 构建南黄海海域 6 级强震有序网络

图 2 绘出本区南黄海海域内 $M_s \geq 6$ 强震链的有序网络结构图. 1846 年以来,南黄海海域 6 级强震具有鲜明的丛集特征,6 级强震按 3 丛分布,每丛间隔 57a,丛内强震间隔 12a(或 11a)和 6a,规律性十分显著. 图 2 中以横线为主链,每条横线表示处于

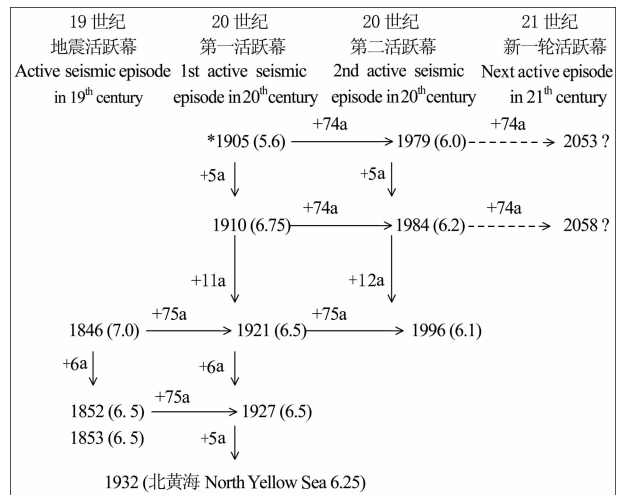


图 1 江苏—南黄海地区 $M_s \geq 6$ 强震链有序网络结构及其预测示意图(虚线表示预测)

(* : 文献[29]中此地震为 6.5 级,文献[30]中修改为 5.6 级.)

Fig. 1 Strong earthquake chains and its orderly network structure of $M_s \geq 6$ and prediction sketch map in Jiangu-South Yellow Sea region (dashed denotes prediction) (* : in Ref. [29] the magnitude of this earthquake was 6.5, the magnitude was modified to 5.6 in Ref. [30])

同一活跃幕内的一丛强震(不计余震),以竖线为连接,表示上下两个活跃幕的联系,按时间顺序描述了南黄海海域 3 丛 6 级强震链传递的过程;而斜线则表示跨越间隔关系,比如强震链时序的第一个样本(1846)与第三个样本(1910)的跨越间隔关系为 69a,可用斜线表示. 同样第二个样本(1852)与第四个样本(1921)的跨越间隔关系,第四个样本(1921)与第六个样本(1984)之间的关系,第五个样本(1927)与第七个样本(1996)之间的关系等均可用斜线表示. 由此类推,在 1984~1996~未来强震样本(设为 X)的 3 个事件中,1984 与 X 的跨越间隔关系

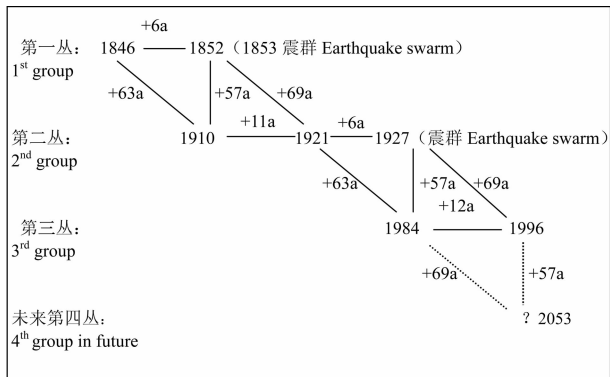


图2 1846年以来南黄海3丛6级强震链时序关系及其信息有序网络结构(虚线表示预测)

Fig.2 The time sequence relationship between 3 groups of $M_s \geq 6$ strong earthquake chains and information orderly network structure in South Yellow Sea since 1846 (dotted line for prediction)

也可用虚斜线表示(虚线表示预测),其时长也应为69a,它与由1996开始的竖线延长57a正好相交,这一点即为“2053”.图2所展示的3个基本周期“-57a-12a-6a-”循环往复的韵律特征,特别令人注目.

在图2中,南黄海水域3丛6级强震共7个样本:1846-1852-1910-1921与1921-1927-1984-1996构成两个几乎全等的四边形.根据上述研究结果,如果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,在此条件之下,1996年6.1级南黄海强震样本所处地位与1927、1852二强震样本的地位十分相似,由1996年经过大约57年的平静期后,引出2053年的第四丛强震,从而宣告新一轮南黄海水域6级强震活跃幕开始.若果真如此,则在1927~1984~1996~2053这四个地震样本构成一个非常规则的平行四边形展示于未来(见图2右下方的平行四边形).

4 $M_s \geq 5$ 中强震的时空有序性

不仅南黄海水域的 $M_s \geq 6$ 强震具有良好的有序性,整个江苏-南黄海地区 $M_s \geq 5$ 中强地震链也呈现出显著的时空有序性,可为地震活跃幕内中强地震活动趋势和短临预报分析提供准确而有效的信息.现也举出二例:

(1)图3给出本区20世纪第一活跃幕 $M_s \geq 5$ 中强地震链可公度性有序网络结构,上面一行系列中1905、1910、1916、1921、1927和1932年6个地震样本,5a与6a彼此交叉间隔;下面一行系列有1913、

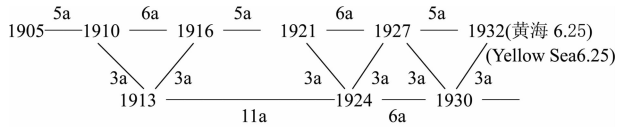


图3 江苏-南黄海地区20世纪第一活跃幕 $M_s \geq 5$ 中强地震链可公度性有序网络结构

Fig.3 The orderly network structure of commensurability for the first active episode in 20th century of $M_s \geq 5$ mid - strong earthquake chains in Jiangsu-South Yellow Sea region

1924、1930等3个地震样本,上下二系列之间各元素均相隔3a,非常整齐,秩序井然.由此可见,图3显著地表现出本区中强地震时序所蕴含的周期为3a、5~6a、11a的可公度性.同时上下两个系列还可构成6个四边形:

1910—1921—1913—1924, 1916—1927—1913—1924, 1910—1927—1913—1930, 1916—1932—1913—1930, 1921—1927—1924—1930, 1927—1932—1924—1930.

前2个四边形严格规范对称,可称为全等四边形.后4个四边形也较为规范对称,其中每一对四边形较长的对边仅仅相差1a.

(2)图4描绘了江苏-南黄海地区20世纪第二活跃幕 $M_s \geq 5$ 中强地震链海域陆地交替发生的有序格局.从1971年12月30日长江口外4.9级地震开始,2.5年之后转移到陆地发生1974年溧阳5.5级强震,1年后地震又折向海域,于1975、1976年在南黄海连年发生5.3和5.4级地震;3年之后第二次从海域转向陆地发生1979年溧阳6.0级强震,5年后地震又折向海域,于1984、1987连续在海域和海域边缘分别发生6.2级和5.1级地震;3年之后第三次从海域转向陆地发生1990年常熟5.1级地震,2年后地震又折向海域,于1992、1994年在南黄湖北部海域连续发生两次5.3级地震;1年后第四次从海域转向陆地发生1995年山东苍山5.1级地震,再过1年,又一次折向南黄海水域接连发生1996年6.1级强震和1997年5.1级地震.

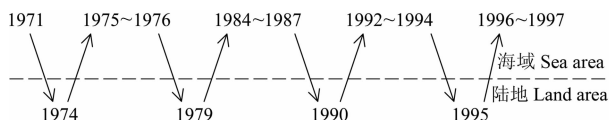


图4 江苏-南黄海地区20世纪第二活跃幕 $M_s \geq 5$ 地震链海陆交替发生的有序格局

Fig.4 The sea-land alternative orderly pattern for the second active episode in 20th century of $M_s \geq 5$ earthquake chains in Jiangsu-South Yellow Sea region

图 4 向我们揭示了第二活跃幕中强震链传递发生和发展的以下 3 个特点:

① 陆地上的 4 个地震样本 1974、1979、1990 和 1995 分别间隔为 5a、11a、5a, 显示出以 5a 为基本周期的可公度性;

② 从海域转移到陆地发生一般间隔约为 3a, 而由陆地折向海域发生其时间长度为 1~5a 不等;

③ 海域中强震是成对发生的(不计同地发生的前余震), 共有 4 对, 每对前后两个地震间隔 1~3a.

图 4 充分反映了本地区第二活跃幕 $M_s \geq 5$ 中强地震时间序列海陆交替发生的格局, 井然有序, 成为我国东部中强地震区一个十分令人关注的范例与研究课题.

5 下次活跃幕开始时间的判断

众所周知, 地震活动是不均匀的, 呈现出活跃-平静相互交替的周期性特征, 地震活动活跃与平静的起止年份分期又是极为复杂的科学难题. 而地震活跃幕和安静幕的正确划分对于任一地震区未来地震趋势的判断至为关键, 特别是对处于活跃幕与安静幕的转折时期所发生中强地震的判断难度更大. 根据文献[27]的表 1, 在本区 1839~1855 年的活跃幕中, 5 级以上中强震最大时间间隔为 5.139a (即 1839-10-12 宜兴东 5 级~1844-12-02 长江口 5 级). 在 20 世纪第一活跃幕中, 相邻两次中强震的最大间隔是南黄海 1916-04-05 (5.3 级)~1921-12-01 (6.5 级), 间隔时间为 5.655a. 20 世纪第二活跃幕内中强震的最大间隔是 1979-07-09 (溧阳 6.0 级)~1984-05-21 (南黄海 6.2 级), 其间隔时间为 4.866a. 1974 年以来本区进入 20 世纪第二活跃幕, 到 2008 年底已历时 34 年. 自 1997 年 7 月 28 日南黄海 5.1 级地震至今, 本区已有 11 年多没有发生 5 级以上地震, 无震间隔时间远远超过 1839 年以来活跃幕内中强地震的最大间隔 (5.655a). 因此作者认为, 1997 年 7 月 28 日南黄海 5.1 级地震之后, 20 世纪第二活跃幕已告结束, 1998 年至今本区已进入新一轮地震平静幕, 此次平静幕可能持续到 2042 年前后, 如表 2 所示.

在 20 世纪第二活跃幕内, 中强地震活动远比第一活跃幕频度低、强度弱, 其应变能释放仅为后者的 48%. 因此, 第二活跃幕时长理应比第一活跃幕时长要短些, 其后续接的平静幕也应比前次略长一些. 对照 20 世纪第一活跃幕与平静幕的总时长为 69

年, 如果 20 世纪第二活跃幕与平静幕的总时长也保持 69 年, 则此次新一轮平静幕估计历时约为 45 年. 也就是说, 今后 30 多年内虽然不排除有个别 $M_s \geq 5$ 地震发生的可能, 但不太可能发生 $M_s \geq 6$ 强震或强震丛. 因此, 本文的研究成果为未来提供了较长时间的安全保障, 这对于我国华东东部地区防震减灾工作的开展, 具有指导意义.

本区已进入地震平静幕的结论, 作者曾于 2001 年天灾预测总结会议上提出^[1]. 同时, 在南京市地震局举办的地震趋势研讨会上, 对目前本区仍处于活跃幕后期提出了质疑^[2,3], 2004、2005 年在文献[26、27]中也重申过这一问题. 目前本区处于平静期已是不争的事实, 即使比照本区近 160 年来 5 级以上中强地震记录中相邻两次地震最大间隔 (16.4a~26.1a), 未来本区至少应有 5 年以上时间不会有 5 级以上地震.

6 结论与讨论

(1) 网络是系统概念的进一步延伸和扩充^[11,12]. 网络是开放的, 它更适于描述客观存在的一些复杂事物. 21 世纪是网络时代, 网络思想和理论已经渗透到自然科学和社会科学的方方面面. 技术、生物、社会、经济等领域的很多复杂系统都可用网络进行直观刻画, 强震和强震链也应该是这样, 网络技术这一方法也应适用于强震预测研究. 单个强震好比单个蚂蚁或神经元, 通过前后左右的耦合关联组成强震链网络, 如同蚁群或神经网络, 作为一个群体所显示出的适应性却大大地超过了它的个体成员. 因此, 强震与强震链网络作为一个整体所蕴含的信息量与所显示的功能必然大于单个强震样本之和. 涌现是一种具有耦合性的前后关联的相互作用. 在技术上, 这些相互作用以及该作用所产生的系统都是非线性的. 具有普适意义的涌现理论能够预言许多复杂行为, 给予我们关于生命、智慧和组织的很多启示^[32].

(2) 信息有序性和可公度性是自然界的一种秩

1) 中国地球物理学会天灾预测专业委员会编.《2001 天灾预测总结会议文集》. 2001 年 11 月, 70~73

2) 南京市地震办公室.《江苏省 2002 年度地震趋势研究报告》. 2001 年 11 月, 28~30

3) 南京市地震局.《江苏省 2005 年度地震趋势研究报告》. 2004 年 10 月, 32~34

序,强震活动等重大天灾所呈现出的有序网络特性可能是其形成的一种机制。本区强震活动的网络结构,为网络假说提供了有说服力的实例。应用信息有序网络结构分析深刻揭示了江苏—南黄海地区强震链活动复杂而有序的特征,并显示出其良好的预测功能,其方法独特且又使用方便,这对中长期地震预报和防震减灾具有重要的实用价值。

(3) 1846 年来,本区南黄海海域 $M_s \geq 6$ 强震具有显著的可公度性,其可公度信息系的基本周期为 57a、12a 和 6a,此外尚有由其派生的 63a、69a、75a 等周期,其中 75a 反映了本区 3 个活跃幕之间强震的关系,故而具有突出的预测作用。

(4) 1839~1997 年江苏—南黄海地区中强地震已经历了 3 个轮回,从 1998 年起本区进入新一轮地震平静幕,持续时间可能长达 45 年左右,在此期间内虽可能仍有个别 5 级左右地震发生,但一般不会发生 6 级或 6 级以上强震或强震丛。本区南黄海海域 6 级强震第三丛活跃时段已于 1996 年结束,未来第四丛首次 6 级强震或强震丛可能发生在 2053 年前后。

致 谢 感谢匿名专家对本文的评审和提出的有益修改意见。

参考文献(References)

- [1] 翁文波. 预测论基础. 北京:石油工业出版社,1984
Weng W B. Fundamentals of Forecasting Theory (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 1984
- [2] 翁文波,吕牛顿,张清. 预测学. 北京:石油工业出版社,1996
Weng W B, Lü N D, Zhang Q. Theory of Forecasting (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 1996
- [3] 翁文波原著,门可佩等整理. 初级数据分布. 北京:石油工业出版社,2004
Weng W B, Men K P, Qing W L. Primary Data Distribution (in Chinese). 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. 地球物理学进展,2007,22(4):1375~1379
Xu D Y, Wang M T, Geng Q G, et al. The creativity of informative forecasting theory and it's significance. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2007,22(4):1375~1379
- [5] 徐道一, Ouchi T. 亚洲大地震的时间有序性和沙罗周期. 地球物理学报,1999,42(增刊):42~48
Xu D Y, Ouchi T. Temporal ordering of earthquakes in Asia and Saros period. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1999, 42(Suppl.):42~48
- [6] Xu D Y, Ouchi T. Spatiotemporal ordering of great earthquakes ($M \geq 8.0$) in Asia during 1934~1970 years.

- Research Report of RCUSS, Kobe University*, 1998, (2):159~170
- [7] Xu D Y, Ouchi T. Equidistant ordering of shallow earthquakes ($M \geq 7.5$) in and around Japan since 1890. *Research Report of RCUSS, Kobe University*, 1998, (2):141~158
- [8] Xu D Y, Asteriadis G, Arabelos D. Equidistance ordering of large earthquakes in the aegean and surrounding areas. *Survey Review*, 1999, 35(273):204~214
- [9] Xu D Y, Ouchi T. On the network feature of large earthquake occurrence that appear in the spatio-temporal distribution. In: 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. 地学前缘, 2001, 8(2):211~216
Xu D Y. The network features of large earthquake occurrence and some words on the debate of earthquake prediction. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 2001, 8(2):211~216
- [11] 徐道一. 试论“系统”和“网络”的异同. 王恒礼, 毕孔彰, 吴凤鸣主编. 地学哲学与全面建设小康社会. 北京:中国大地出版社, 2004, 263~268
Xu D Y. On the similarities and dissimilarities of terms “System” and “Network”. In: Wang H L, Bi K Z, Wu F M eds. *Geoscience Philosophy and building a well-off society in an all-round way* (in Chinese). Beijing: China Land Press, 2004, 263~268
- [12] 徐道一. 天地生人网络研究的新方法:实例和认识. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(2):178~180
Xu D Y. Research on new method of the network among cosmos, earth, biology and humans: examples and cognition. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry* (in Chinese), 2005, 24(2):178~180
- [13] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学简论. 灾害学, 1987, (2):25~33
Guo Z J, Qin B Y. Brief Discussion on Disaster Physics. *Journal of Catastrophology* (in Chinese), 1987, (2):25~33
- [14] 郭增建, 秦保燕, 李革平. 未来灾害学. 北京:地震出版社, 1992
Guo Z J, Qin B Y, Li G P. *Future Catastrophology* (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1992
- [15] 郭增建, 秦保燕, 郭安宁. 地气耦合与天灾预测. 北京:地震出版社, 1996
Guo Z J, Qin B Y, Guo A N. *Coupling Effect of the Earth-Gas and Disaster Forecasting* (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1996
- [16] 郭增建, 郭安宁, 周可兴. 地球物理灾害链. 西安:西安地图出版社, 2007
Guo Z J, Guo A N, Zhou K X. *Geophysical Disaster Chain* (in Chinese). Xi'an: Xi'an Map Press, 2007
- [17] 耿庆国. 中国旱震关系研究. 北京:海洋出版社, 1985
Geng Q G. *Research on the relation of drought and earthquake* (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1985
- [18] 门可佩. 信息预测理论与新疆地区 7 级强震趋势研究. 地球

- 物理学进展, 2002, **17**(3):418~423
Men K P. Theory of informational forecast and $M \geq 7$ strong earthquake trend in Xinjiang area. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2002, **17**(3):418~423
- [19] 门可佩. 青藏高原北部地区 7 级强震的有序网络特征及其预测研究. 地球物理学进展, 2003, **18**(4):765~771
Men K P. Orderly network feature of $M \geq 7$ earthquakes and its prediction in the northern part of Qinghai-Xizang plateau. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2003, **18**(4):765~771
- [20] 门可佩. 重大地震灾害链的时空有序性及其预测研究. 地球物理学进展, 2007, **22**(2):645~651
Men K P. Time-space order of severe earthquake disaster chain and its prediction. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2007, **22**(2):645~651
- [21] 门可佩. 青藏北块 $M \geq 7$ 强震有序网络结构与汶川 8 级大震预测回顾. 中国工程科学, 2009, **11**(6):82~88
Men K P. Orderly network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes in the north of Tibet-Plateau and retrospect of prediction for Wenchuan $M 8.0$ earthquake. *Engineering Sciences* (in Chinese), 2009, **11**(6):82~88
- [22] 门可佩. 江苏—南黄海地区 $M \geq 6$ 强震预测研究. 地震地磁观测与研究, 1993, **14**(2):7~12
Men K P. Research for the prediction of strong earthquakes ($M \geq 6$) in Jiangsu-South Yellow Sea region. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research* (in Chinese), 1993, **14**(2):7~12
- [23] 门可佩, 赵 兵. 江苏—南黄海地区地震活动趋势研究. 地震地磁观测与研究, 1997, **18**(3):65~72
Men K P, Zhao B. Research on seismicity trend of moderately strong earthquakes in Jiangsu-South Yellow Sea region. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research* (in Chinese), 1997, **18**(3):65~72
- [24] 门可佩, 李 端. 南黄海地区强震趋势预测. 西北地震学报, 2000, **22**(2):134~138
Men K P, Li D. Prediction for the trend of strong earthquakes in the southern Yellow Sea area. *Northwestern Seismological Journal* (in Chinese), 2000, **22**(2):134~138
- [25] 门可佩. 可公度性理论与南黄海强震预测. 见:王明太, 耿庆国主编. 20 世纪回眸: 翁文波院士与天灾预测. 北京: 石油工业出版社, 2001. 121~128
Men K P. Theory of Commensurability and Strong Earthquake Prediction in the South Yellow Sea. In: Wang M T, Geng Q G eds. Review for the 20th century; Academician Weng Wen-bo and Natural Disaster Forecasting (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 121~128
- [26] 门可佩. 中国大陆东西部地区强震的有序网络结构研究. 见: 王明太, 耿庆国主编. 中国天灾信息预测研究进展——继承弘扬翁文波学术思想掠影. 北京: 石油工业出版社, 2004. 163~168
Men K P. Study on Ordered Network Structures of Strong Earthquakes and Prediction in the Eastern and Western Regions of China Continent. In: Wang M T, Geng Q G eds. Progress Natural Disaster of Informational Forecasting in China (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 2004. 163~168
- [27] 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. 地球物理学进展, 2006, **21**(3):1028~1032
Men K P. Ordered network structure of strong earthquakes and division of seismic period in Jiangsu-the South Yellow Sea region. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2006, **21**(3):1028~1032
- [28] 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. 地震学刊, 1998, (3):1~6
Xie H Z, Tian J M. Tendency analysis of seismicity for seismic zone of Changjiang mid-downstream reach and South Yellow Sea. *Journal of Seismology* (in Chinese), 1998, (3):1~6
- [29] 江苏省地震局. 江苏地震志. 北京: 地震出版社, 1987
Earthquake Administration of Jiangsu Province. Historical Materials of Jiangsu Earthquake (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1987
- [30] 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). 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.) (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1995
- [31] 中国地震局震害防御司. 中国近代地震目录(公元 1912 年~1990 年, $M_s \geq 4.7$). 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. $M_s \geq 4.7$) (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1999
- [32] Holland J H. Emergence: From Chaos to Order. London: Oxford University Press, 1998. 1~258

(本文编辑 汪海英)