

新疆地区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构及其预测研究

门可佩¹

摘要

自1800年以来,新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震具有显著的可公度性和有序性,其主要有序值为 $30 a \times k (k=1, 2, 3)$ 、 $11 \sim 12 a$ 、 $41 \sim 43 a$ 与 $18 \sim 19 a$ 等. 根据翁文波信息预测理论和复杂网络技术,努力探索具有中国特色自主创新的强震预测方法,构建新疆地区 $M \geq 7$ 强震信息有序网络结构,充分揭示了新疆地区近200 a来 $M \geq 7$ 强震链的活动规律,并据此较为成功地预测了2008年于田7.3级强震的发生. 同时还提出新的预测意见:2014—2015年、2019—2020年以及2026年前后新疆地区仍有可能发生 $M \geq 7$ 强震. 研究结果表明强震是可以预测的. 该方法对于强震的中长期跨越式预测具有独特效果.

关键词

新疆地区; $M \geq 7$ 强震链; 信息有序网络结构; 复杂网络; 强震预测

中图分类号 P315.75

文献标志码 A

收稿日期 2011-11-13

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

据中国地震台网测定:2008年3月21日06时33分新疆于田发生7.3级地震.这是自2001年11月14日青海昆仑山8.1级巨震后6 a多来,中国大陆发生的第1个7级以上地震,也是自2003年9月28日俄蒙中边境7.9级大震后4.5 a以来新疆及其邻区首次7级强震.于田地震之后52 d,在我国西部四川发生了震惊中外的汶川8.0级大震.因此,于田地震的发生对预测新疆及其邻区,乃至整个中国大陆的地震趋势具有十分重要的意义.

地震预测预报是当今世界难题.20世纪80年代,被誉为“当代预测宗师”的中国科学院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].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.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.门可佩^[13-17]对江苏-南黄海地区和青藏高原北部地区的强震网络结构进行过较为深入的研究,并将其应用于强震预测实践.郭增建等^[18-21]首次提出灾害链的理论概念和分类,并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^[22]在旱震链方面用大旱做大地震的中期预报取得明显成效.我国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.

1992年以来,笔者致力于新疆地区 $M \geq 7$ 强震链及其有序网络结构研究^[23-27].2007年笔者跟踪此次新疆于田地震,并于2008年1月18日向中国地球物理学会天灾预测专业委员会提出预测意见(参见2008年度天灾预测表).同年3月11日在提交天灾预测专业委员会《关于2008年度天灾预测意见说明》一文中又明确提出预测意见.此次于田7.3级强震的成功预测,再次表明将翁文波信息预测理论与有

¹ 南京信息工程大学 数学与统计学院,南京,210044

序网络结构相结合,是强震链中长期跨越式预测的有效方法. 本文在以往研究的基础上进行总结和补充,为本区未来 $M \geq 7$ 强震的中长期预测预报提供可靠信息.

1 可公度信息系与信息有序网络

有序性是自然界的一种秩序或规律,它包括周期性、可公度性、韵律性、对称性和自相似性等. 可公度性是系统的一种信息系,它表达了系统元素中可以共同度量的某种规律. “可公度性”一词源于天文学. 20 世纪 80 年代初由中国科学院院士翁文波教授引入预测科学之中并在理论和方法上加以创造性的发展. 他运用“随机性假设的否定”以拒绝信息的均匀分布,从中提取灾害事件的可公度信息,从而证实了自然灾害时序中存在多元的有机组合,并在地震、洪涝、干旱等 200 多次灾害预测实践中展示了可公度性的普适意义^[1-4].

可公度信息系的一般表示式为^[2]

$$X_i = \sum_{j=1}^h (I_j X_{ij}) + \varepsilon_0,$$

式中 $I_j \in \{i\}$, 且 $I_j \neq i$, 即 I_j 是下标集 $\{i\} = \{1, 2, \dots, n\}$ 中与 i 不同的任意元素, X_{ij} 是 $\{X_i\}$ 中与 X_i 不同的任意元素. I_j 为整数, 本文取 +1 或 -1, h 是可公度元数, ε_0 是事先确定的可行性临界值(偏差). 若 X_i 存在不止一个可公度式, 则 X_i 可能不是偶然的, 即

$$X_i = \sum_{j=1}^h (I_j X_{ij}, 1) + \varepsilon_1,$$

$$X_i = \sum_{j=1}^h (I_j X_{ij}, 2) + \varepsilon_2,$$

⋮

$$X_i = \sum_{j=1}^h (I_j X_{ij}, m) + \varepsilon_m,$$

并且, $\max\{|\varepsilon_1|, |\varepsilon_2|, \dots, |\varepsilon_m|\} \leq \varepsilon_0$. 当 m 足够大时, 这些可公度式就不再是偶然的. m 为可公度式的频数, 由此构成了信息预测的重要方法之一.

应用信息预测理论构建天灾信息有序网络结构, 首先需要按文献[24-29]的方法求出相应灾害时间序列的有序值或可公度值; 然后选择部分具有代表意义的强震样本为网络节点, 沿经纬二维或三维坐标轴的方向, 以主要有序值为边线将各节点从左到右、自上而下相互联结起来. 有时一个网络图难以概括全面, 可以分为几个图来表示. 为保证样本上下左右之间的时序关系, 少数样本可以重复出现.

2 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震链有序网络构建

新疆地区是我国西部强震活动最为剧烈的地区之一. 表 1 列出自 1800 年以来历史记载和现代仪器记录的我国境内 $M \geq 7$ 强震共 21 次, 其中 8 级巨震 4 次, 另有境外吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦、俄罗斯等地震 9 次^[30-32]. 笔者多年研究结果表明, 近 200 a 来新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震活动呈现出良好的可公度性和有序性, 其主要有序值(即序参数)有 5 种: $\tau_1 = 30 \text{ a} \times k (k = 1, 2, 3)$ 、 $\tau_2 = 11 \sim 12 \text{ a}$ 、 $\tau_3 = 41 \sim 43 \text{ a}$ 、 $\tau_4 = 18 \sim 19 \text{ a}$ 和 $\tau_5 = 5 \sim 6 \text{ a}$. 文献[23-29]详细研究了新疆地区 $M \geq 7$ 强震时间间隔的有序性结构以及各有序值之间的关系, 并指出上述有序值具有特殊的预测功能.

表 1 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震目录(1800—2011 年)

Table 1 Catalogue of $M \geq 7$ strong earthquakes in Xinjiang and its neighbourhood region (1800—2011)

序号	发震日期	震中位置		M	地点
		纬度/ (°N)	经度/ (°E)		
1	1812-03-08	43.7	83.5	8	尼勒克东
2	1842-06-11	43.5	93.1	7	巴里坤
3	1883-02-12	43.5	78.0	7.5	阿拉木图(境外)
4	1887-06-08	43.1	76.8	7.3	维尔年(境外)
5	1889-07-11	43.2	78.7	8.3	契列克(境外)
6	1895-07-05	37.7	75.1	7	塔什库尔干
7	1902-08-22	39.9	76.2	8 $\frac{1}{4}$	阿图什北
8	1906-12-23	43.5	85.0	7.7	沙湾西南
9	1911-01-03	42.9	76.9	8.2	阿拉木图(境外)
10	1911-02-18	40.0	73.0	7.8	塔吉克(境外)
11	1914-08-05	43.5	91.5	7 $\frac{1}{2}$	巴里坤东
12	1924-07-03	36.8	83.8	7 $\frac{1}{4}$	民丰东
13	1924-07-12	37.1	83.6	7.2	民丰东
14	1931-08-11	47.1	89.8	8	富蕴附近
15	1931-08-18	47.2	90.0	7 $\frac{1}{4}$	富蕴附近
16	1944-03-10	44.0	84.0	7.2	新源东北
17	1944-09-28	39.1	75.0	7	乌恰南
18	1946-11-02	41.5	72.5	7.6	安集延(境外)
19	1949-02-24	42.0	84.0	7 $\frac{1}{4}$	库车东北
20	1955-04-15	39.9	74.6	7	乌恰西
21	1955-04-15	39.9	74.7	7	乌恰西
22	1974-07-05	45.0	94.2	7.1	巴里坤东北
23	1974-08-11	39.4	73.8	7.3	乌恰西南
24	1978-03-24	42.8	78.6	7.2	阿拉木图(境外)
25	1985-08-23	39.53	75.32	7.1	乌恰
26	1990-06-14	47.90	85.09	7.2	吉木乃西北
27	1992-08-19	42.1	73.9	7.5	苏萨梅尔(境外)
28	1996-11-19	35.2	78.0	7.1	喀喇昆仑山
29	2003-09-28	49.9	87.9	7.9	俄蒙中交界(境外)
30	2008-03-21	35.6	81.6	7.3	于田

图 1 为 1812—2011 年新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震链有序网络主结构. 这是根据笔者 1998 年所作原图^[26-27]逐年修订完善而成的. 在图 1 中, 强震样本均以其发生的年号来表示(下同), 其中 1924、1931、1944、1955 和 1974 年均发生过 2 次 $M \geq 7$ 强震, 只用同一个年号代表. 这样, 图 1 中样本量为 24 个, 约占总样本量的 80%. 另外 7 个发生在境外的 $M \geq 7$ 强震, 未列于图 1 之中.

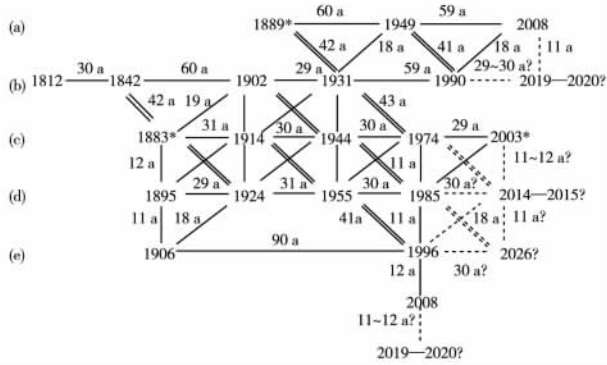


图 1 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震链有序网络主结构
(虚线表示预测, * 表示境外地震)

Fig. 1 Ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquake chain in Xinjiang and its neighbourhood region
(dashed line for prediction, * denotes earthquakes occurred in other countries)

在图 1 中, 以 5 条横线即纬线(a)—(e)为主链, 构成本区强震活动的主体框架. 它们分别按 30、60 或 90 a 的间隔从左向右传递: (a) 链中各强震样本以 60 a 为间隔发展; (b) 链中各强震样本分别以 30 或 60 a 为间隔交替发生; (c)、(d) 2 链中各强震样本均间隔 30 a; (e) 链中的强震样本间隔为 90 a. 图 1 中的竖线即经线表示: 在(b)、(c)、(d)、(e)各链中处于同一列的强震样本之间相隔 11 ~ 12 a 的关系. 双斜线表示相隔 41 ~ 43 a, 单斜线表示相隔 18 ~ 19 a. 图 1 既反映了有序值 τ_1 自身的传递规律, 又反映了它同 τ_2 、 τ_3 、 τ_4 之间的相互关系, 从而揭示了新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震活动井然有序的网络结构, 因此图 1 具有较强的预测功能. 结构是功能的基础, 功能是结构的反映. 根据各链的传递规律相应加以延伸, 可获得未来强震时间点位, 再参考附近斜线的支持证据, 即可得出预测意见. 笔者曾据此较好地预测了 2003 年俄蒙中边境 7.9 级地震与 2008 年于田 7.3 级地震的发生^[13 27 33]. 根据上述规律由图 1 可作如下预测: 本区未来 $M \geq 7$ 强震可能发生在

2014—2015 年、2019—2020 年与 2026 年前后(因本文采用发震年份表示强震样本, 故而误差取 ± 1 a, 下同). 这里, 未来第 2 次强震预测时间 2019—2020 年, 分别由强震链(a)与(b)所携带的信息以及图 1 右边第 2 纵列链: 1974—1985—1996—2008 延伸而得, 可谓殊途同归, 互相印证, 表明了本区强震有序网络内在的有机联系.

3 2008 年于田 7.3 级强震预测实例

3.1 $\tau_1 = 30 a \times k$ ($k = 1, 2, 3$) 与 $\tau_2 = 11 \sim 12 a$ 的预测功能

干支纪历是我国古代劳动人民智慧的结晶, 干支周期在自然科学中具有普适意义. 新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震活动时间间隔与干支周期密切相关, 故而本文将有序值 30、60 和 90 a 放在一起考虑. 图 1 中 1931、1949、1990 和 2008 这 4 个样本点构成一个标准而规范的对边相等的“平行四边形”. 由此“平行四边形”所包含的有序信息表明: 2008 年于田 7.3 级强震的发生绝非偶然.

图 2—4 均为图 1 的局部结构细化. 图 2 中 3 条横线之间各相隔 5 ~ 6 a, 第 1 行与第 3 行则相隔 11 ~ 12 a, 而每条横线上的强震样本均以 59 ~ 61 a 的有序值从左向右传递发生, 其规律十分显著. 图 3 则是图 2 的细化结构, 其中第 1 行和第 3 行强震链接按 29 ~ 31 a 的有序值向右传递, 其发生规律也十分显著. 由图 2 和图 3 的第 2 条横线均可预测推知: 2008 年前后有发生 $M \geq 7$ 强震的可能.

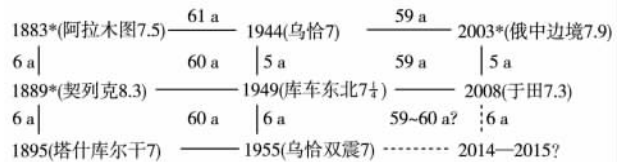


图 2 有序网络结构应用于 2008 年于田 7.3 级强震预测
(虚线表示预测, * 表示境外地震)

Fig. 2 Ordered network structure for Yutian M7.3 strong earthquake prediction
(dashed line for prediction, * denotes earthquakes occurred in other countries)

图 4 中右边的一条纵列链: 1974—1985—1996—2008, 即由太阳活动的 11 ~ 12 a 周期也可获得 2008 年于田 7.3 级强震预测点位.

3.2 关于 $\tau_3 = 41 \sim 43 a$ 的有序性及其预测功能

20 世纪, 我国大陆西部 $M \geq 7$ 强震活动经历了 5

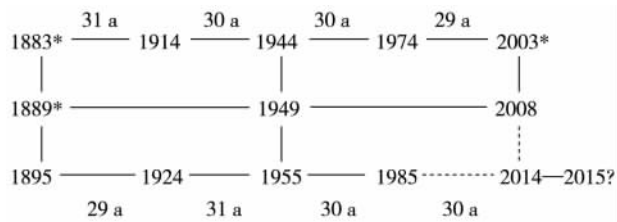


图3 图2的有序网络细化结构

Fig. 3 Detailed ordered network structure of Fig. 2

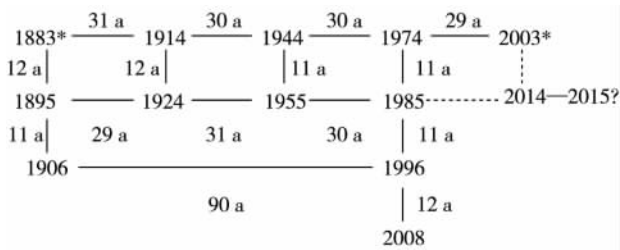


图4 图2的有序网络细化结构以及进一步预测

Fig. 4 Detailed ordered network structure of Fig. 2 and further prediction for Yutian M7.3 strong earthquake

个轮回,图5反映了 τ_3 隔幕传递的规律,它把第1、3、5活跃幕串联成非常规则的“3线9点阵”。根据图5有序性传递的信息,笔者曾在1994年预测第9点将在1996年前后“就位”^[24]。1996年3月19日阿图什6.9级和11月19日喀拉昆仑山7.1级强震果然在所预测的点位上亮相。

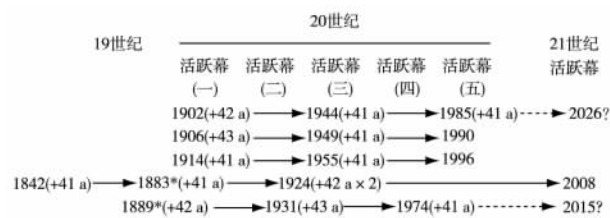


图5 有序值41~43 a的传递规律及其预测示意 (虚线表示预测,*表示境外地震)

Fig. 5 Transmission rule of orderly value 41~43 a and its prediction sketch map

应用图5同样也可成功预测2008年于田地震。其第4条横链线,由20世纪第2活跃幕的1924年民丰2次 $M \geq 7$ 强震,经过2个42 a传递到21世纪的活跃幕,结果便发生了2008年3月21日于田7.3级强震。这些地震成功预测实例表明:有序性分析是一种以少胜多的研究方法,在一定条件下有时会有十分显著的效果。根据上述规律可作以下未来强震预测。

1) 图5中第5条横线将跨越19、20和21世纪,依次串连起1889、1931、1974这3个强震,再经41 a可传递到2015点位(用虚线表示),即在2015年前后仍有可能发生 $M \geq 7$ 强震。

在表1中,若取6个 $M \geq 7$ 强震样本分别表示为 $x_1 = 1902$, $x_2 = 1914$, $x_3 = 1944$, $x_4 = 1955$, $x_5 = 1974$, $x_6 = 1985$,则有以下5个三元可公度式:

$$x_6 + x_5 - x_3 = 2015,$$

$$x_6 + x_3 - x_2 = 2015,$$

$$x_6 + x_6 - x_4 = 2015,$$

$$x_5 + x_4 - x_2 = 2015,$$

$$x_5 + x_3 - x_1 = 2016.$$

这也表明时间点位2015年绝非偶然,在其前后新疆地区确有可能发生 $M \geq 7$ 强震。

2) 由图5第1条横线中1985年乌恰7.1级强震,再经41 a,即到2026年前后新疆地区仍有可能发生 $M \geq 7$ 强震(用虚线表示)。此项预测也可为图1的预测加以佐证(参见图1中横线(e))。

4 关于有序值的机理讨论

4.1 关于 $\tau_6 = 71 \sim 72$ a的有序性

有序网络图不仅可以设计成平面的,而且可以设计成立体的(图6)。 τ_6 是新近发现的很有意义的一个有序值。由于该值可分解为 $72 = 42 + 30$ 或 $71 = 60 + 11$,因此, τ_6 包含60、30、41、11 a等周期,它与 τ_1 、 τ_2 和 τ_3 等值的关系可形象地表达为图6所示的3层“立体框架”。上层面的矩形目前已经完成,中间层面以及下层面2个矩形尚未“完工”。拆开这个框架可得3个“日”字形结构,如图6中b、c、d所示,目前大自然均已“完工”,b面正面朝外,c面位于立框的左侧,d面是立框对角线的剖面,而2个“日”字形结构——后面e与右侧面f,至今尚未“竣工”。如果大自然的神奇画笔在未来时空中果真点出2015年和2056年这2个 $M \geq 7$ 强震样本点,那将是展现在世人面前的一幅几何对称的“经典杰作”。

4.2 关于 $\tau_2 = 11 \sim 12$ a, $\tau_4 = 18 \sim 19$ a, $\tau_5 = 5 \sim 6$ a的有序性

太阳黑子活动具有11 a的平均周期、22 a的磁性周期以及80~90 a的长周期,因此,可以把有序值11、22和44 a放在一起考虑。太阳活动与强震的关系,中外许多学者都曾做过研究,前苏联学者A. Г. 塞秦斯基指出:大震多发生在太阳活动的峰年和谷年或其附近^[19]。20世纪以来,我国陕甘宁青地区 $M \geq 7$ 大

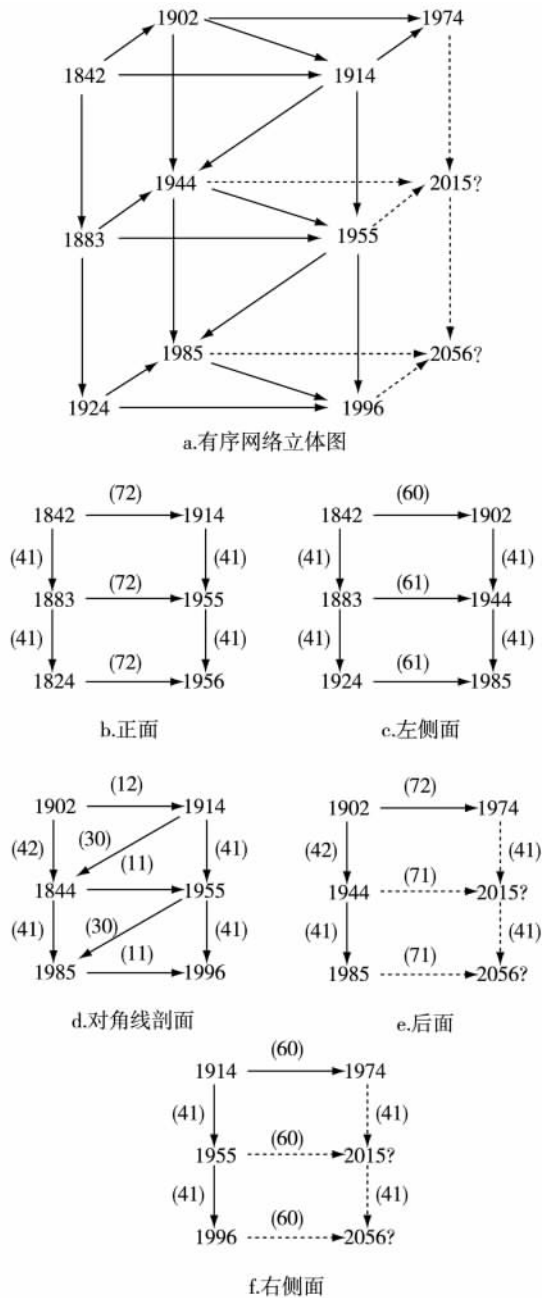


图6 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震有序网络结构

Fig. 6 Ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes in Xinjiang and its neighbourhood region

震强震多发生在太阳活动的峰年,而19世纪以来新疆及其邻区 $M \geq 7$ 地震有18次发生在太阳黑子的峰值和谷值的前后一年,占总数的62.1%,其中发生在谷值前后一年的就有13次,占总数的45%。1996年处于自1755年算起的第23太阳黑子周开始的谷期,这一年正发生了阿图什6.9级地震和喀喇昆仑山7.1级强震,接着又在1997年初发生了伽师6级强震群,为上述结论又提供了新的证据。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(即沃尔夫数)分别为7.5、2.9、3.1,连续3a小于10。从1996年开始的第23周已经历了近14a,为1798年以来200多a间最长的太阳黑子周期^[34]。2008年正值太阳活动第24周的谷值期,在这样的天文背景下,发生了汶川8.0级大震绝非偶然。这表明太阳黑子周期变长($SCL > 11$)、太阳活动长谷年等异常现象,往往与全球性灾害频发结伴同行。2008年初中国南方广大地区突遭低温冰雪灾害袭击,接着新疆于田7.3级强震、四川汶川8.0级大震、青海玉树7.3级强震相继发生,就是一个极好的例证。2010年以来,太阳活动已进入第24周上升阶段,预计第24周的峰值期将发生在2013—2014年,第25周的谷值期与峰值期将分别在2020年与2025—2026年前后。上述天文背景的变化必须引起我们的高度关注。

月亮升交点的进动具有18.6a的周期。杜品仁^[35]的研究表明,全球主要地震带的大地震都存在与月亮交点退行周期相关的18.6a的地震轮回。新疆地区7级强震活动中 τ_4 也起着积极作用。图1中的单斜线将上下2组 τ_1 联系在一起, $18 = 12 + 6$,这表明 τ_4 与 τ_2 、 τ_5 有关。另外,5~6a约为11a的0.55倍,11又是18.6的0.591倍,而18.6是30的0.62倍,这些数据都在黄金分割数0.618附近。郭增建等^[19]指出2个相差不大的周期其拍为

$$T_b = \frac{T_1 \times T_2}{T_1 - T_2}$$

更容易引起自然灾害。25与18.6之拍为72.6,接近 τ_6 ,22与35,22与18.6,22与25其拍分别为59.2、120.3和183.3,大致分别为60的整数倍。因此,各有序值之间关系密切而复杂,互为影响。

宇宙是统一的整体,日、地、月的运行与地震等天灾活动相互联系、相互依存。地震的发生可视为地球内部因素和外部因素非线性相互作用的结果。外因往往与大震关系更密切,并且地震越大,可能相关性越好^[19,35]。总之,大震大灾因其独特性应放在天地生大系统范围内去研究。

5 结论与讨论

1) 强震与强震链预测是当今科学研究的前沿和世界性难题,至今尚无根本性突破。强震预测是减轻地震灾害的重要途径,是社会和经济发展的重大需求。强震在时空分布上的不均匀性和地质构造运动的复杂性,使得以统计为基础的预测方法难以取

得重大突破。20 世纪 80 年代以来,国际地震界许多学者反复强调由经验性预测向物理预测转变,但是,中国大陆岩石圈具有十分复杂的结构和漫长的演化历史,通过探明全国各活动地块孕震和控震机制及其特征差异来实现强震物理预测,无疑是一条十分漫长而艰巨的道路。

翁文波信息预测理论体系^[1-2]是把我国历史文化遗产和现代科学(社会科学和自然科学)应用大量有关历史资料和数据,进行潜心研究的智慧结晶。翁文波信息预测体系从理论论述、预测方法到成功解决多领域科学问题(尤其是难度很大的天灾预测),已经形成一个相对完整的创新体系,突破了西方现有预测理论方法的局限和束缚,具有我国科学自主创新的性质^[4,10,36-37]。翁先生强调“创新在于重新认识”。他的信息预测理论和方法都是对现有通用概念重新认识的结果,这些新认识经过了大量成功预测实例的总结和检验。严重天灾属于异态事件,其时空分布规律与常态事件有很大区别。国际上一些学者对地震预测抱悲观的态度,认为地震不能预测,但是翁文波信息预测理论和方法应用于严重天灾预测却卓有成效。事实已经证明并将继续证明:重大地震是可以预测的。在以往 3 次成功预测实例(1996 年阿图什 6.9 级与喀拉昆仑山 7.1 级强震、2003 年俄蒙中边境 7.9 级强震及 2008 年于田 7.3 级强震)的基础上,综合本文提出的强震有序网络结构,可作以下预测:新疆及其邻区未来 3 次 $M \geq 7$ 强震可能发生在 2014—2015 年、2019—2020 年和 2026 年前后。

2) 近 30 a 来,国际上从“非线性科学”逐步走向“复杂性科学”。被誉为“遗传算法之父”而闻名于世的英国科学家约翰·霍兰^[38-39]——《隐秩序:适应性造就复杂性》这部具有突破性贡献的著作的作者,是当今最具有创新意识的思想家之一。他提出“涌现”(emergence)概念(从混沌到有序),用于研究具有耦合性的前后关联的相互作用和具有可变结构的受限生成过程(constrained generating procedures)。一粒微小的种子蕴含着规范的、能够生长成像巨大的红杉树和普通的雏菊那样复杂而独特的结构,这正是涌现现象,其本质就是由小生大,由简入繁。他指出“涌现首先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。”涌现的概念,即整体大于其各部分之和,简单得令人惊讶,然而它在自然科学、社会科学等诸多领域中都具有极深的寓意。具有普适

性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。

3) 网络是系统概念的进一步延伸和扩充^[11]。网络是开放的,它更适于描述客观存在的一些复杂事物。在天地生人综合研究中,对多种复杂事物之间联系很难划定一个相对固定的系统,即系统的边界和有关优势因素常常可能因时、因地和条件的改变而变化,从而应把它视为“网络”,而不是“系统”。海森堡在《物理学和哲学》中指出“世界不应被划分为不同类别的物体,而应划分成不同类别的联系……世界呈现为许多事件的复杂组合,其中存在着各种联系的变化、重叠或联合,从而确定整体的结构。”卡普拉认为“新的世界观把宇宙看成是一个相互联系的事件的动态网络,这个网络中任一部分的性质都不是基本的,它们都被其他部分的性质所确定,它们相互之间的联系的整体一致性确定了整个网络的结构。”系统是一抽象概念,而“网络”则具有很强的形象性。网络的形象性可表述一些重要联系方式。^① 长程相关联系。在网络中,相距很远的节点和线的联系可以较为密切,而网中空格与网的节点相距很近,但联系却很少。^② 连续和离散的结合。空格表示离散,而节点和线是连续的。这对解释“跨越式相关联系”很有价值^[9,11-12]。近年来应用网络形象和技术的研究专著陆续出版也证明此点^[40-46]。所谓自组织性是大自然本身的自组织,而不是人们以某种固有认识强加于它的规律性。自组织网络的基本特性在于它的结构变异度大、开放度也大。这就是说,自组织网络基本上没有固定的边界、结构和初始条件,下一阶段的结构可以与上一阶段的结构相差很大,甚至根本不同^[47]。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,比如交通网、电力网、因特网、动物体内的神经网络、蛋白质网络,乃至社会人际关系网络等。当今世界关于复杂网络的研究正方兴未艾,研究的新进展更值得注意。强震和强震链也应该是这样。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超过了它的个体成员。强震与强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强震样本的信息。因此,网络技术这一方法也适用于强震预测研究。

徐道一^[47]在地学界首次提出大地震形成机制的网络特性,把大地震看成是多层次网络的节点.本文提出新疆地区 $M \geq 7$ 强震链有序网络结构,但仍需完善其预测功能设计,中国大陆其他地区强震网络结构还需深入系统研究.目前国内外尚无其他学者将自组织网络技术应用于强震预测研究.

4) 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震链的活动特性与中国大陆其他地区,比如青藏高原北部地区、华北地块东南部的江苏-南黄海地区有显著的差别^[15-16],这是由于本区独特的“经纬线”网络结构所决定的.本文通过规则有序的网络结构,充分揭示了新疆地区 210 a 来 $M \geq 7$ 强震的活动规律,为网络假说又提供了一个新的有力证据.有序网络结构分析是强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.中国的地震预测研究与实践应该走在世界前列,地震预测研究应该有创新思想^[48-49].笔者将信息预测理论与复杂网络技术相结合,致力于探索强震灾害跨越式(特别是长时间、长距离)预测显著有效的新方法,致力于探索一条具有中国特色自主创新的地震预测道路,为我国现代化建设和防灾减灾事业做出积极贡献.

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(supl): 42-48
- [6] XU Daoyi, Ouchi T. Spatiotemporal ordering of great earthquakes ($M \geq 8.0$) in Asia during 1934—1970 years [J]. 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 [J]. 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. 试论“系统”和“网络”的异同 [C] // 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 Daoyi. On the similarities and dissimilarities of terms “System” and “Network” [C] // Geoscience Philosophy and Building a Well-off Society in an All-round Way. 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 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(2): 178-180
XU Daoyi. Research on new method of the network among cosmos, earth, biology and humans: Examples and cognition [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2005, 24(2): 178-180
- [13] 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
- [14] 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-the South Yellow Sea region [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 1028-1032
- [15] 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
- [16] 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]. Engineering Sciences 2009, 11(6):82-88
- [17] 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. Ordered 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
- [18] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学简论 [J]. 灾害学, 1987, 2(2):25-33
GUO Zengjian, QIN Baoyan. Brief discussion on disaster physics [J]. Journal of Catastrophology, 1987, 2(2):25-33
- [19] 郭增建, 秦保燕, 李革平. 未来灾害学 [M]. 北京: 地震出版社, 1992
GUO Zengjian, QIN Baoyan, LI Geping. Future catastrophe [M]. Beijing: Seismological Press, 1992
- [20] 郭增建, 秦保燕, 郭安宁. 地气耦合与天灾预测 [M]. 北京: 地震出版社, 1996
GUO Zengjian, QIN Baoyan, GUO Anning. Coupling effect of the earth-gas and disaster forecasting [M]. Beijing: Seismological Press, 1996
- [21] 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
- [22] 耿庆国. 中国旱震关系研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1985
GENG Qingguo. Research on the relation between drought and earthquake [M]. Beijing: China Ocean Press, 1985
- [23] 门可佩. 乌恰-帕米尔地区强震的灰色预测研究 [J]. 地震, 1992(5):35-43, 53
MEN Kepei. Research on grey prediction of strong earthquakes in Wuqia-Pamir area [J]. Earthquake, 1992(5):35-43, 53
- [24] 门可佩. 新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震的预测研究 [J]. 西北地震学报, 1994, 16(4):29-36
MEN Kepei. Study on prediction of strong earthquakes ($M \geq 7$) in Xinjiang and nearby area [J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(4):29-36
- [25] 门可佩, 赵兵. 有序性分析与强震预测 [J]. 国际地震动态, 1997(5):1-4
MEN Kepei, ZHAO Bing. Ordered analysis and strong earthquake prediction [J]. Recent Developments in World Seismology, 1997(5):1-4
- [26] 门可佩. 新疆地区 7 级强震的有序性及其预测研究 [C]// 科技进步与学科发展: 迎接 21 世纪挑战. 南京: 东南大学出版社, 1999: 617-622
MEN Kepei. Research on the order of strong earthquakes with $M \geq 7$ and its prediction in Xinjiang area [C]// Scientific and Technological Progress and Discipline Development: Facing the 21st Century Challenge. Nanjing: Southeast University Press, 1999: 617-622
- [27] 门可佩. 信息预测理论与新疆地区 7 级强震趋势研究 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17(3):418-423
MEN Kepei. Theory of informational forecast and $M \geq 7$ strong earthquake trend in Xinjiang area [J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(3):418-423
- [28] 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
- [29] 徐道一, 王湘南, 严正. 新疆大地震的时间有序性初探 [J]. 内陆地震, 1994, 8(3):203-210
XU Daoyi, WANG Xiangnan, YAN Zheng. Time orderliness of great earthquakes in Xinjiang [J]. Inland Earthquake, 1994, 8(3):203-210
- [30] 中国地震局震害防御司. 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 China's historical strong earthquakes (the 23rd century BC—1911AD) [M]. Beijing: Seismological Press, 1995
- [31] 中国地震局震害防御司. 中国近代地震目录($M_s \geq 4.7$, 公元 1912—1990 年) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999
Department of Earthquake Disaster Prevention, China Earthquake Administration. Catalogue of China's earthquakes in modern times (1912—1990AD, $M_s \geq 4.7$) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999
- [32] 中国地震局震害防御司. 全球重大灾害性地震目录(2150BC—1991AD) [M]. 北京: 地震出版社, 1996
Department of Earthquake Disaster Prevention, China Earthquake Administration. Catalogue of global major disastrous earthquake (2150BC—1991AD) [M]. Beijing: Seismological Press, 1996
- [33] 门可佩. 重大地震灾害链的时空有序性及其预测研究 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22(2):645-651
MEN Kepei. Time-space order of severe earthquake disaster chain and its prediction [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(2):645-651
- [34] 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. 北京, 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. Beijing, 2011: 1-3
- [35] 杜品仁. 18.6 年地震轮回及其成因初探 [J]. 地球物理学报, 1994, 37(3):362-369
DU Pinren. 18.6 years seismic cycle and the preliminary exploration for its cause [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994, 37(3):362-369
- [36] 徐道一. 翁文波院士的信息预测理论及其意义 [C]// 翁文波院士与天灾预测. 北京: 石油工业出版社, 2001: 107-111.
XU Daoyi. The information forecast theory of WENG

- Wenbo and its significance [C] // Academician WENG Wenbo and Prediction of Disaster. Beijing: Petroleum Industry Press 2001: 107-111
- [37] 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): 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): 13-21
- [38] (美) 约翰·霍兰. 涌现: 从混沌到有序 [M]. 上海: 上海科学技术出版社 2006
 Holland J H. Emergence: From chaos to order [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998: 1-258
- [39] (美) 约翰·霍兰. 隐秩序: 适应性造就复杂性 [M]. 上海: 上海科技教育出版社 2000
 Holland J H. Hidden order: How adaptation builds complexity [M]. Reading, Mass. Addison-Wesley, 1995
- [40] 陈忠, 盛毅华. 现代系统科学学 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社 2005
 CHEN Zhong, SHENG Yihua. Modern system science [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Document Press 2005
- [41] 吴彤. 复杂网络研究及其意义 [J]. 哲学研究, 2004(8): 58-63, 70
 WU Tong. Research on complicated network and its significance [J]. Philosophical Researches, 2004(8): 58-63, 70
- [42] Strogatz S H. Exploring complex networks [J]. Nature, 2001: 410(6825): 268-276
- [43] Capra F. The tao of physics [M]. 3rd Ed. Boston: Shambhala, 1991
- [44] 戚建中, 黄民智, 秦有余, 等. 断裂网络与金成矿体系 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998
- QI Jianzhong, HUANG Minzhi, QIN Youyu, et al. Fault network & gold ore system [M]. Nanjing: Jiangsu Technology and Science Press, 1998
- [45] 王绳祖, 张四昌, 田勤俭, 等. 大陆动力学: 网状塑性流动与多级构造变形 [M]. 北京: 地震出版社 2000
 WANG Shengzu, ZHANG Sichang, TIAN Qinjian, et al. Continental dynamics: Netlike plastic-flow and hierarchical tectonic deformation [M]. Beijing: Seismological Press 2000
- [46] 郭雷, 许晓鸣. 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
- [47] 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
- [48] 许绍燮. 探索地震预报 [J]. 国际地震动态, 2003(2): 1-6
 XU Shaoxie. Exploration of earthquake prediction [J]. Recent Developments in World Seismology 2003(2): 1-6
- [49] 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 $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in Xinjiang

MEN Kepei¹

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

Abstract Since 1800, $M \geq 7$ strong earthquakes have showed an obvious commensurability and orderliness in Xinjiang and its neighbourhood region. The main orderly values are $30 \sim a \times k$ ($k = 1, 2, 3$), 11-12, a, 41-43, a and 18-19, a. According to the information forecasting theory of WENG Wenbo and complex network technology, we try to explore the practical methods for $M \geq 7$ strong earthquake prediction with Chinese characteristics and build the informational ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes in Xinjiang. In this paper, the activity rhythm of $M \geq 7$ strong earthquakes in Xinjiang during the past 200 years is revealed fully by the network structure. Based on this, Yutian $M7.3$ strong earthquake is successfully predicted in 2008. At last, we present a new prediction opinion that the future $M \geq 7$ strong earthquakes will probably happen in 2014—2015, 2019—2020 and 2026 in this region. The results show that strong earthquake can be predicted. This method produces satisfactory results for mid-and-long strong earthquake prediction.

Key words Xinjiang; $M \geq 7$ earthquake chain; informational ordered network structure; complex networks; strong earthquake prediction