

中国大陆 8 级大震有序网络结构及其预测研究

门可佩¹

摘要

中国是一个多地震的国家,1303—2011 年的 700 多年间,中国大陆共发生 $M \geq 8$ 大震 23 次,呈现出显著的自组织有序性,其主要有序值为 252 ~ 258 a, 108 ~ 112 a, 94 ~ 98 a, 44 ~ 47 a, 24 ~ 25 a, 16 ~ 19 a 和 11 ~ 14 a. 以翁文波信息预测理论为指导,将有序性分析与复杂网络技术相结合,努力探索具有中国特色自主创新的大震中长期预测方法,构建了中国大陆 8 级大震信息有序网络结构. 在总结 21 世纪初中国大陆西部所发生的 2 次 8 级大震(2001 年昆仑山 8.1 级大震、2008 年汶川 8.0 级大震)预测研究的基础上,根据所建网络结构对中国大陆未来 8 级大震提出中长期预测意见:2022、2026、2045、2065 年前后仍有可能发生 $M \geq 8$ 大震. 研究结果表明,大震是可以预测的,大震形成的机制具有网络特性. 有序网络方法是 8 级大震中长期跨越式预测的有效方法.

关键词

中国大陆;信息有序网络结构;昆仑山地震;汶川地震;大震预测

中图分类号 P315.75

文献标志码 A

收稿日期 2011-12-27

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

中国地处欧亚地震带和环太平洋地震带交汇部,是一个多地震的国家,而且是大地震多发的国家,防震减灾是我国面临的最紧迫的课题. 8 级大震是极为罕见的突发事件,数十年、上百年才可能发生一次,这使得研究工作极其复杂困难. 我国有 700 多年悠久、丰富而详细的 8 级大震纪录历史,这在世界上是独一无二的.

地球物理灾害链是一门新的交叉创新学科. 20 世纪 80 年代郭增建等^[1-4]就开始从事巨灾链的研究,并对 8 级大震时间和地点提出三性法、立交模式、静中动判据等多种预测方法. 1989 年,徐道一^[5]提出大地震预报研究的系统观点,1991 和 1997 年,他又提出大震预测的有序性方法和信息有序系列概念^[6-7],并对亚洲地区 7 级与 8 级大震的时空有序性及其几何分布特征进行了深入研究^[8-14]. 2001 和 2007 年,他又分别提出大地震发生的网络假说和自组织网络新观念^[15-16]. 2003 年,徐道一^[17]对我国历史记录中被确认的首次 8 级大震——1303 年山西洪洞地震及其后续 20 个 8 级大震进行了深入研究,提出 1303 年大震有序系列和 1556 年大震有序系列. 2010 年,徐道一等^[18]首次提出了中国大陆 8 级大震的网络结构. 20 世纪 90 年代以来,笔者致力于中国东西部地区强震活动与强震链的有序性及其网络结构研究并取得了一批重要成果^[19-22]. 本文以翁文波信息预测理论^[23-26]为指导,将有序性分析与复杂网络技术相结合,在总结本世纪初 2 次 8 级大震以及以往 7 级强震有序网络结构研究成果^[27-28]的基础上,补充 1976 年唐山大震和 2008 年汶川大震新信息,构建并完善中国大陆 8 级大震有序网络,并对未来 8 级大震进行预测,旨在推进国内外 8 级大震预测研究.

1 中国大陆 8 级大震有序网络构建

自 1303—2011 年的 700 多年内,中国大陆共发生 $M \geq 8$ 大震 23 次(表 1),平均 30.8 a 一次. 23 个大震共占有 22 个年号(其中 1833 年 2 个 8 级大震记为 1 个年号),两两相减,可得 $C_{22}^2 = 231$ 个时间间隔 τ 值. 统计分析表明,中国大陆 8 级大震具有显著的有序性,8 级大震的主要时间间隔 τ 值为 252 ~ 258 a, 108 ~ 112 a, 94 ~ 98 a, 44 ~ 48 a, 24 ~ 25 a, 16 ~ 19 a 和 11 ~ 14 a 等,其中 252 ~ 258 a 频次最高,特别令人注目. 表 1 中 23 个大震样本可以分为大震主系列(Main Or-

¹ 南京信息工程大学 数学与统计学院,南京,210044

der Series of Great Earthquakes, MOSGE) 和大震亚系列(Great Earthquake Order Sub-Series, GEOS) 两部分,在主系列中又可细分为3个大震有序系列(Great Earthquake Order Series, GEOS).

1.1 8级大震主系列有序网络构建

图1为1303—2011年中国大陆 $M \geq 8$ 大震链信息有序网络主结构,它是在文献[18]的基础上补充最新信息修定而成的.图1选取表1(地震资料主要取自文献[29-30]),部分地震参数参考国外测震机构)中15个8级大震样本(占大震总数的65.2%),大震样本用其发震年号表示(下同),以1303为坐标原点,采用双时序轴的方式,自左向右同时从上向下依时序递次延伸,构建二维平面网络图.为保证样本之间的时序联系关系,少数样本可以重复出现,例如1556(陕西华县8 $\frac{1}{4}$)、1668(山东郯城8 $\frac{1}{2}$)、1812(新疆尼勒克东8)、1920(宁夏海原8 $\frac{1}{2}$).在图1中,3个8级大震有序系列各居一行,并以其为首的大震年号来命名.第1行称为1303系列(1303 GEOS),包含8个大震样本;第2行称为1556系列(1556 GEOS),包含9个大震样本;第3行为1812系列(1812 GEOS),仅包含2个大震样本1812与1920.前2个序列属于完整的系列,第3个为不完整的系列(参见图1前3行实线连接图).

深入分析图1,可知有如下两大特点.

1) 单独观察1303系列和1556系列内部,相邻2样本间隔,即横向间隔长短从11 a到144 a或145 a各不相等,看似杂乱无章,但是,将两系列的间隔值序列放在一起比较,则立即显示出高度的有序性.

表1 中国大陆 $M \geq 8$ 大震目录(1303—2011年)
Table 1 Catalogue of $M \geq 8$ great earthquakes in Mainland China from 1303 to 2011

序号	发震时间	震中位置		M	地点
		纬度/ (°N)	经度/ (°E)		
1	1303-09-25	36.3	111.7	8	山西赵城、洪洞
2	1411-10-08	30.1	90.5	8	西藏当雄西南
3	1556-02-02	34.5	109.7	8	陕西华县 ^①
4	1654-07-21	34.3	105.5	8	甘肃天水南
5	1668-07-25	34.8	118.5	8 $\frac{1}{2}$	山东郯城
6	1679-09-02	40.0	117.0	8	河北三河平谷
7	1695-05-18	36.0	111.5	8	山西临汾 ^②
8	1739-01-03	38.8	106.5	8	宁夏平罗、银川间
9	1812-03-08	43.7	83.5	8	新疆尼勒克东
10	1833-08-26(A)	28.3	85.5	8	西藏聂拉木
11	1833-09-06(B)	25.0	103.0	8	云南嵩明杨林
12	1879-07-01	33.2	104.7	8	甘肃武都南
13	1902-08-22	39.9	76.2	8 $\frac{1}{4}$	新疆阿图什北
14	1906-12-23	43.5	85.0	8	新疆沙湾西南 ^③
15	1920-12-16	36.7	104.9	8 $\frac{1}{2}$	宁夏海原
16	1927-05-23	37.7	102.2	8	甘肃古浪
17	1931-08-11	47.1	89.8	8	新疆富蕴
18	1950-08-15	28.4	96.7	8.6	西藏察隅、墨脱
19	1951-11-18	31.1	91.4	8	西藏当雄
20	1976-07-28	39.4	118.0	7.8~8.2	河北唐山
21	1997-11-08	35.2	87.3	7.9~8.0	西藏玛尼
22	2001-11-14	36.2	90.9	8.1	青海昆仑山
23	2008-05-12	31.0	103.4	8.0	四川汶川

注:①文献[29]改定为8 $\frac{1}{4}$;②文献[29]改定为7 $\frac{3}{4}$;③文献[29]改定为7.7.

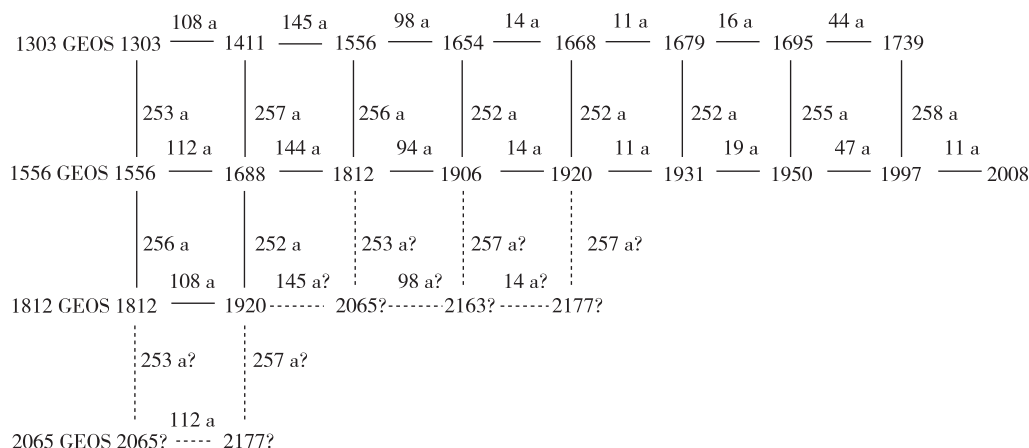


图1 1303—2011年中国大陆8级大震信息有序网络主结构(据文献[18]图1改编,虚线表示预测,下同)

Fig. 1 Ordered network structure of $M \geq 8$ great earthquakes during 1303—2011 in Mainland China

(Revised by Fig. 1 in [18]. Dotted line for prediction, followings are the same)

1303 系列中,8 个样本共有 7 个间隔值组成的间隔值序列为 108,145,98,14,11,16 和 44 a;而 1556 系列,前 8 个样本(2008 样本除外)的 7 个间隔值序列为 112,144,94,14,11,19 和 47 a.可以发现二者几乎对应相等,最大误差仅相差 4 a.

2) 此特点更为重要,这 3 个大震系列两两之间对应样本的间隔,即 10 个纵向间隔值基本一致,为 252 ~ 258 a,其中 252 a 占 4 个,256 a 有 2 个,253、255、257 与 258 a 各有 1 个,平均纵向间隔值为 254.3 a.

在图 1 中,第 1 行与第 2 行上下相应 2 个样本组成 8 个有序对(2008 样本除外),而任意 2 个有序对可组成 28 个有序组合,即有 28 个“四边形”(quadrilateral),这些四边形基本上是对边相等,或近似相等,其误差分别为 0 ~ 6 a,其中的部分有序组合如图 2 所示.这表明 1303 系列和 1556 系列之间具有非常稳定而对称的结构关系,反映出有序值 252 ~ 258 a 在中国大陆 8 级大震中具有独特的预测意义.如此明显的等时间间隔结构,只有比较均匀介质才能具有类似性质,这就意味着地球深部可能存在一种较大范围动力过程的控制作用.由此可知,中国大陆 8 级大震具有显著的信息有序性.图 1 中的这些有序值所传递的信息决非偶然,它们体现了天体运动的整体性,反映了天地之间耦合关联的整体控制

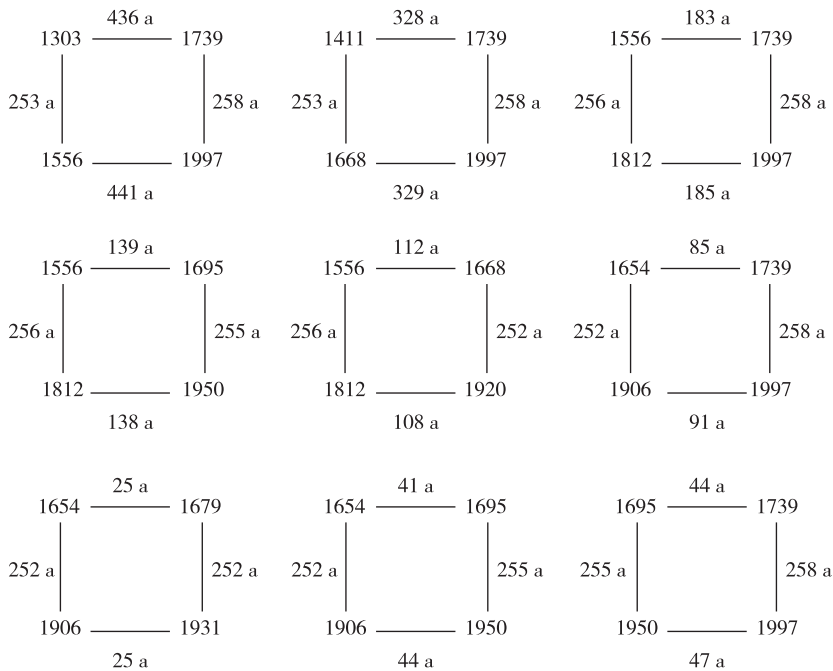


图 2 1303 系列和 1556 系列之间稳定对称的结构关系
Fig. 2 Structure relationship between the 1303 GEOS and the 1556 GEOS

作用^[15,31-32].

1.2 大震亚系列有序网络构建

表 1 中另外 8 个样本则可组成一个大震亚序列,称为 1833 GEOSS,如图 3 所示,其时间间隔具有 24 ~ 25 a 或其倍数关系. 1833 亚系列的网络结构,参见图 4.

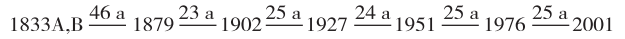


图 3 1833 亚序列各样本间的关系
Fig. 3 Relationship between earthquake samples of the 1833 GEOSS

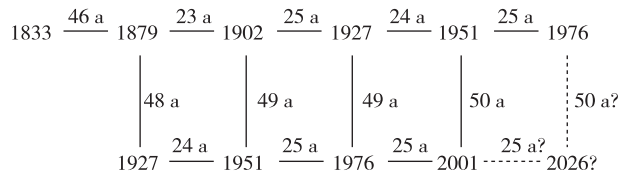


图 4 1833 亚系列网络结构及其预测
Fig. 4 Ordered network structure of the 1833 GEOSS and its prediction sketch

同样,在 1833 亚系列内相应的 4 个样本为一组所组成的各个四边形结构中,其对边几乎相等,或误差为 0 ~ 5 a,参见图 5.

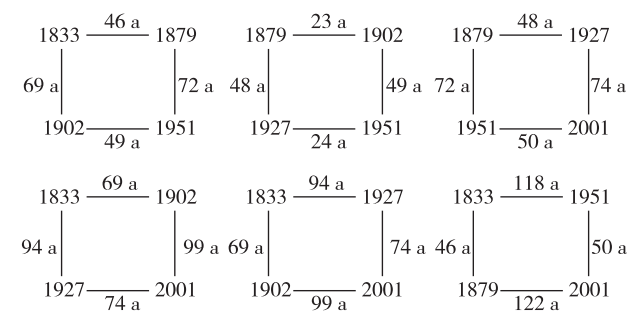


图5 1833 亚系列内相应 4 个样本所组成的对称的四边形结构关系

Fig.5 The symmetrical and quadrilateral structure of the 1833 GEOS

2 预测实例

21 世纪以来,中国大陆西部共发生 $M \geq 7$ 地震 4 次,其中 3 次——2001 年昆仑山 8.1 级大震、2008 年汶川 8.0 级大震和 2010 年玉树 7.3 级强震均发生在青藏高原北部地区,即青藏-滇缅-印尼巨型歹字型构造体系的头部. 将中国大陆 8 级大震有序网络结构图与各地区的 $M \geq 7$ 强震有序网络结构图相结合,可以缩小地域范围,为实现大震预报提供准确信息.

2.1 2001 年昆仑山 8.1 级大震预测

作者曾在文献[19-22,33-34]中,深入研究并构建了青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构图,据此曾对 2001 年昆仑山 8.1 级大震进行较为成功的预测(图 6—8). 本文图 1 给出的 8 级大震有序网络结构已充分显示出昆仑山 8.1 级大震和汶川 8.0 级大震信息. 再结合青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构图,可以缩小 8 级大震发生的空间区域范围,完全能够实现对 2001 年昆仑山 8.1 级大震的成功预测.

图 8 是中国大陆西部大三角地区(西藏、青海、新疆) $M \geq 7$ 强震有序网络结构,该图反映了 1950 年西藏察隅 8.6 级大震、2001 年昆仑山 8.1 级大震与 2003 年俄中边境 7.9 级大震之间的关系,同时也显示出有序值 77 a 的重要的预测意义.

2.2 2008 年汶川 8.0 级大震预测

2.2.1 青藏高原 $M \geq 7$ 强震有序网络结构分析

同样,将中国大陆 8 级大震有序网络结构图与青藏高原 $M \geq 7$ 强震有序网络结构图相结合,可以较为准确预测 2008 年汶川大震. 图 6—8 同样也反

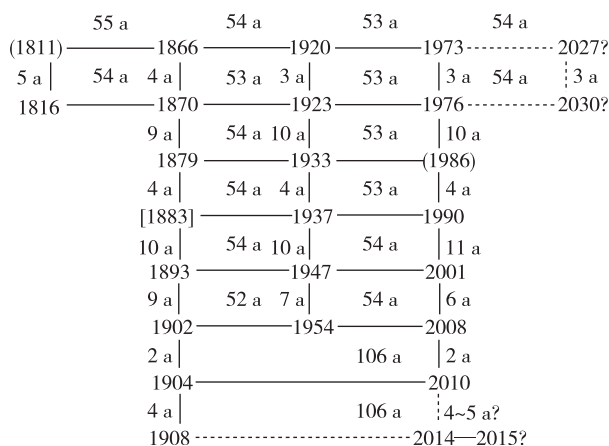


图 6 青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构与 21 世纪以来 3 大地震(昆仑山 8.1 大震、汶川 8.0 大震、玉树 7.3 强震)以及本区未来强震预测简图

(虚线表示预测,圆括号表示略小于 7 级的地震样本,方括号表示青藏南块的强震,下同)
Fig. 6 Ordered network structure of $M \geq 7$ earthquakes and prediction for 3 great earthquakes (Kunlunshan M8. 1, Wenchuan M8. 0 and Yushu M7. 3 earthquake) since 21st century and the future $M \geq 7$ earthquakes in the northern Tibetan Plateau (Dotted line for prediction, some earthquakes of magnitude less than 7 are expressed by parentheses, earthquake occurred in the southern Tibetan an Plateau is expressed by square bracket, followings are the same.)

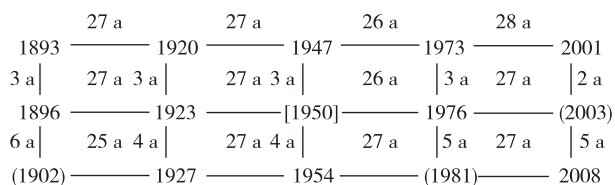


图 7 应用有序网络结构预测昆仑山 8.1 级大震和汶川 8.0 级大震示意

Fig.7 Ordered network structure of Kunlunshan M8. 1 earthquake and Wenchuan M8. 0 earthquake's prediction

映了青藏高原 $M \geq 7$ 强震有序值 53 ~ 54 a、26 ~ 27 a 对于汶川大震的特殊预测意义. 在图 7 中,3 条横线上的地震样本相隔约为 52 ~ 54 a,其规律十分清晰. 由 1947—1954—2001—2008 四点所组成的“四边形结构”,明显地传递出汶川大震的时间信息.

2.2.2 中国大陆 8 级大震有序网络结构分析

采用类似生物工程中遗传基因剪切粘接技术,由图 1 可构建 3 维立体网络结构图 9. 在图 9 中,有 3 个四边形其所有对边均相等,十分规则有序(图

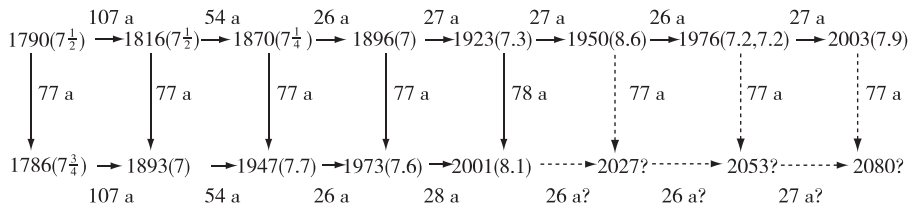


图 8 中国大陆西部大三角地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构
(注:2003 年 9 月 28 日俄、蒙、中边境发生 7.9 级大震)

Fig. 8 Ordered network structure of $M \geq 7$ earthquakes in the large triangle region of West China
(The M7.9 earthquake on September 28, 2003 occurred in the Russia-Mongolia-China border)

10). 其中 4 个有序值 11、77、252 和 329 a 具有极其重要的预测意义,而 11 a 为最基本的有序值,它们之间的关系可表示如下:

$$77 \text{ a} = 11 \text{ a} \times 7, \quad 252 \text{ a} = 77 \text{ a} \times 3 + 11 \text{ a} \times 2, \\ 329 \text{ a} = 77 \text{ a} + 252 \text{ a}.$$

它揭示了 2008 年汶川 8.0 级大震发生的时间规律,若结合青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构图,汶川大震应该是完全可以预测的.

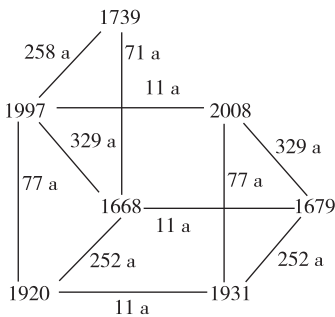


图 9 2008 年汶川 8.0 级大震预测示意
Fig. 9 Sketch of prediction for the Wenchuan M8.0 great earthquake

众所周知,太阳黑子活动具有 11a 的平均周期和 22 a 的磁性周期. 中国大陆西部地区 $M \geq 7$ 大震或强震多发生在太阳黑子峰值和谷值的前后一年. 天文观测资料显示,2007—2009 年太阳活动处于罕见的极低状态,太阳黑子相对数 (relative number of

sunspot), 又称沃尔夫数 (Wolf number) 分别为 7.5、2.9、3.1, 连续 3 a 小于 10. 自 1996 年开始的第 23 周已经历了近 14 a, 为 1798 年以来的 200 多年间太阳黑子最长周期. 上述天文背景,往往与全球性灾害频发结伴而行. 2008 年正值太阳活动第 24 周的谷值期,因此汶川 8.0 级大震的发生绝非偶然^[35].

2. 2. 3 可公度性分析

关于汶川大震的时间预测,耿庆国^[36]提出一个非常有意义的可公度元分析方法. 从图 1 可知:对 1303 大震系列,若取可公度元 44 a, 16 a, 14 a, 11 a, 则可给出下述可公度系表达式:

$$1303 + 8 \times (44 + 44) = 2007, \\ 1411 + 6 \times (44 + 44) + 44 + 14 + 11 = 2008, \\ 1556 + 4 \times (44 + 44) + 44 + 2 \times (14 + 14) = 2008, \\ 1654 + 3 \times (44 + 44) + 16 + 16 + 16 + 14 + 14 + 14 = 2008, \\ 1668 + 3 \times (44 + 44) + 44 + 16 + 16 = 2008, \\ 1679 + 3 \times (44 + 44) + 16 + 16 + 11 + 11 + 11 = 2008, \\ 1695 + 3 \times (44 + 44) + 16 + 11 + 11 + 11 = 2008, \\ 1739 + 2 \times (44 + 44) + 16 + 16 + 14 + 14 + 11 + 11 + 11 = 2008.$$

对 1556 大震系列,若取可公度元 47 a, 19 a, 14 a, 11 a, 则有下述可公度系表达式:

$$1556 + 4 \times (47 + 47) + 2 \times (19 + 19) = 2008,$$

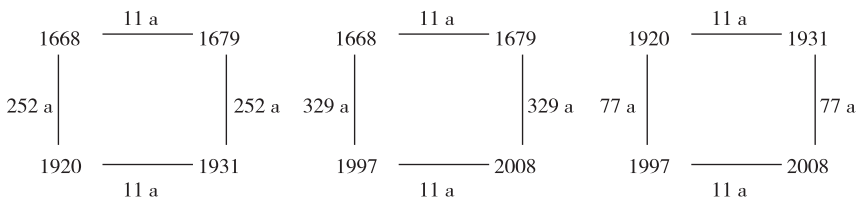


图 10 图 9 中的 3 个四边形具有稳定的对称结构

Fig. 10 Three quadrilaterals with stable and symmetrical structure in Fig. 9

$$1668 + 3 \times (47 + 47) + 47 + 11 = 2008,$$

$$1812 + 47 + 47 + 47 + 19 + 14 + 11 + 11 = 2008,$$

$$1906 + 47 + 19 + 14 + 11 + 11 = 2008,$$

$$1920 + 19 + 19 + 14 + 14 + 11 + 11 = 2008,$$

$$1931 + 47 + 19 + 11 = 2008,$$

$$1950 + 47 + 11 = 2008,$$

$$1997 + 11 = 2008.$$

对 1812 大震系列,若取可公度元 98 a, 44 a, 则有下述可公度系表达式:

$$1812 + 98 + 98 = 2008, 1920 + 44 + 44 = 2008.$$

综上所述,2008 年为中国大陆发生 8 级大震的年份. 进而,耿庆国运用强磁暴组合法给出准确的短临预测意见:2008 年 5 月 8 日 (± 10 d) 为大震危险时间点.

2.2.4 昆仑山大震、汶川大震和玉树强震的成因机制分析

70 多年前我国著名地质学家李四光^[37]就提出:当今世界有两大全球性巨型歹字型构造体系,其一是青藏滇缅印尼歹字型构造体系,其二是美洲西海岸直到中美洲加勒比海的歹字型构造体系. 文献[32]的研究表明,中国大陆西部的地震活动主要受到青藏滇缅印尼歹字型构造体系的控制. 这条构造带上所发生的大震、巨震,首尾相互牵动而呼应. 因此,该巨型歹字型构造体系显著的近代活动性是 2001 年昆仑山大震、2008 年汶川大震和 2010 年玉树强震的主要成因机制. 这为中国大陆 8 级预测研究提供了极为重要的基本依据.

2.3 中国大陆未来 8 级大震时间预测

1) 图 1 全面概括了中国大陆 700 多年以来 8 级大震链结构关系,深刻揭示了 8 级大震的活动规律、发展态势以及未来大震的预测. 图 1 中,第 1 条竖线(1303—1556—1812)全长 509 a,即 $1303 (+253 \text{ a}) \rightarrow 1556 (+256 \text{ a}) \rightarrow 1812$. 第 2 条竖线(1411—1668—1920)全长也是 509 a,即 $1411 (+257 \text{ a}) \rightarrow 1668 (+252 \text{ a}) \rightarrow 1920$,二者相等,这绝不是偶然的、随机的,而是高度有序性的必然规律. 如果 8 级大震的活动规律依然保持不变,则第 3 条竖线也应当长达 509 a,即第 3 条竖线 $1556 (+256 \text{ a}) \rightarrow 1812 (+253 \text{ a}?) \rightarrow 2065?$ 这将是未来中国大陆 8 级大震的预测时间点,或者说未来 8 级大震可能发生在 2064—2068 年. 同理,第 4 条与第 5 条竖线延伸至未来点位也应长达 509 a,即有以下预测:

$$\textcircled{1} 1654 (+252 \text{ a}) \rightarrow 1906 (+257 \text{ a}) - -$$

$$\rightarrow 2163?$$

$$\textcircled{2} 1668 (+252 \text{ a}) \rightarrow 1920 (+257 \text{ a}) - -$$

$$\rightarrow 2177?$$

若 2065 年果然发生 8 级大震的话,那么该时间点将是中国大陆未来新的 8 级大震有序系列打头的大震,可命名为 2065 GEOS(参见图 1 下部第 4 行所示,即虚线连接部分).

2) 图 4 为 1833 亚系列网络结构. 由图 4 可得以下预测:2026 年前后中国大陆有可能发生 8 级大震. 同时,在表 1 的 1833 亚系列中,若取 6 个大震样本分别表示为: $x_1 = 1879, x_2 = 1902, x_3 = 1927, x_4 = 1951, x_5 = 1976, x_6 = 2001$, 则有以下 8 个三元可公度式:

$$x_6 + x_5 - x_4 = 2026, \quad x_6 + x_3 - x_2 = 2026,$$

$$x_6 + x_6 - x_5 = 2026, \quad x_5 + x_4 - x_2 = 2025,$$

$$x_6 + x_4 - x_3 = 2025, \quad x_5 + x_5 - x_3 = 2025,$$

$$x_6 + x_2 - x_1 = 2024, \quad x_5 + x_3 - x_1 = 2024.$$

这也表明时间点 2026 年绝非偶然,在 2024—2026 年前后中国大陆有可能发生 8 级大震. 另外,自 2010 年以来太阳活动已进入第 24 周的上升期,据美国国家海洋与大气管理局(NOAA)最新预测,其峰值大约发生在 2013—2014 年. 由此推算,第 25 周谷值期大约在 2020 年前后,其峰值期大约在 2025—2026 年,上述天文背景的变化必须予以高度关注.

3) 1833 亚系列与主系列 1303、1556 之间并非隔绝而互不相关. 如图 11 所示的各个四边形对边相等,非常规则整齐,这表明它们之间也存在一定的有序联系.

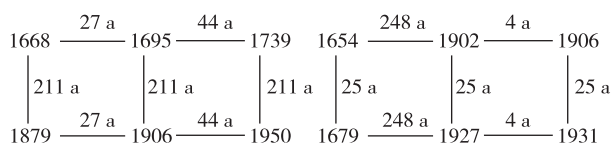


图 11 1833 亚系列与主系列 1303、1556 样本间的有序关系
Fig. 11 Order relation between the 1833 GEOSS and the 1303 GEOS or the 1556 GEOS

另一个实例则更为有趣,表 1 中我国西部地区有 6 个大震样本:1902(新疆阿图什)与 1906(新疆沙湾),1927(甘肃古浪)与 1931(新疆富蕴),1997(西藏玛尼)与 2001(青海昆仑山),前后皆间隔 4 a 成对发生,结伴而行,其中 3 个大震属于 1556 主序列,另外 3 个属于 1833 亚序列. 在短短 100 a 的时间内竟然发生了这样 3 对 8 级大震,这在中外地震史

上都是独特而罕见的震例。

本文同样采用类似生物遗传工程基因剪接技术,以此3对大震6个样本为节点,将其组合粘接可构建一个三棱柱体(triangular prism)形状的立体网络结构,见图12中实线部分.该实线三棱柱网络结构,也反映出主序列与亚序列大震样本之间井然有序的耦合关联关系.由图12不仅可以预测2001年昆仑山8.1级大震,还可以将该图进行延伸与扩充,又可构建一个由实线和虚线共同组成的四棱柱体形状的立体网络,由此可得未来8级大震对的预测,即2022与2026年中国大陆西部地区可能发生新的8级大震对。

仿此,选用1833亚序列与1556、1303主序列部分大震样本还可以组合构建五棱柱体(five prism)形状的立体网络预测图13和平面网络预测图14.由图13也可预测得知,2022与2026年前后中国大陆很有可能发生8级大震.结合前面的预测结果,即2022与2026年,这种前后间隔4a的8级大震对在有可能在中国大陆西部再次出现.由图14预测:2045年前后中国大陆也有可能发生8级大震。

综上,本文根据大震有序网络图分析,提出以下中长期预警信息:中国大陆未来8级大震将可能发生在2022、2026、2045和2065年前后.大震预报是一个渐近的过程,上述预测有可能存在虚报,后续短临预报工作则是在中长期预测的基础上采取多学科、多途径、联合协同攻关,跟踪聚焦大震信息,运用多种手段去伪存真,排除虚报,缩小预报范围,努力锁定并捕捉未来大震。

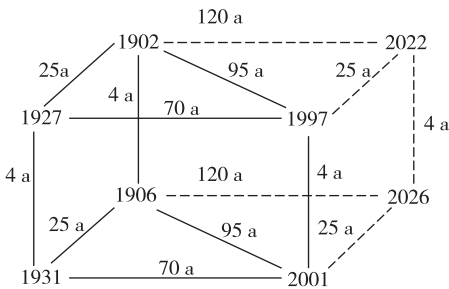


图12 未来8级大震对预测示意
Fig. 12 Sketch of prediction for the future $M \geq 8$ great earthquakes

3 结论与讨论

1) 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

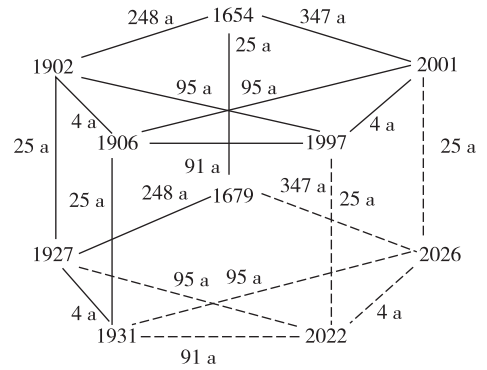


图13 1833亚序列与主序列1556、1303样本的组合预测(1)
Fig. 13 Combined prediction of the 1833 GEOS and the 1556, 1303 GEOS(1)

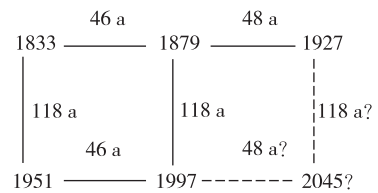


图14 1833亚序列与主序列1556样本的组合预测(2)
Fig. 14 Combined prediction of the 1833 GEOS and the 1556 GEOS(2)

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.信息预测理论融合了中西文化的优势,是当代天灾预测的重大理论创新^[23-26].翁文波将重大天灾预测分为两类,一类是以体系中各元素的共性为依据的统计预测,另一类是以体系中各元素的特性为依据的信息预测.统计预测主要研究渐变事件的预测,它需要大样本量和典型分布,对于大地震突发事件这一类小样本、贫信息的预测则显得无能为力.然而,属于信息预测范畴的有序网络方法,是以研究对象中的特性为基础,它立足于开放性,动态性,整体性,特别注重从全部原始的无序信息中挖掘并提取具有更高有序性的有用信息(即特征信息),因而可以在大震预测中取得较好的效果。

2) 21世纪是网络时代,复杂网络思想和理论已经渗透到自然科学和社会科学的各个方面^[38-40].因此,复杂网络技术也适用于8级大震预测研究.大震链网络结构是一种隐性网络.大震链与大震链网络作为一个整体所蕴含与显示的信息量必然大大超过单个大震样本的信息.大震活动所呈现出的网络特性应该大震形成的一种机制.1998年,约翰·霍兰^[41]提出受限生成过程的概念(constrained generating procedures).本文提出的中国大陆8级大震网络

就是一个简单的具有不同参数或者说是信息的受限生成过程. 在所有有序值中, 252 a 和 256 a 是最重要的参数, 它是组成大震网络的 3 个大震有序系列的主要连接方式, 具有参与和整合的特征. 按照生物遗传学的观点来解释, 1556 序列从样本 1556 到 1997 的自我复制繁殖生成的情况与 1303 序列极为相似^[16,18]. 但是也有不同之处, 1303 系列在 1739 年银川 8 级大震发生后即中止了, 而 1556 系列在 1997 年玛尼大震之后却发生了 2008“变异”, 或者说“癌变”, 这就是汶川大震, 也许大震灾害链还将继续变异下去.

3) 由表 1, 中国大陆 8 级大震可划分为 2 个集群活跃期: 1303—1739 年为第 1 活跃期, 大震活动中心在中国大陆东部和中部地区; 在平静了 73 a 之后, 从 1812 年至今为第 2 活跃期, 大震活动中心转移到西部和中部地区. 上一活动中心地区受下一活动中心的牵动, 也会发生个别 8 级大震, 但已不如原来活动程度那么高了. 2011 年 3 月 11 日日本本州东海岸附近海域 (142. 6°E, 38. 1°N) 发生 9. 0 级特大地震, 是否会对中国大陆 8 级大震活动中心的转移产生影响? 这个问题值得我们倍加关注^[17-18].

4) 中国大陆 8 级大震在时间上具有显著的自组织有序性, 由其所形成的规范的网络结构为网络假说又提供了一个新的实例. 本文提出的 8 级大震网络结构, 高度涵盖并揭示了 700 多年以来中国大陆 8 级大震活动复杂而有序的特征, 有利于我们深刻认识 8 级大震发生的规律, 从而推进 8 级大震的预测研究. 有序网络结构分析是大震中长期预测的一种直观形象、简明易行的好方法, 它避免了传统数理模型分析的繁琐和不可识别性. 大震预测虽是世界难题, 但是大震是可以预测的. 本文关于 21 世纪以来中国大陆西部所发生的 2 次大震预测总结, 再次表明: 基于翁文波信息预测理论的有序网络结构分析是大震或强震中长期跨越式预测的有效方法.

参考文献

References

[1] 郭增建, 郭安宁, 周可兴. 地球物理灾害链 [M]. 西安: 西安地图出版社, 2007
GUO Zengjian, GUO Anning, ZHOU Kexing. Geophysical disaster Chain [M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 2007

[2] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 1989
GUO Zengjian, Qin Baoyan. Disaster physics [M]. Xi'an: Science and Technology of Shanxi Press, 1989

[3] 郭增建, 韩延本, 吴瑾冰. 中国 8 级大震时间预测问题讨论 [C] // 中国地球物理学会年刊 2001. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 219
GUO Zengjian, HAN Yanben, WU Jinbing. A discussion on the temporal prediction of great earthquakes ($M \geq 8$) in China [C] // Annual of the Chinese Geophysical Society 2001. Kunming: Science and Technology of Yunnan Press, 2001: 219

[4] 郭增建, 韩延本, 吴瑾冰. 中国 8 级大震地点预测问题讨论 [C] // 中国地球物理学会年刊 2001. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 220
GUO Zengjian, HAN Yanben, WU Jinbing. A discussion on the special prediction of great earthquakes ($M \geq 8$) in China [C] // Annual of the Chinese Geophysical Society 2001. Kunming: Science and Technology of Yunnan Press, 2001: 220

[5] 徐道一, 汪成民, 高名修. 大地震预报研究的系统观点 [J]. 中国地震, 1989, 5(1): 83-84
XU Daoyi, WANG Chengming, GAO Minxiu. System view of great earthquake prediction research [J]. Earthquake Research in China, 1989, 5(1): 83-84

[6] 徐道一, 黄建发, 王湘南. 中国大陆 8 级地震的有序性: 一种新的预测方法 [J]. 地震地质, 1991, 13(3): 231-240
XU Daoyi, HUANG Jianfa, WANG Xiangnan. Temporal orderliness of earthquakes ($M \geq 8$) on China Mainland: A new approach to the prediction of earthquakes [J]. Seismology and Geology, 1991, 13(3): 231-240

[7] 徐道一, 孙文鹏, 仇宝聚, 等. 初论地质信息有序系列 [J]. 地学前缘, 1997, 4(3/4): 13-21
XU Daoyi, SUN Wenpeng, ZHANG Baoju, et al. A preliminary study on the informational ordered series in Geology [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3/4): 13-21

[8] XU Daoyi, Ouchi T. Spatiotemporal ordering of great earthquakes $M \geq 8$ in Asia during 1934—1970 years [R]. Research report of RCUSS, Kobe University, 1998, 2: 159-170

[9] XU Daoyi, Ouchi T. On the network feature of large earthquake occurrence that appear in the spatio-temporal distribution [C] // Programme and Abstract. The Seismological Society of Japan, 1997, 2, A54

[10] XU Daoyi, ZHANG Binghua, WANG Xiangnan, et al. Spatial ordering of $M \geq 8$ earthquakes in the China continent and its adjacent areas [J]. The Institute of Statistical Mathematics, Cooperative Research of Reports, 1994, 52, Mathematical Seismology (VIII): 155-164

[11] 徐道一, 大内彻. 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): 41-48
XU Daoyi, Ouchi T. Temporal ordering of earthquakes in Asia and Saros period [J]. Chinese J Geophys, 1999, 42 (supl.): 42-48

[12] 徐道一, 郑炳华, 王湘南, 等. 中国大陆及邻区 8 级地震的空间有序性 [J]. 华南地震, 1999, 19(2): 1-6
XU Daoyi, ZHANG Binghua, WANG Xiangnan, et al. The spatial ordering of $M \geq 8$ earthquakes in China continent and its adjacent areas [J]. South China Journal of Seismology, 1999, 19(2): 1-6

[13] 徐道一. 预测 20 世纪 90 年代中国大陆 8 级大震的成

- 果及其理论意义[C]//中国8级大震研究及防震减灾学术会议论文集.北京:地震出版社,2001:24-30
XU Daoyi. Results of the prediction of great earthquake $M \geq 8$ in China continent during 1990—2000 and its theoretical significance[C]//. Symposium on researches of Great Earthquakes in China and their Prevention and the Reduction of Catastrophes. Beijing: Seismological Press, 2001: 24-30
- [14] 徐道一. 中国大陆8级巨震的时间信息有序性及其预测意义[C]//中国天灾信息预测研究进展.北京:石油工业出版社,2004:142-146
XU Daoyi. Temporal ordering of $M \geq 8$ great earthquakes in Mainland China and its prediction significance[C]// Progress in Natural Disaster of Informational Forecasting of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 142-146
- [15] 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
- [16] 徐道一. 自组织网络与灾害链研究[C]//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]// Commentaries on the First Disaster Chains Seminar in China. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 175-179
- [17] 徐道一. 1303年山西洪洞8级大地震的时间有序性特征[J]. 山西地震, 2003(3): 34-36
XU Daoyi. Characteristics on time order of the 1303 Hongtong, Shanxi, strong earthquake of M8 [J]. Earthquake Research in Shanxi, 2003(3): 34-36
- [18] 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
- [19] 门可佩. 中国大陆东西部地区强震的有序网络结构研究[C]//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 Kepei. Study on ordered network structures of strong earthquakes and prediction in the eastern and western regions of China continent[C]//Progress in Natural Disaster of Informational Forecasting of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 163-168
- [20] 门可佩. 2001年昆仑山8.1级大震及其趋势研究[J]. 地震, 2002, 22(3): 39-44
MEN Kepei. Study on Kunlunshan M8.1 earthquake in 2001 and the trend of strong earthquakes [J]. Earthquake, 2002, 22(3): 39-44
- [21] 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[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 765-771
MEN Kepei. Orderly network feature of $M \geq 7$ earthquakes and its prediction in the northern part of Qinghai-Xizang plateau [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(4): 765-771
- [22] 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[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 of Tibet-Plateau and retrospect of prediction for Wenchuan M8.0 earthquake [J]. China Engineering Sciences, 2009, 11(6): 82-88
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 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
- [26] 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
- [27] 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. The ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in Xinjiang region [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(3): 270-278
- [28] 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): 307-315
MEN Kepei. The ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in the northern Tibetan Plateau region [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(4): 307-315
- [29] 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). Beijing: Seismological Press, 1995
- [30] 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 $M_s \geq 4.7$). Beijing: China Science and Technology Press, 1999
- [31] 徐道一. 对我国大陆8级巨震的新认识[J]. 国际地震动态, 2008(11): 25
XU Daoyi. A new understanding about $M \geq 8$ great earth-

- quakes in China mainland [J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2008(11): 25
- [32] 徐道一, 孙文鹏. 歹字型构造体系在地震预测中的应用的关系[J]. *地质力学学报*, 2011, 17(1): 64-73
XU Daoyi, SUN Wenpeng. Application of the eta-type tectonic series suggested by LI Siguang to earthquake prediction [J]. *Journal of Geomechanics*, 2011, 17(1): 64-73
- [33] 门可佩, 李端. 干支周期与地震预测 [C] // 翁文波院士与天灾预测. 北京: 石油工业出版社, 2001: 201-207
MEN Kepei, LI Duan. Gan-Zhi cycle and earthquake prediction [C] // Academician WENG Wenbo and prediction of natural disaster. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 201-207
- [34] 门可佩. 2000年青海玛多6.6级强震中长期预测回顾 [J]. *国际地震动态*, 2001(9): 5-10
MEN Kepei. Review of the medium and long-term predictions on Maduo Ms6.6 strong earthquake in 2000 in Qinghai Province Recent [J]. *Development in World Seismology*, 2001(9): 5-10
- [35] 中国地球物理学会天灾预测专业委员会. 2011年全国重大天灾综合预测意见 [C] // 2011天灾预测总结研讨学术会议文集, 2011: 1-3
The Committee of Natural Disaster Prediction, Chinese Geophysical Society. Severe natural disaster prediction statement of 2011 in China [C] // *Proceedings of 2011 Conference on Natural Disaster Prediction*, 2011: 1-3
- [36] 耿庆国. 汶川巨震的预测与思考 [J]. *中国工程科学*, 2009, 11(6): 123-128
GENG Qingguo. Prediction and thoughts of the Wenchuan large earthquake [J]. *China Engineering Sciences*, 2009, 11(6): 123-128
- [37] 李四光. *地质力学概论* [M]. 北京: 科学出版社, 1973
LI Siguang. *Introduction to geomechanics* [M]. Beijing: Science Press, 1973
- [38] 郭雷, 许晓明. *复杂网络* [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2006
GUO Lei, XU Xiaoming. *Complex networks* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Education Press, 2006
- [39] Albert R, Barabasi A-L. *Statistical mechanics of complex networks* [J]. *Reviews of Modern Physics*, 2002, 74(1): 47-97
- [40] Boccaletti S, Latorab V, Moreno Y, et al. *Complex Networks: Structure and dynamics* [J]. *Physics Reports*, 2006, 424(4/5): 175-308
- [41] Holland J H. *Emergence: From chaos to order* [M]. Oxford University Press, 1998: 1-258

Research on ordered network structure of $M \geq 8$ great earthquakes and its prediction in Mainland China

MEN Kepei¹

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

Abstract China is one of the countries which have the most earthquake disasters in the world. A total of 23 $M \geq 8$ earthquakes occurred in Mainland China from 1303 to 2011. The seismic activity of $M \geq 8$ earthquakes has showed an obvious self-organized orderliness. The main ordered values are 252-258 a, 108-112 a, 94-98 a, 44-47 a, 24-25 a, 16-19 a and 11-14 a. According to the information forecasting theory of WENG Wenbo and combining ordered analysis with complex network technology, we build the informational ordered network structure of $M \geq 8$ great earthquakes in Mainland China, and summarize the prediction research on two great earthquakes (the 2001 Kunlunshan M8.1 and the 2008 Wenchuan M8.0 earthquake) during the beginning of the 21st century in western Mainland China. At last, we present new prediction opinion that the future $M \geq 8$ great earthquakes will probably occur in 2022, 2026, 2045 and 2065 pre and post in Mainland China. The results show that an $M \geq 8$ great earthquake can be predicted and the network feature is the formation mechanism of great earthquakes. Ordered network method produces satisfactory results in moderate and long term prediction for $M \geq 8$ great earthquakes.

Key words Mainland China; informational ordered network structure; 2001 Kunlunshan M8.1 earthquake; 2008 Wenchuan M8.0 earthquake; great earthquake prediction