

# 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

门可佩<sup>1</sup>

## 摘要

青藏高原北部地区是中国西部主要地震区,自1700年以来,该区  $M \geq 7$  强震具有显著的有序性,其主要有序值为106~107 a、77~78 a、53~54 a、26~27 a、10~11 a与3~4 a等。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强震中长期预测方法,构建了青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震信息有序网络结构。在总结该区21世纪以来3次大震(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)预测研究的基础上,根据所建强震有序网络结构提出新的预测意见:2014—2015年、2026—2027年和2030年前后该区仍有可能发生  $M \geq 7$  强震。研究结果表明此方法对于强震的中长期预测具有独特的效果。

## 关键词

青藏高原北部地区;信息有序网络结构;昆仑山大震;汶川大震;玉树强震;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5月12日14时28分在青藏高原东部的四川省汶川县境内(31.0°N,103.4°E)发生了举世震惊的8.0级大地震,灾区总面积约50万 $\text{km}^2$ ,受灾群众达4 625万人,其中重灾区面积达13万 $\text{km}^2$ ,死亡69 227人,失踪17 923人,受伤374 643人,造成直接经济损失8 451亿元。这是自2001年11月14日青海昆仑山8.1级大震后近8 a来中国大陆内所发生的第1个7级以上大地震,时间相隔不到2 a,2010年4月13日在青海玉树又发生7.3级强烈地震。昆仑山地震、汶川地震和玉树地震是青藏高原北部地区在21世纪初的11 a内所发生的3次大地震。深入研究这3次大震的发生规律不仅对中国西部,同时对整个中国大陆,乃至东南亚地区地震趋势预测都有十分重大的意义。

郭增建等<sup>[1]</sup>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。1997年徐道一提出信息有序系列概念,2001和2007年他又分别提出大地震的网络假说和自组织网络新观念<sup>[2-5]</sup>。2010年,徐道一等<sup>[6]</sup>研究了中国大陆8级大震的网络结构。20世纪90年代以来,笔者致力于中国西部新疆地区、青藏高原北部地区以及江苏-南黄海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<sup>[7-15]</sup>。笔者认为青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震活动特性及其网络结构与新疆地区有显著的差异<sup>[16]</sup>。在汶川地震发生之前,2002年4月笔者根据有序网络结构图就发现了此次强震信息,并指出:2006—2007年前后青藏北块东部的库玛断裂带东段与南北地震带交汇处附近,即35°N,101°E一带有可能发生  $M \geq 7$  强震<sup>[9-10]</sup>。地震预报是一个渐近的过程。此后笔者一直在跟踪此次地震,并于2006年11月在天灾预测总结学术会议上重新提出预报意见:本区2007—2008年可能发生  $M \geq 7$  强震,同时分别于2007年2月和2008年1月正式向中国地球物理学会天灾预测专业委员会提交中长期预测意见(参见2007和2008年度天灾预测表)。令人遗憾的是,研究工作因没有得到科研经费的支持而终止。本文以翁文波信息

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 数学与统计学院,南京,210044

预测理论为指导,综合前人的研究成果,将有序性分析与复杂网络技术相结合,在以往  $M \geq 7$  强震有序网络结构研究的基础上,补充汶川大震、玉树地震的信息并进行深入总结,为不断推进我国地震预测研究做出新的贡献。

## 1 青藏高原北部地区 $M \geq 7$ 强震有序网络构建

青藏高原北部地区是中国西部主要地震区. 本文研究范围大致为  $30 \sim 40^\circ\text{N}$ ,  $85 \sim 105^\circ\text{E}$ , 即所谓第二与第三弧形地震带,其北部边界为阿尔金-祁连山-海原断裂,东界为著名的南北地震带,即从海原-武都跨过秦岭,沿岷江断裂和龙门山构造带一线入川滇,其南部是东昆仑纬向构造带. 该区以青海省为主体,包括甘肃、宁夏、四川以及西藏部分地区,地域广阔,地质构造复杂,断裂褶皱极其发育,地震活动十分频繁<sup>[17-18]</sup>. 自 1709 年以来,本区共发生  $M \geq 7$  强震 34 次,其中 8 级巨震 5 次(表 1)<sup>[19-20]</sup>. 中国大陆自 1988 年以来第 V 活跃期内最大的 3 次地震——1997 年玛尼 7.9 级和 2001 年昆仑山 8.1 级大震均发生在本区东昆仑断裂带上,而 2008 年汶川 8.0 级大震发生在青藏北块东南端与南北地震带交汇部的龙门山断裂带上,地震断层长度超过 300 km,是唐山地震断层长度的 3 倍多,这表明汶川地震释放的能量比唐山地震释放的能量大约 3 倍,地震破裂持续时间长达 90 s,最大滑动量位于汶川和北川<sup>[21]</sup>. 这使得本区成为我国第 V 地震活跃期的主体活动区.

20 世纪 80 年代翁文波院士创立了信息预测理论. 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. 翁文波将预测方法分为统计预测和信息预测两大类,以体系中各元素的共性为依据的是统计预测,以体系中各元素的特性为依据的是信息预测. 信息预测方法基于尽可能少的理论假设,从实际出发去发现问题和解决问题,其重点放在无序现象中寻找信息有序性. 严重天灾属于异态事件,它的时空分布规律与常态事件有很大区别. 因此,通常处理元素共性的统计预测方法以及基于连续函数的拟合模型往往难以奏效. 翁文波等<sup>[22-24]</sup>

应用信息预测理论对国内外数十次地震作出成功的预测,为天灾预测开辟了一条崭新的道路. 网络是节点及其连线的集合. 强震网络假设把大震视为多层次、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. 自组织理论研究的是耗散结构的动态有序,追寻的是

表 1 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震目录 (1700—2011)

Table 1 Catalogue of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the northern Tibetan Plateau region (1700—2011)

序号	发震日期	震中位置		$M$	地点
		纬度/ ( $^\circ\text{N}$ )	经度/ ( $^\circ\text{E}$ )		
1	1709-10-14	37.4	105.3	7 ½	宁夏中卫
2	1713-09-04	32.0	103.7	7	四川茂县迭溪
3	1718-06-19	35.0	105.2	7 ½	甘肃通渭南
4	1725-08-01	30.0	101.9	7	四川康定
5	1786-06-01	29.9	102.0	7 ¾	四川康定南
6	1816-12-08	31.4	100.7	7 ½	四川炉霍
7	1866-04	31.6	100.0	7	四川甘孜
8	1870-04-11	30.0	99.1	7 ¼	四川巴塘
9	1879-07-01	33.2	104.7	8	甘肃武都南
10	1883-10	30.2	81.2	7	西藏普兰
11	1893-08-29	30.6	101.5	7	四川道孚乾宁
12	1896-03	32.5	98.0	7	四川石渠洛须
13	1902-11-04	36.0	96.0	6.9	青海都兰西
14	1904-08-30	31.0	101.1	7	四川道孚
15	1908-08-20	32.0	89.0	7	西藏奇林湖
16	1920-12-16	36.7	104.9	8 ½	宁夏海原
17	1923-03-24	31.5	101.0	7.3	四川炉霍、道孚间
18	1927-05-23	37.7	102.2	8	甘肃古浪
19	1932-12-25	39.7	96.7	7.6	甘肃玉门昌马
20	1933-08-25	31.9	103.4	7 ½	四川茂汶北迭溪
21	1937-01-07	35.5	97.6	7 ½	青海阿兰湖东
22	1947-03-17	33.3	99.5	7.7	青海达日南
23	1954-02-11	39.0	101.3	7 ¼	甘肃山丹东北
24	1963-04-19	35.7	97.0	7	青海阿兰湖附近
25	1973-02-06	31.3	100.7	7.6	四川炉霍附近
26	1973-07-14	35.1	86.5	7.3	西藏亦基台错
27	1976-08-16	32.6	104.1	7.2	四川松潘、平武间
28	1976-08-23	32.5	104.3	7.2	四川松潘、平武间
29	1981-01-24	31.01	101.11	6.9	四川道孚附近
30	1990-04-26	36.06	100.33	7.0	青海共和西南
31	1997-11-08	35.2	87.3	7.9	西藏玛尼
32	2001-11-14	36.2	90.9	8.1	青海昆仑山口西
33	2008-05-12	31.0	103.4	8.0	四川汶川
34	2010-04-13	33.22	96.59	7.3	青海玉树

大自然演化统一的基本规律. 徐道一认为,网络是系统概念的进一步延伸和扩充. 网络是开放的,它更适于描述客观存在的一些复杂事物. 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. 也就是说,自组织网络基本上没有固定的边界、结构和初始条件. 地球科

学的许多研究可应用自组织网络思路而提高一步. 根据翁文波信息预测理论, 笔者曾在文献[8-10]中深入研究了青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震时间序列所蕴含的信息有序性, 详细讨论了强震链各有序值之间关系, 其详细过程这里不再重复表述.

表1中34个  $M \geq 7$  强震样本用其发生的年号来表示, 同一年中数个强震样本仅记为一个年号, 这样即有32个年号, 将其两两相减可得  $C_{32}^2 = 496$  个时间间隔  $\tau$  值. 统计分析表明: 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震具有显著的有序性, 其强震时间间隔  $\tau$  值主要聚集在 106 ~ 107 a、53 ~ 54 a、26 ~ 27 a、10 ~ 11 a 和 3 ~ 4 a 附近, 此外尚有 34、43、67、77 和 80 a 等聚点.

其中 27 a 与 53 a 的频次最高, 特别引人注目, 由其派生的有序值可形成长长的一条链: 27 a—53 a—80 a—107 a—214 a. 本文选取本区部分强震样本, 采用双时序轴的方式, 构建 1811—2011 年本区  $M \geq 7$  强震有序网络结构图 1. 该图是在笔者 2003 年所作原图基础上, 重新调整并细化完善而成<sup>[10]</sup>. 图 1 分为(a)和(b)两部分, 其中图 1(b)为图 1(a)的细化结构. 图 1 中, 年号为强震样本, 即节点, 以强震时间间隔时间为边线, 按时序自左向右, 同时从上向下递次延伸. 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. 该网络中个别节点的地震样本其震级稍低于 7 级, 用圆括号加以表示(下同), 例如 1811(四川炉霍 6  $\frac{3}{4}$ )、1881(甘肃礼县西南 6  $\frac{1}{2}$ )、1902(青海都兰西 6.9)、1915(青海曲麻莱东 6  $\frac{1}{2}$ )、1971(青海杂多东南 6.5)、1981(四川道孚 6.9)、1986(青海门源北 6.5). 在图 1(b)中, 1950 年西藏察隅 8.6 级大震, 本属于青藏块体南部, 考虑到 8 级大震有可能受到地球深部大范围动力因素的控制, 其可公度性有序关联有可能超出研究区域所设定的范围, 故而也列于其中, 用方括号表示以供参考. 出于类似考虑的还有图 1(a)中 1883 年西藏普兰 7.0 级地震, 也用方括号加以表示. 在图 1(a)中, 其横线以 54 a(或 53 a)为主链. 在图 1(b)中, 其横线以 27 a(或 26 a)为主链. 它们都起着主要的预测作用, 并构成本区强震活动的主体框架, 从左向右传递. 竖线虽不像横线那样极富规律性, 但是它在所形成的各个“矩形”的短边中, 基本是对应相等的, 担任辅助主链并支撑预测的作用. 总之, 尽管有些不尽完美之处, 图 1 依然呈现出较为典型而稳定的有序网络结构特征, 反映出有序值 106 ~ 107 a、53 ~ 54 a、26 ~ 27 a、10 ~ 11 a 和 3 ~ 4 a 在本区强震中具有独特的预测意义.

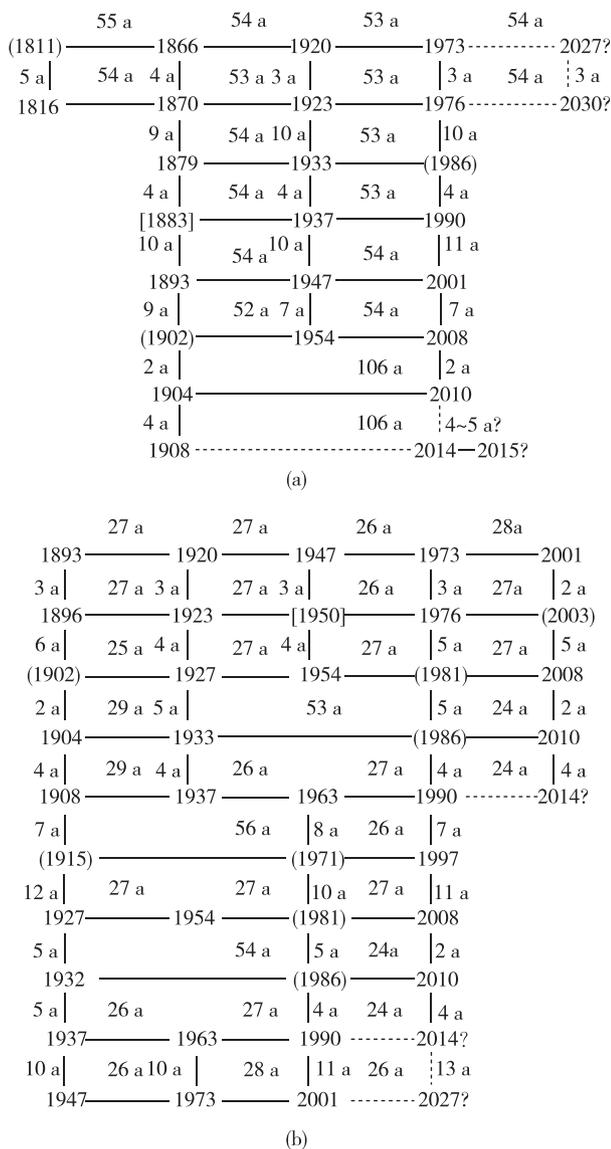


图 1 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震信息有序网络结构全图 (虚线表示预测, 圆括号表示略小于 7 级的地震样本, 方括号表示青藏南块的强震, 下同)

Fig. 1 Ordered network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the northern Tibetan Plateau region (Dotted line for prediction, some earthquakes of magnitude less than 7 are expressed by using parentheses, earthquake occurred in the southern Tibetan Plateau is expressed by using square bracket, same notes in following figures.)

图 1 给出的网络结构已充分显示出昆仑山 8.1 级大震、汶川 8.0 级大震和玉树 7.3 级强震的预测信息. 如果当时能够获得科研经费的支持把研究工作继续深入下去, 研究团队通过多学科、多途径, 齐心协力联合攻关, 切实缩小预测时空范围, 应该有可能捕获汶川大震和玉树强震, 从而减少地震损失. 汶

川大震和玉树强震的发生,为该区网络结构补充并增强了新信息,从而具有更高的可信度,据此可进行以下预测:青藏高原北部地区未来3次  $M \geq 7$  强震可能发生在2014、2027、2030年前后(因本文采用发震年号表示强震样本,故而误差取  $\pm 1$  a).

## 2 $M \geq 7$ 强震预测实例

### 2.1 2001年昆仑山8.1级大震和2010年玉树7.3级强震预测

关于2001年昆仑山8.1级大震和2010年玉树7.3级强震预测示意图2—4.1997—2000年笔者等<sup>[25-27]</sup>曾应用图2对昆仑山地震进行过较好的预测,提出未来7级强震可能发生在2000年前后,而现在依然可以运用图2对2010年玉树强震进行准确预测,图2(a)中77~78a的结构关系如此工整、稳定而鲜明,因此该图的预测作用具有较高的可信度.

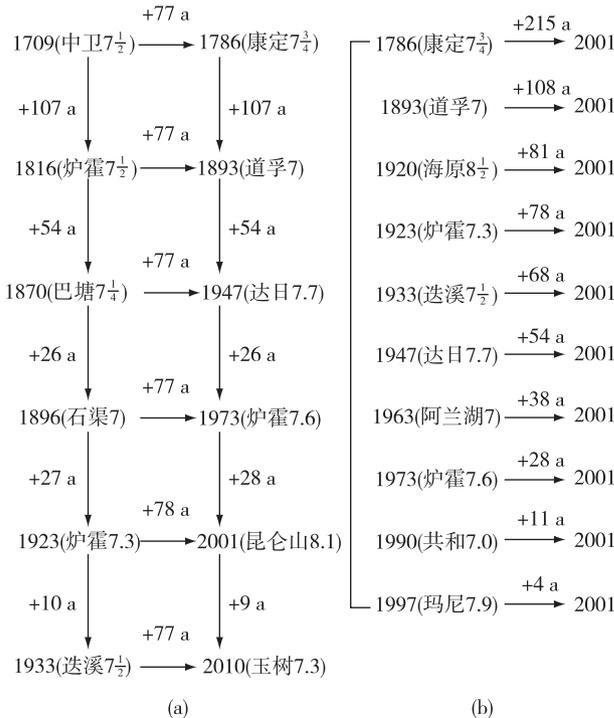


图2 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震有序网络结构以及昆仑山8.1级大震和玉树7.3级强震预测示意  
Fig.2 Ordered network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the northern Tibetan Plateau region and sketch of prediction for Kunlunshan M8.1 earthquake and Yushu M7.3 earthquake

### 2.2 关于2008年汶川8.0级大震预测

图3和图4反映了有序值53~54 a、26~27 a



图3 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.3 Ordered network structure for Kunlunshan M8.1 earthquake and Wenchuan M8.0 earthquake prediction

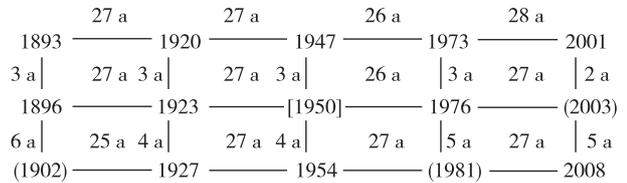


图4 图3的细化结构

Fig.4 Detailed structure of Fig.3

对于汶川大震的特殊预测意义,此2图均为图1的局部结构细化图.图3中3条横线之间的地震样本相隔约为52~54 a,第1行与第2行之间相隔10~11 a,第2行与第3行之间相隔7~9 a,其规律十分清晰.由1947—1954—2001—2008这4点所组成的“矩形结构”,明显地传递出汶川大震的时间信息.图4则是图3的细化结构,其有序规律也十分显著,从而表明26~27 a为青藏高原地区  $M \geq 7$  强震活动的主体韵律特征.

### 2.3 青藏高原北部地区未来 $M \geq 7$ 强震预测

图5简明扼要地概括了21世纪以来本区所发生的3次大震——昆仑山大震、汶川大震、玉树强震以及未来  $M \geq 7$  强震的预测.图5是图1(a)的下半部,呈规整的长方形,从上到下共有6条横线,与前面给出的各结构图相一致的是横线起着主要预测作用,而竖线为辅助与支撑作用.图5中,第1条横线从1883年西藏普兰7级地震到1990年青海共和7.0级地震时长为107 a,第2条横线从1893年四川道孚7级地震到2001年昆仑山8.1级大震其时长为108 a,第3条横线从1902年青海都兰西6.9级地震到2008年汶川8.0级大震时长为106 a,第4条横线从1904年四川道孚7级地震到2010年玉树7.3级强震,其时长也为106 a,这些震例反映出有序值53~54、106~107 a在各有序值中具有重要的预测意义和较高的可信度.由此类推可以预测:第5条横线从1908年西藏奇林湖7级地震起,第6条横线从

1920年宁夏海原8½级大震起,分别间隔106~108 a即为未来强震发震时间点,也就是说本区未来 $M \geq 7$ 强震可能发生在2014—2015、2026—2027年。图6和7反映了具有倍数关系的有序值26~27 a、53~54 a、106~107 a与有序值77~78 a之间的结构关系,由此也可预测:本区未来 $M \geq 7$ 强震发生在2027或2030年前后。

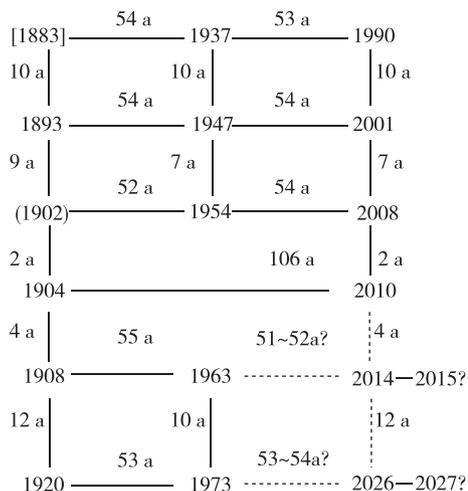


图5 21世纪以来3大地震(昆仑山8.1级大震、汶川8.0级大震、玉树7.3级强震)及本区未来 $M \geq 7$ 强震预测

Fig. 5 Sketch of prediction for three great earthquakes (Kunlunshan M8.1 earthquake, Wenchuan M8.0 earthquake and Yushu M7.3 earthquake) in the 21<sup>st</sup> century and the future  $M \geq 7$  strong earthquakes in this region

特别需要指出的是,不仅青藏高原地区 $M \geq 7$ 强震具有间隔53~54 a(或26~27 a)传递发生有序规律性,同样在更大空间范围也发生过这样的震例,如我国西部大三角地区(参见图6和图7)、东南亚和南美洲<sup>[28]</sup>。以下再给出3例。

1) 图8给出我国西部青海、西藏、新疆大三角地区部分 $M \geq 7$ 强震的传递关系,笔者对中国西部大三角地区强震网络是否具有稳定的结构研究不多,还有待今后加以深入研究。

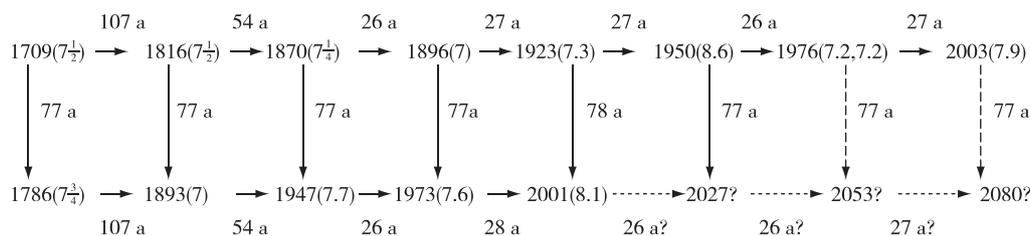


图6 有序值77 a与107, 54, 27 a之间的结构关系

Fig. 6 Relation of ordered values between 107, 54, 27 and 77 a (dotted line for prediction)

2) 1897年6月12日印度东北角阿萨姆8.6级大地震之后,间隔53 a发生了1950年8月15日中国西藏察隅8.6级大地震,再过54 a又发生了2004年12月26日印尼8.9特大地震( $M_w$ 9.0)。

3) 1906年1月31日南美洲厄瓜多尔8.8级大震,间隔54 a发生了1960年5月22日南美洲智利 $M_w$ 9.5特大地震,再过50 a又发生了2010年2月27日智利8.8级大震。

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,一个合理的解释就是青藏-滇缅-印尼歹字型构造的有序活动性<sup>[29-31]</sup>。其时间间隔53或54 a是27的倍数,也是9的倍数。因而,这些有序值所传递的信息决非偶然。

### 3 汶川大震和玉树地震的成因探讨

1) 当前,一些地震专家认为汶川8.0级大震的发生是由于印度板块向欧亚板块加速俯冲挤压碰撞所造成。通常,板块俯冲的时间尺度长达几十万年,而汶川地震是典型的板内地震<sup>[32]</sup>,它并不处于板块边缘,这难以解释汶川地震的发生。从本区强震史料实况来看,印度板块向北加速推移碰撞,1~3年前一般要在喜马拉雅山弧形构造带东端触角的缅甸、云南一带发生7级或7级以上强震,然后向北逐步传递发生,但是汶川大震之前,东触角的滇缅地区却未见有这类信号震发生。

2) 李四光<sup>[33]</sup>70年前提出当今世界有两大巨型歹字型构造体系,其一是位于我国西南部和东南亚一带的青藏滇缅印尼歹字型构造体系,即从头部的青藏高原-滇缅地区一直延绵展布至尾部的印尼岛弧;其二在北美西海岸直到中美洲加勒比海。徐道一<sup>[28-31]</sup>认为,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巨震,首尾牵动而呼应,2008年汶川大震和2010年玉树强震的发生都与此巨型歹字型构造

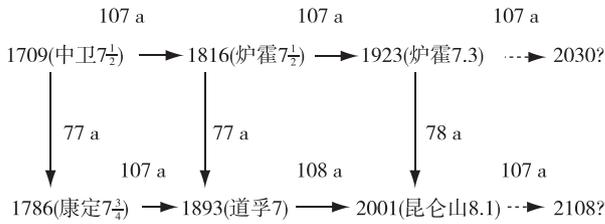


图7 关于有序值 107 和 77 a 结构(虚线表示预测)

Fig. 7 Structure of ordered value 107 and 77 a (dotted line for prediction)

体系近代活动有着密切的关联. 请看以下 4 例:

① 2001 年 11 月 14 日青藏高原北部的昆仑山口西发生 8.1 级巨大地震, 标志着青藏滇缅印尼歹字型构造体系的头部开始活动, 约经 3 a 时间传到尾部, 于 2004 年 12 月 26 日印尼苏门答腊发生 8.9 级巨大地震;

② 2004 年 12 月 26 日与 2005 年 3 月 29 日在歹字型构造体系尾部的印尼苏门答腊相继发生了 8.9 和 8.6 级巨震后, 间隔约 6 个多月便引发了 2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级大震(头部);

③ 2007 年 9 月 12 日与 13 日印尼苏门答腊再次发生 8.6、8.2 级巨震(尾部), 经过 8 个月, 于 2008 年 5 月 12 日在中国四川省发生汶川 8.0 级大震与之相呼应(头部与中部连接处);

④ 2010 年 3 月 6 日印尼苏门答腊西南发生 7.1 级地震, 4 月 7 日苏门答腊北部又发生 7.8 级大震, 即歹字型构造体系尾部又呈活动状态, 一周之后便引发了 4 月 13 日玉树 7.3 级地震(头部).

上面 4 例表明: 一个巨大地震的发生不是孤立的、随机的, 不仅与当地活动断层或断裂体系有关, 也与大范围地球深部动力条件变化过程密切相关. 青藏滇缅印尼歹字型构造, 其头部的大震活动影响到尾部大约需要 3 a 时间, 而其尾部的大震活动传递到中部的藏、川、滇、缅交界部的大拐弯处或者头部地区却非常迅速, 只要几天或几个月时间, 这一特征为未来青藏高原强震预测提供了珍贵的基本依据.

3) 特别需要提及的是耿庆国<sup>[34]</sup>对于汶川地震预测研究做出了重要贡献, 他根据 30 a 来对中国强震活动空间有序性研究提出了具有发震时间信息的强震旋钮共轭的观点, 并认为汶川地震震中的空间范围应在由 1812、1833、1879、1902、1920、1927、1951、2001 年这 8 个大震震中所围成的折线区域内, 而实际汶川 8.0 级大震恰恰发生在该区域之内. 1927 年 5 月 23 日甘肃古浪 8 级大震(37.7°N, 102.2°E)和 1951 年 11 月 18 日西藏当雄 8 级大震(31.1°N, 91.4°E)就是 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级大震(31.0°N, 103.4°E)的两个强震旋钮共轭地震.

### 4 结论与讨论

1) 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震在时间上具有显著的有序性, 由其所形成的规范的网络结构为网络假设又提供了一个新的实例. 强震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. 汶川大震和玉树强震的发生, 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强震中长期跨越式预测的有效方法. 根据本文的中长期预测结果, 本研究区未来 3 次  $M \geq 7$  强震可能发生在 2014—2015、2026—2027 和 2030 年前后, 希望有关专家密切关注, 采取多学科、多方法相结合, 跟踪聚焦强震信息, 缩小预报范围, 加强短期临震预报工作, 为锁定并捕捉未来强震而努力.

2)  $M \geq 7$  强震活动不仅在时间分布上具有网络特征, 在空间分布上也具有网络特征. 1998 年徐道一等<sup>[35-36]</sup>深入研究过日本和亚洲地区 7 级与 8 级大震的空间有序性及其几何分布特征. 门可佩<sup>[37]</sup>也曾研究过中国与印尼重大地震灾害链的时空有序性. 许绍燮<sup>[38]</sup>及张晓东等<sup>[39]</sup>研究了青海地区强震等间距的特征, 结果表明: 2001 年昆仑山 8.1 级大震就填补在青海西部菱形网格点上(参见文献[36]图 7 与文献[37]图 1). 据此, 门可佩<sup>[9]</sup>曾提出: 未来该区强震可能发生在青藏北块东部的库玛断裂带与南北地

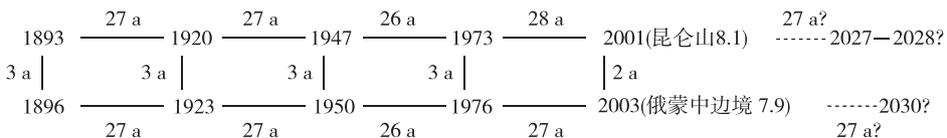


图8 中国西部大三角地区  $M \geq 7$  强震的传递关系(注: 2003 年 9 月 28 日俄蒙中边境发生 7.9 级大震)

Fig. 8 Transmission relation of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the large triangle region in West China

(The M7.9 earthquake on Sept 28, 2003 occurred in the Russia-Mongolia-China border)

震带交汇处附近。

3) 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各个方面<sup>[40-41]</sup>。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。因此,网络技术这一方法也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超过了它的个体成员。强震链网络结构是一种隐性网络,作为一个整体它所蕴含与显示的信息量必然大于超过单个强震样本的信息。强震活动所呈现出的网络特性很可能是大地震形成的一种机制。然而,强震网络应是一种动态的、增长的、非平衡的演化网络 (evolving network),需要通过建立恰当的模型去拟合或预测现实网络自组织过程,探索其形成机理和组织原则。实证研究发现<sup>[41-43]</sup>,许多现实网络,包括信息网络、社会网络和生物网络都具有小世界效应 (small world effect) 和无标度 (scale-free) 特性这两个基本性质,而幂律函数 (power law function)  $y(x) = cx^\alpha$  具有标度不变性 (scale invariance),即不依赖于所采用的测量单位。无标度网络 (scale-free network) 基本模型称为 BA 模型,增长 (growth) 和择优 (preferential attachment) 是其两条重要的网络演化机理。BA 模型的度指数 (degree exponent) 是常数 3,而大多实际网络的度指数在 (1,4) 之间。增长网络 (growing network) 模型是 BA 模型的推广,它修正了后者增长是平衡的与择优是线性的假设。目前,在网络的演化机理和模型建立方面仍有许多问题未能解决。本文给出青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震链有序网络结构的形象,但仍需完善其预测功能的设计,中国大陆其他地区 7 级强震以及 8 级大震有序网络结构仍需抓紧深入进行系统研究。但是,国内外至今尚无其他学者将复杂网络技术应用于大震或强震预测研究。

4) 地震预测是世界上公认的难题,上述实例表明,强震和强震链是可以预测的,关键在于勇于发扬创新精神,实行多学科、多部门、多途径、多手段联合协同攻关。应用翁文波信息预测理论能够有效地分析和解决强震灾害跨越式 (特别是长时间、长距离) 的预测问题,为强震预测提供了较为清晰可靠的信息。在中长期预测的基础上通过降低目标震级阈值、缩小研究区的时空范围进行分区排查搜索,追踪强震信息,并综合前兆等短临预测方法,核准虚实信息,从而实现强震预测,为防灾减灾作出贡献。在中

国这样一个频繁遭受强烈地震袭击的国家,建立早期预警系统是非常必要的。笔者提出的有序网络方法为建立早期预警系统提供了一项有效工具。

## 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 ] 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
- [ 3 ] XU Daoyi, Ouchi T. On the network feature of large earthquake occurrence that appear in the spatio-temporal distribution [C] // The Seismological Society of Japan. Programme and Abstracts, 1997 (2): 54
- [ 4 ] 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
- [ 5 ] 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
- [ 6 ] Xu D Y, Men K P, Deng Z H. Self-organized ordering of earthquakes ( $M \geq 8$ ) in mainland China [J]. Engineering Sciences, 2010, 8(4): 13-17
- [ 7 ] 门可佩. 西藏地区强震活动趋势的初步研究 [J]. 西北地震学报, 1996, 18(4): 1-8  
MEN Kepei. Preliminary study on the trend of strong earthquake activity in Xizang region [J]. Northwestern Seismological Journal, 1996, 18(4): 1-8
- [ 8 ] 门可佩, 夏建平, 赵兵. 对青藏高原北块 7 级强震时间分布的有序性进行预测探索 [J]. 内陆地震, 1994, 8(1): 63-66  
MEN Kepei, XIA Jianping, ZHAO Bing. Research on temporal orderliness of strong earthquake ( $M \geq 7$ ) and its prediction in north block of Tibetan Plateau [J]. Inland Earthquake, 1994, 8(1): 63-66
- [ 9 ] 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
- [ 10 ] 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
- [11] 门可佩. 新疆及其邻区  $M_s \geq 7$  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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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 Science, 2009, 11(6):82-88
- [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] MEN Kepei, LIU Wenjun. The orderly network structure of  $M \geq 7$  strong earthquake chain and its prediction in Xinjiang region of China[J]. Z Naturforsch, 2011, 66a:363-371
- [17] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(12):1020-1031  
DENG Qidong, ZHANG Peizhen, RAN Yongkang, et al. Basic characteristics of active tectonics in China[J]. Sciences in China: Series D, 2002, 32(12):1020-1031
- [18] 楚全芝, 邓志辉, 杨竹转. 中国大陆地震构造特点及其在地震危险性预测中的作用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(2):395-402  
CHU Quanzhi, DENG Zhihui, YANG Zhuzhuan. Seismotectonic features and their effects of the earthquake prediction in China-mainland[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(2):395-402
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 陈运泰. 汶川特大地震的震级和断层长度[J]. 科技导报, 2008, 26(10):26-27  
CHEN Yuntai. On the magnitude and the fault length of the great Wenchuan earthquake[J]. Science and Technology Review, 2008, 26(10):26-27
- [22] 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
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 裴青莉, 门可佩. 青藏高原北部地区未来3~5年内强震形势研究[J]. 高原地震, 1997, 9(3):47-53  
PEI Qingli, MEN Kepei. Research on the trend of strong earthquakes in future 3-5 years in the north Tibetan Plateau [J]. Plateau Earthquake Research, 1997, 9(3):47-53
- [26] 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
- [27] 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 [J]. Recent Development in World Seismology, 2001(9):5-10
- [28] 徐道一. 21世纪初全球巨灾群发期的认识及其预测意义[C]//中国地球物理 2010. 北京:地震出版社, 2010:384-385.  
XU Daoyi. Cognition and prediction significance. on global huge at the early of the 21st century [C]//The Chinese Geophysics 2010. Beijing: Seismological Press, 2010:384-385
- [29] 徐道一. 中国汶川巨震、印尼巨震及其歹字型构造体系的关系[J]. 国际地震动态, 2008(11):44  
XU Daoyi. Relation among the Ms8.0 Wenchuan earthquake of China, the Indonesia great earthquake and the eta( $\eta$ )-type tectonic system[J]. Recent Developments in World Seismology, 2008(11):44
- [30] 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 earthquakes in China mainland [J]. Recent Developments in World Seismology, 2008(11):25
- [31] 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
- [32] 胡小刚, 郝晓光. 汶川大地震震带地震仪短临异常及成因初探[J]. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1726-1734  
HU Xiaogang, HAO Xiaoguang. The short-term anomalies detected by broadband seismographs before the May 12 Wenchuan earthquake, Sichuan, China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(6): 1726-1734
- [33] 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
- [34] 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]. Engineering Science, 2009, 11(6): 123-128
- [35] XU D Y, 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
- [36] XU D Y, 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
- [37] 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
- [38] 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
- [39] 张晓东, 张雅玲, 马文静. 青海强震等间距特征及未来强震趋势预测[J]. 中国地震, 1998, 14(1): 59-67  
ZHANG Xiaodong, ZHANG Yaling, MA Wenjing. Study of equidistant feature and future earthquake tendency of Qinghai-Xizang Plateau[J]. Earthquake Research in China, 1998, 14(1): 59-67
- [40] 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
- [41] Albert R, Barabasi A L. Statistical mechanics of complex networks[J]. Reviews of Modern Physics, 2002, 74(1): 47-97
- [42] Radicchi F, Ramasco J J, Barrat A, et al. Complex networks renormalization: Flows and fixed points[J]. Physical Review Letters, 2008, 104(2): 148
- [43] Boccaletti S, Latorab V, Moreno C Y, et al. Complex networks: Structure and dynamics [J]. Physics Reports, 2006, 424(4/5): 175-308

## Ordered network structure of $M \geq 7$ strong earthquakes and its prediction in northern Tibetan Plateau region

MEN Kepei<sup>1</sup>

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

**Abstract** The northern Tibetan Plateau region is a main seismic zone in west China. Since 1700,  $M \geq 7$  strong earthquakes have showed an obvious commensurability and orderliness in this region. The main ordered values are 106-107 a, 77-78 a, 53-54 a, 26-27 a, 10-11 a and 3-4 a. According to the information forecasting theory of WENG Wenbo and combining ordered analysis with complex network technology, we try to explore the practical method for strong earthquake prediction with Chinese characteristics, and build informational ordered network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the northern Tibetan Plateau. In this paper, we study into the prediction of 3 great earthquakes (the 2001 Kunlunshan M8.1, the 2008 Wenchuan M8.0 and the 2010 Yushu M7.3 earthquake) based on the method of ordered network structure, and give many notorious earthquake examples in China and abroad. Meanwhile, the cause of formation about Wenchuan and Yushu earthquake have been discussed primarily. At last, we present a new prediction opinion that the future  $M \geq 7$  strong earthquakes will probably occur in 2014—2015, 2026—2027 and 2030 in this region. The results show that strong earthquake can be predicted and this method produces satisfactory results in moderate and long term prediction for strong earthquakes.

**Key words** northern Tibetan Plateau region; informational ordered network structure; Kunlunshan M8.1 earthquake; Wenchuan M8.0 earthquake; Yushu M7.3 earthquake; strong earthquake prediction