

地震发震大尺度结构

许绍燮

中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

摘要 一次大地震发生前,地震活动在其未来震中区近处,常会表现平静。但着眼于全球大尺度规模,则可观测到颇具特色的地震活动性图像。较为普遍出现的图像是直线型与圆弧型,以及构成这些图像的主要地震事件的等间距性。本文认为大地震发震结构可以具有全球规模的大尺度,这些地震发震大尺度结构主控着大地震发震的短临进程,对认识地震成因机制具有重要意义。同时文中还给出中国近年发生的数次大震(1976唐山 $M7.8$;2001 昆仑山口西 $M8.1$;2008 汶川 $M8.0$)前呈现的地震发震大尺度结构,很明显它们具有一定的预测意义。

关键词 地震预测;地震活动性图像;地震发震大尺度结构;屈曲成因;汶川地震

中图分类号 P315.7

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)23-0026-08

Large Scale Tectonics Related with Earthquake

XU Shaoxie

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Abstract Before a large earthquake, its central region usually shows some quiescence. However, as viewed from a global large scale, the seismic activity pattern does show quite distinct characteristics. Linear pattern and circular arc pattern appear more common; the events constructed from above patterns are distributed on an equal span of distance as well. It has been recognized that the tectonics associated with the earthquake generation present a large scale nature globally. These large scale tectonics related with the earthquake generation control the progress of the earthquake preparation in a short term, and are very important in understanding the mechanism of earthquakes. This paper reviews the cases that large scale tectonics related with earthquake generation show before several large earthquakes (Tongshan earthquake of $M7.8$, 1976; Kunlun Mountain earthquake of $M8.1$, 2001; Wenchuan earthquake of $M8.0$, 2008) occurred in recent years in China. That gives some food for thought on earthquake predictions.

Keywords earthquake prediction; seismicity pattern; large scale tectonic on earthquake generation; buckling cause; Wenchuan earthquake

0 引言

一般认为地震是板块、深大断裂活动的产物,故地震的发震结构受控于板块、深大断裂毋须深究。我们注意到,在百年、千年或其更长的时间进程中,大地震可以受控于板块、深大断裂的展布。但若着眼于年、月、日短临时间进程,大地震发震结构具有全球规模的大尺度性;地震可以在短暂的数日或数月内,迅速地、有节律地展布于一条直线上,这条直线在地球表面上具有一定的方位角,其长度可以超越地球全周,甚至达到连续绕地球两周的长度;地震也可以分布在圆弧上,其规模可以达到整个地球的大圆尺度,而地震分布这样

规模的大尺度结构已不可能用通常的板块、深大断裂概念解释。本文展示了所观测到的这种地震发震大尺度结构。

1997年,Geller等^[1]在 *Science* 撰写论文《地震不可预测》。1997年3月19日,《科学时报》在报导该文时将其文题标志为《几位科学家联合撰文断言地震根本不能预报》^[2],更贴近了原作者的核心思想。此后,地震能否预测便成了热门话题。2000年6月,本文作者在中国工程院学部研讨会中阐述:“鉴于‘大地震不是任何地方都可以发生的’、‘大地震不是任何时刻都可以发生的’,故地震不应是根本不能预测。”但近年来每一次大震灾后,地震根本不能预测的话题就会受到社会

收稿日期:2010-09-01;修回日期:2010-10-08

作者简介:许绍燮(中国科协所属全国学会个人会员登记号:S171100222S),中国工程院院士,第三世界科学院院士,研究方向为地震事件监测分析和地震预测,电子信箱:xushx@cae.cn

的特别关注和炒作,非常不利于地震预测的发展。本文提供的信息,可作为“大地震不是任何地方都可以发生的”一种新的证据。

1 直线型

图1展示出2008年5月12日汶川M8.0级地震及其前14余年全球 $M \geq 7.8$ 级地震的分布图^[1]。由图可见,全球的大地震($M \geq 7.8$)基本上均分布在几组“直线”(在等经纬度投影地图意义上的“直线”)网格上。这些直线延伸得很长,经常可以超越绕地球全周,甚至连续绕地球两周的长度。实际上,图1是由两张完全相同的世界地图拼接的,以利于长度超过地

球一周的长直线判读。这些(红、粉、黑、白)直线的方位,大体上与诸洋脊裂谷的一些弧段的方位一致,有可能是受到已有这些洋脊裂谷的控制。构成环太平洋的四边形网格(同时参阅图2)具有平行的对边;对称的顶点经纬度见表1。它们具有相当完美的对称性,包围的面积达半个全世界版图;所包含的大地震($M \geq 7.8$)竟达全世界总数的95%以上。

表1 对称顶点位置

Table 1 Location of symmetry apex

顶点	①	②	③	④
纬度	60°S	60°N	30°S	30°N
经度	150°E	150°W	60°W	60°E

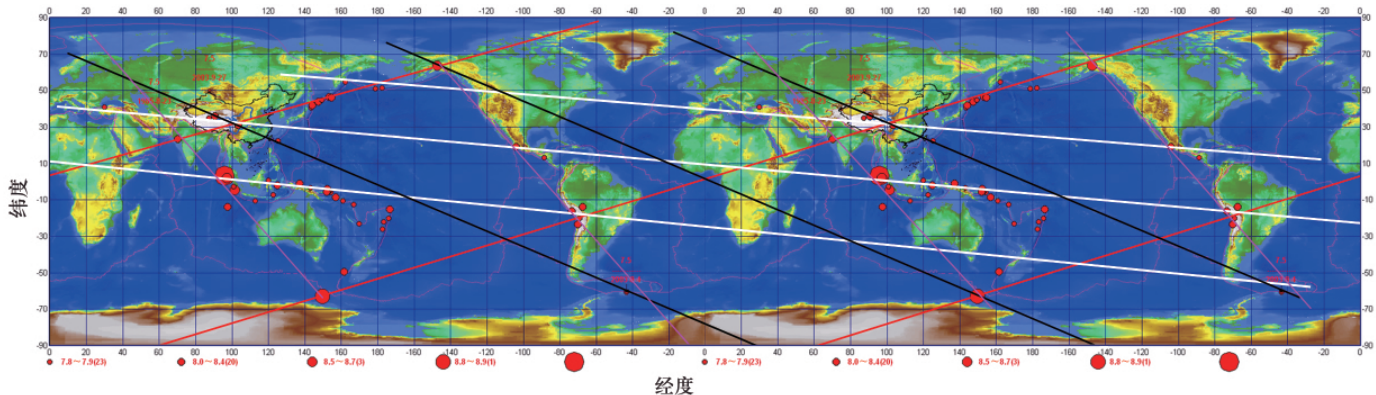


图1 1994-01-01—2008-05-12 $M \geq 7.8$ 震中线性网格分布(汶川地震位于红黑白色直线交会处)

Fig. 1 Map of seismicity of $M \geq 7.8$ in 1994-01-01—2008-05-12, in which Wenchuan earthquake is located at the cross connection of lines

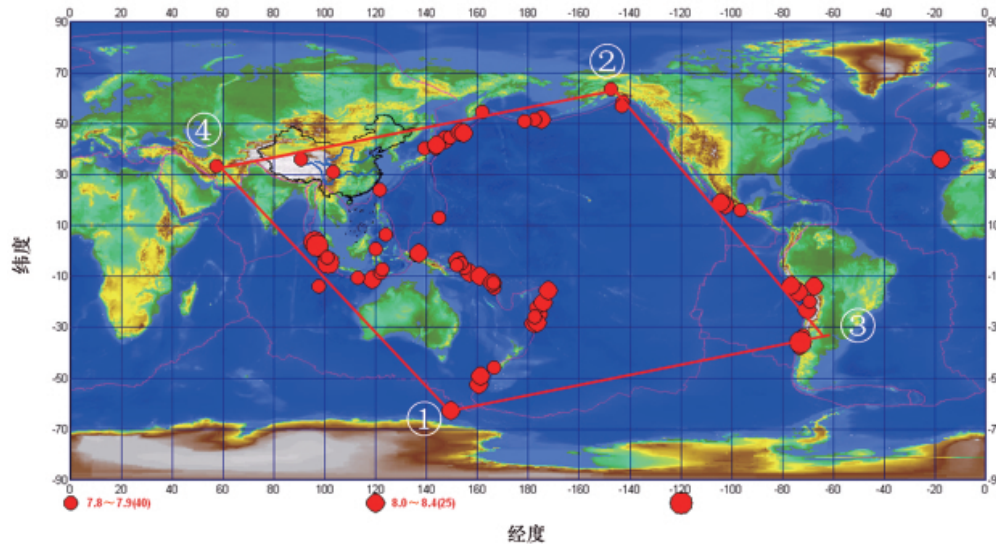


图2 1973-01-01—2010-07-25 全球 $M \geq 7.8$ 地震四边形状分布

Fig. 2 Map of seismicity with quadrilateral pattern of globe earthquakes of $M \geq 7.8$

图3是汶川地震震前2.5d的世界中强震($M \geq 4.0$)分布图^[1]。图中同样显示出跨越全球的直线型地震展布,两条(白色)直线交会于汶川。

稍小规模的现象也经常出现。图4是1976年7月28日

唐山M7.8级地震及其前20年地震的直线网格分布图。

当震级降至 $M_{1.1} \sim M_{1.2}$ 级时,有时也能展示出鲜明的直线性结构。图5是2001年11月14日昆仑山口西M8.1级地震及其震前近12年中国测定的中国境内地震($M_L \geq 1$)。由于地

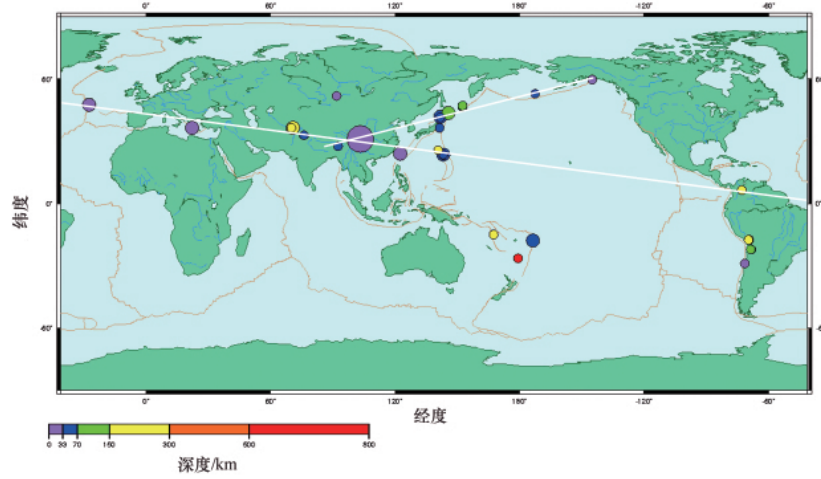


图 3 2008-05-10—05-12 14:30(汶川 M8.0 临震前 2.5d)全球 $M \geq 4.0$ 震中分布(汶川地震位于两白色直线交会处)
 Fig. 3 Map of seismicity of $M \geq 4.0$ in 2008-05-10—05-12 14:30 (at Wenchuan earthquake of M8.0), in which Wenchuan earthquake is located at the cross connection of two white lines

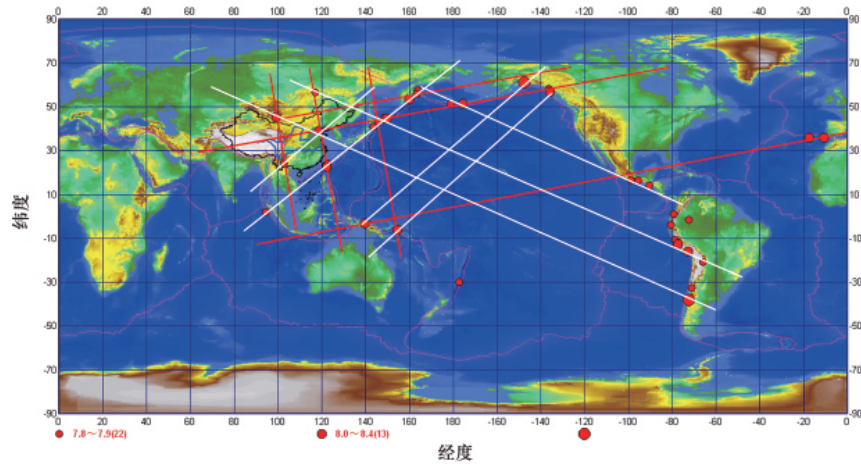


图 4 1957—1976-07-28 $M \geq 7.6$ 地震直线网格分布(唐山地震位于两组网格交会处)
 Fig. 4 Map of seismicity of $M \geq 7.6$ in 1957—1976-07-28, in which Tongshan earthquake is located at the cross connection of two grid systems

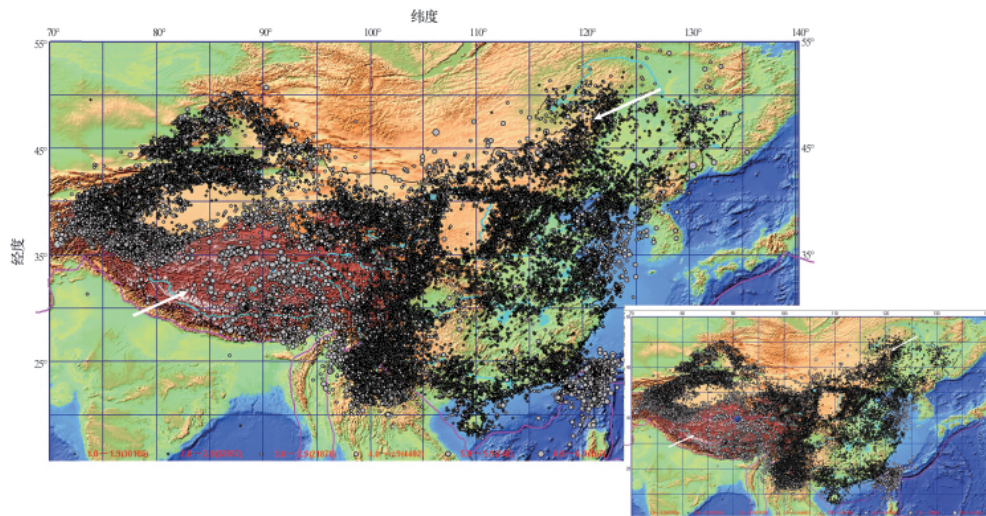


图 5 1985-01-01—2001-11-14 昆仑山口西 M8.1 前中国测定的境内地震分布(右下插图中蓝色小球为 M8.1 主震)
 Fig. 5 Map of seismicity, in 1985-01-01—2001-11-14, with $M \geq 1.0$ determined by Chinese network, in which blue ball presented the Kunlun Mountain earthquake of M8.1

震监测网能力的差异, 青藏地区只能监测到 $M_i \geq 4$ 的地震。虽然监测能力有差异, 但在图 5 中两白色箭头所指两侧地震活动高低的差异对照性仍然清晰可见。白色箭头所指的西北侧地震活动低, 东南侧地震活动高。特别值得注意的是, 昆仑山口西 $M8.1$ 震中处(约位于 $90^\circ\text{E}, 35^\circ\text{N}$ 处)有一个明显的圆(弧)形空区, 在图 5 右下角附图中填入了一个蓝色小球, 以显示出昆仑山口西 $M8.1$ 地震的真实位置, 它正好位于圆形空区内。

2 圆弧型

全球的主要地震集中在环太平洋带上。这个地震带在球体上正好展布为一个大圆(沿大圆的截切面可通过地球的中心, 将地球分切为两个相等的半球)。欲在平面的世界地图上展示一种大圆, 不易形成直观的视觉。即使投放到如 Google Earth 立体地球体上, 又因其视角不够半个球体, 仍无法获得大圆全貌。

图 6 的中部插入的图 6 (o) 是 1973—2010 年 7 月全球 $M \geq 7.8$ 地震。地震取始自 1973 年, 是因美国地震信息中心 (NEIC) 只在 1973 年后才有完整的全球目录。图 6(o) 中置入的黄色椭圆环线, 可能已经刻画了环太平洋的这个大圆。作为验证, 在图 6 中再分区借助于 Google Earth 引入了 4 个球面圆盘。图 6(a) 是图 6(o) 中的北区, 它展示了自日本—阿拉

斯加—北美—中美这一弧段。图 6(a) 中的红色直线可以拟合图中的地震分布, 即拟合 1973—2010 年 7 月 $M \geq 7.8$ 在该区的全部地震。此红色直线通过了图 6(a) 圆盘的中心, 从而可以表明红色直线应是地球大圆的一段。图 6(b) 是图 6(o) 中的东区, 它展示了自阿拉斯加东部—北美—中美—南美这一弧段。图 6(b) 中的红色直线也可以拟合其中的地震分布, 也通过了圆盘的中心, 因之也应是地球大圆的一段。图 6(c) 是图 6(o) 的西区, 它展示了亚洲与澳洲部分。图 6(c) 中的上下垂向红线拟合了环太平洋地震带的一段, 左右水平向红线拟合了阿尔卑斯—喜马拉雅(欧亚)带的一部分。特别值得注意的是, 垂向与水平向的正交性表明了欧亚带与太平洋带展布的正交性。同时, 这两条红线均通过图 6(c) 圆盘中心, 表明它们均应分别是两个正交大圆中的一段。图 6(d) 是图 6(o) 中的南区, 展示了大洋洲东北部分与太平洋中心地带。图中的左右水平红线拟合了欧亚带的延伸; 上下垂向红线拟合了大洋洲的地震带。这两者也互成正交, 均通过圆盘中心, 也均是分别两个正交大圆中的一段。据上所述可以概述为: 全球大震 ($M \geq 7.8$) 实际上分布于环太平洋的接近于一个整体大圆; 与太平洋大圆正交的欧亚带的半个大圆; 再与前两者均正交的大洋洲的 1/4 个大圆上。即全球大震系位在 3 个相互正交的地球大圆(段)上, 它们是环太平洋的约近一个整大圆, 欧亚带的 1/2 个大圆, 大洋洲的 1/4 个大圆。

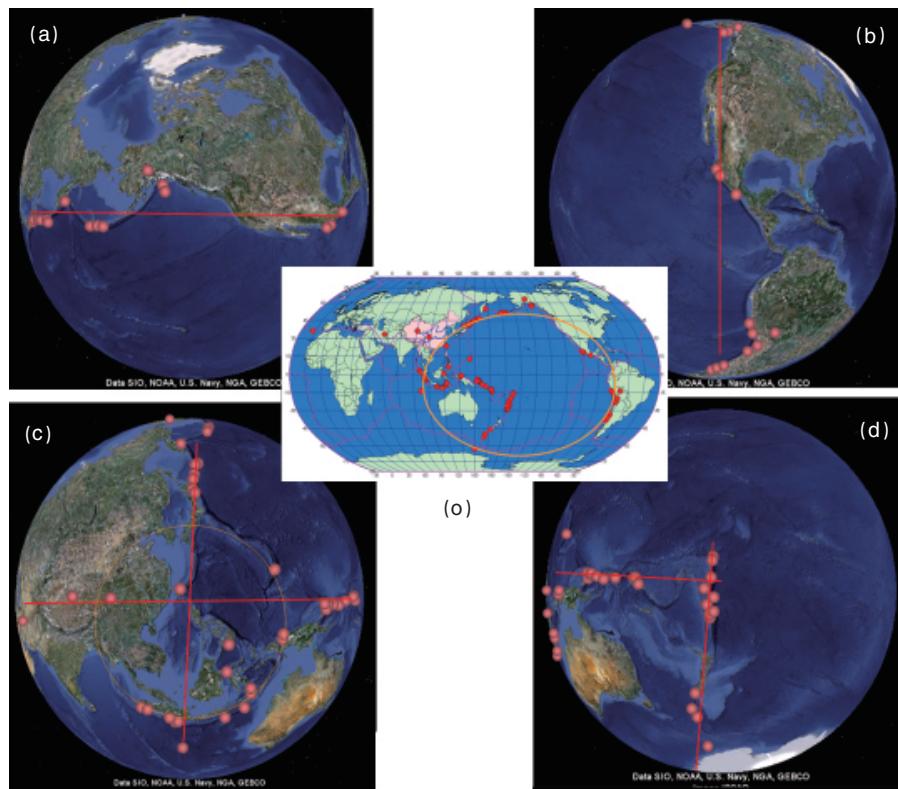


图 6 1973—2010—07 $M \geq 7.8$ 全球震中分布于互成正交的 3 个大圆(弧段)

Fig. 6 Seismicity map of earthquakes of whole globe with $M \geq 7.8$, which are located on three great circles perpendicular each other

图7是汶川地震前近30余年地震活动性图像^[1]。图7(a)收入了震级3.0以上($M \geq 3.0$)地震。图中黑色小圆,区划出中深震(深度33~150km)相对较密集的区域。白色部分圆弧段,较好地拟合了印度尼西亚与马里亚纳弧段。黑小圆内的2个黑色五角星,西边的一个是2001年11月14日昆仑山口西 $M8.1$ 地震,东边的一个是2008年5月12日汶川 $M8.0$ 地震。图7(b)收入的地震震级提高到5级($M \geq 5.0$),小黑圆内外地震活动的差异性仍然非常显著,但中深震活动不再突出显

现。图7(c)震级为 $M \geq 5.5$,小黑圆的聚震特色仍然清晰,圆内外的差异性更为突出。根据上述图7(a)~图7(c)图像可以看到,汶川地震前,中国西部地区存在着如图8所简化示意的扁圆柱状地震活动形体,在33~150km深度上,有较小震级 $M3.0$ 地震的活动,33km以上地壳内主体震级多为5级以上。中国近年的2次8级大震就直接孕育在这种扁圆柱状地震活跃结构环境中。

汶川地震后,直至2010年4月14日玉树 $M7.0$ 地震,中国

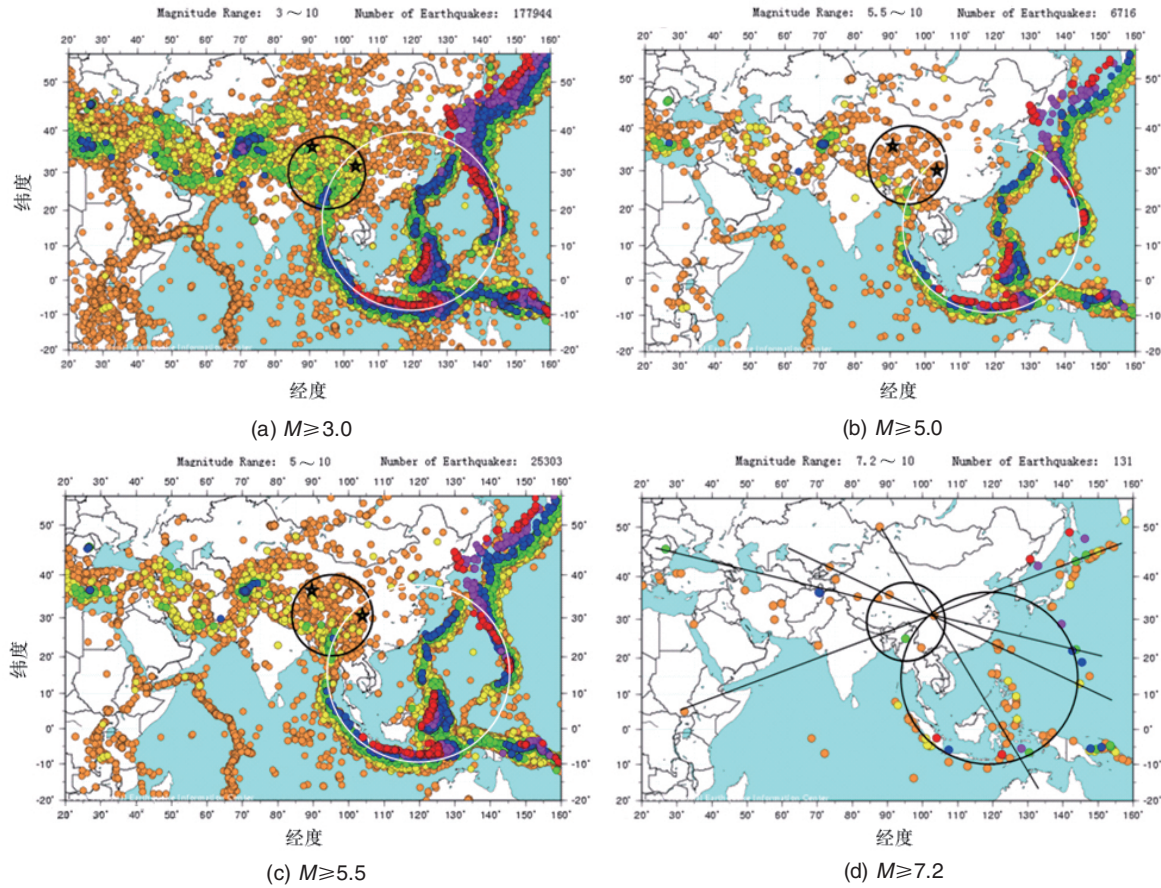


图7 汶川震前近30余年地震活动性图像

Fig. 7 Map of seismicity before Wenchuan earthquake, including data of more than thirty years

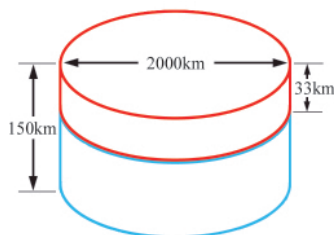


图8 汶川震前显示的扁圆柱状地震活动形体简化示意

Fig. 8 Earthquakes activity in a volume as a shallow cylinder type block before Wenchuan earthquake

的主要地震活动更为聚集于图7中的黑色小圆内。图9(a)是2008年5月13日至2010年4月13日 $M \geq 5.5$ 地震分布,图9

(a)中红色圆环划出的区域,就是图7(a)~图7(c)中黑小圆划出的区域,如图8所示,圆环直径约达2000km。若将此圆环投影到卫星影像图9(b),可见该环的北侧正好吻合于青藏高原的北边界、祁连山脉的山弧地形。喜马拉雅山脉地形高差是非常显著的,如图10卫片所示。将图9(b)的蓝色圆环向西北方向平移约近1000km,如图9(c)所示,蓝色圆环也能拟合于喜马拉雅山弧。令人惊讶的是,中国及周边20世纪前叶半个世纪接连发生的5次 $M \geq 8.3$ 级巨大地震(参见图11^[2]),竟都发生在图9(c)蓝色圆环的周边。圆环竟有如此之大的控震能力!将图9(b)中蓝色圆环向东平移1000余km,如图9(d)所示,蓝色圆环则能拟合于中国东南部的弧形海岸线。中国东侧、南侧沿海历史上有过2次大震高潮,见图12

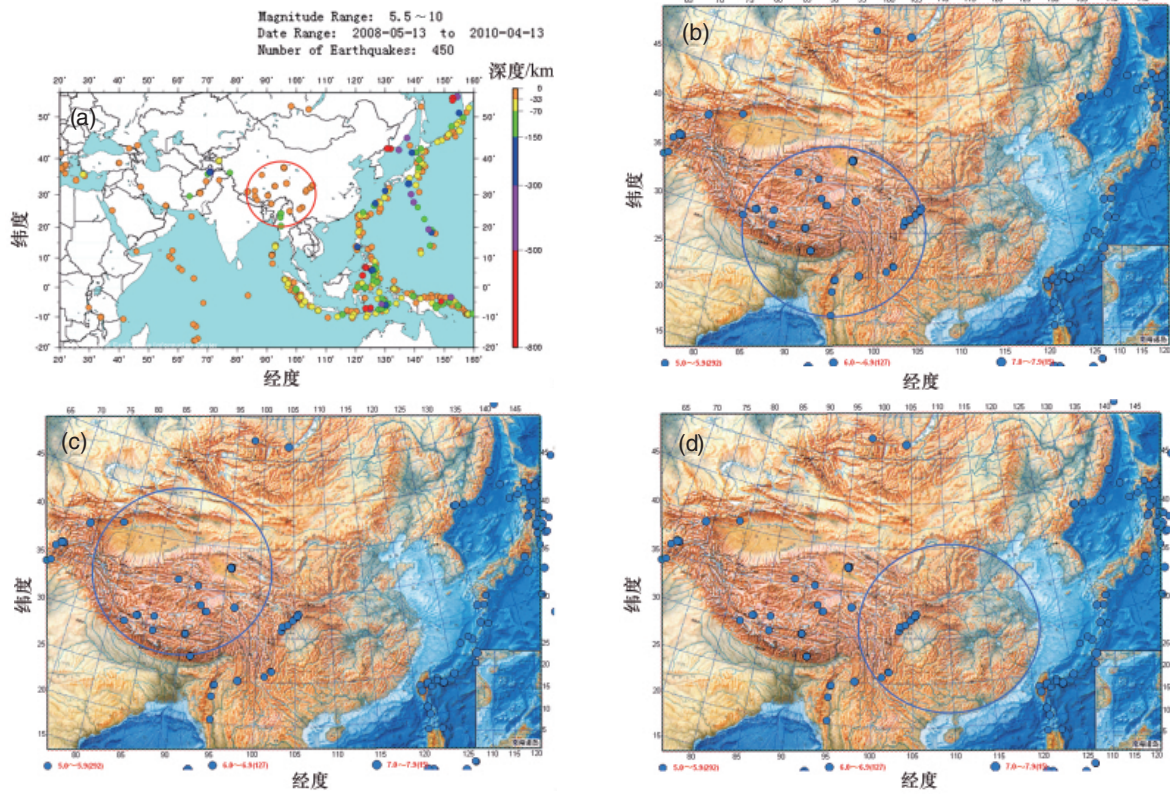


图 9 地震活动圆环与卫星影像地形弧线的吻合

Fig. 9 Circular ring in which more active earthquakes could march along a circular arc of topographical feature obtained by satellite

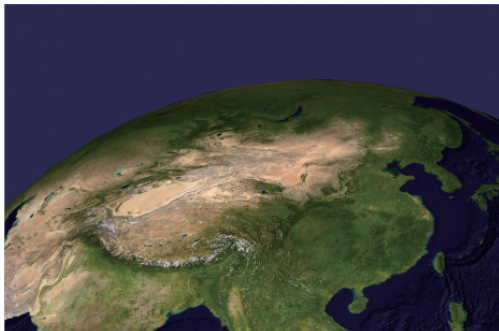


图 10 在地球卫片中所见喜马拉雅山弧
Fig. 10 Satellite image of Himalaya mountains

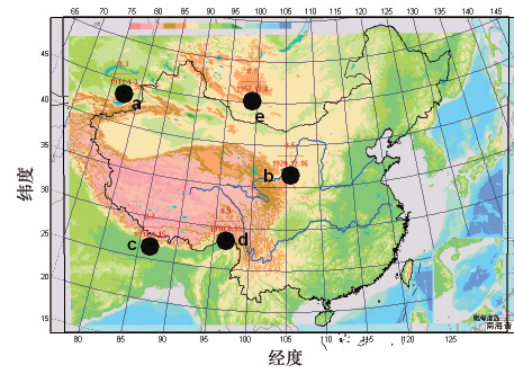
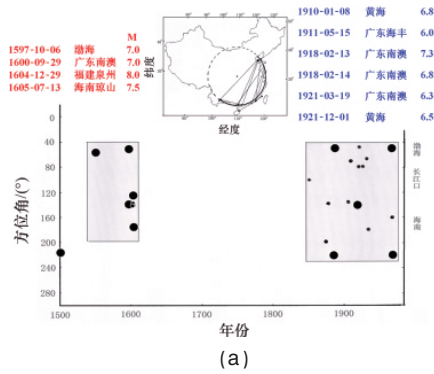


图 11 20 世纪前叶半个世纪接连发生的 5 次 $M \geq 8.3$ 级巨大地震，均正位于图 9(c) 蓝色圆环外侧
Fig. 11 Five great earthquakes of $M \geq 8.3$ in China and nearby, in the first half of the 20 century, are located round a circle shown as in Fig. 9(c)

(a)上部左右侧列表。在短短 2 个 10 年左右时段内，多次强震接连发生。将它们标记在时空坐标上，如图 12(a)下部所示。 $M \geq 6.3$ 的 22 次地震只发生在一半时段内，认为它们是偶然巧遇的概率只有 $1/2^{22}$ ，是微乎其微的。因此，它们应该具有成因上的关联。利用这方面信息，我们有过一次具有预测意义的实践：1993 年 12 月 15—17 日在海南省三亚市召开的“中国近海地震研讨会”中（参见图 12(b)），据此指出了“中国沿

海地区地震活动有一定相关关系”，会议中列举的重点危险地点，事后都相继一一发生了强震（参见图 12(c)）。

综合以上直线型与圆弧形特征，可认为圆环的交会、直线的交会、圆环与直线的交会经常是大震发生的场所，参见汶川震例图 13^[1]与唐山震例图 14，以及前述图 1、3、4 等。据此，表明本文所指出的直线型与圆弧形地震活动性图像确实具备有控制地震发生的发震结构的功能。



年 月 日	M	震中地点
1994.09.16	7.3	闽粤交界近海
1994.12.13	6.1	桂粤琼交界近海
1995.01.10	6.2	桂粤琼交界近海
1996.11.09	6.1	上海近海南黄海

果表明,我国近海已处于强震相对活跃时段,未来可能发生强震地区比较广泛,从渤海、南黄海、闽粤交界近海到桂粤琼交界近海都有可能发生强震甚至强震连发或群发现象。建议有关地区地震部门加强震情跟踪分析,切实做好防震减灾工作。

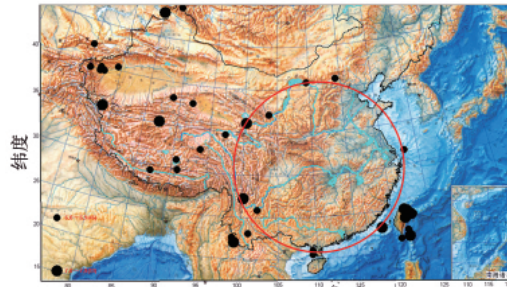
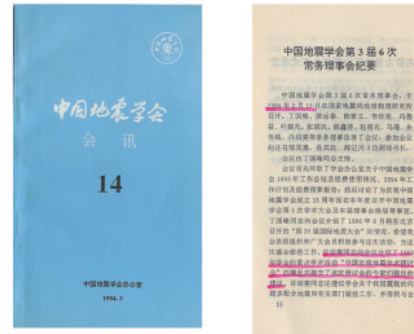


图 12 1993 年一次具有预测意义的实践

Fig. 12 A practice on earthquake prediction in 1993

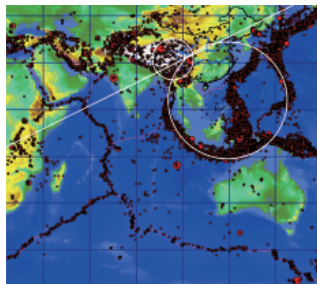


图 13 1977-01-01—2008-05-12(汶川地震前) $M \geq 5.0$ 震中分布图(汶川地震位于直线与两个圆环交会处)
Fig. 13 Map of seismicity of $M \geq 5.0$ in 1977-01-01—2008-05-12, in which Wenchuan earthquake is located at the cross connection of a line and two circles

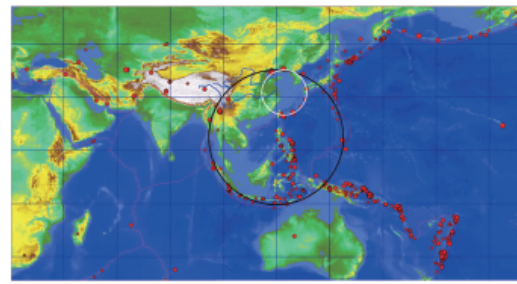


图 14 1975-01-01—1976-07-29(唐山地震) $M \geq 5.6$ 震中分布图(唐山地震位于两个圆环交会处)
Fig. 14 Map of seismicity of $M \geq 5.6$ in 1975-01-01—1976-07-29, in which Tongshan earthquake is located at the cross connection of two circles

3 等间距性——屈曲成因

在地震发震展布结构的图像中经常可以看到,地震的点排列成等间距性。

如图 11 中 $M8.3$ 以上地震的等间距分布;图 14 中白色小圆周上的地震等间距,以及黑色大圆的西北侧与东北侧辐射状直线上的地震等间距分布排列;图 12(d)中红色圆环西侧辐射状线性等间距地震排列等(此类辐射状线性排列颇似一个涡旋的旋臂)。图 15 展示了当前中国及其周边的 a~e 5 次中国和邻区近年的主要地震。5 次地震的基本情况见表 2。

可以看出,它们呈现突出的等间距性。在此需要特别指

出的是它们的发震顺序:它们发震顺序并非像通常断层破裂扩展-地震迁移模型所预言的自西向东破裂的 bcaed 或自东向西破裂的 deacb。发震的实况却是 abcde,它们是相嵌着交替发震,而这正是受控于屈曲变形所具有的特色^[3-5]。我们已观测到发震地层是分层的^[6],同时注意到地层可以遭受全球尺度的瞬变动力^[6]。瞬变动力作用在分层地层上,使地球等效为一种薄(球)壳结构,薄球壳在球壳切向水平应力作用下,可以产生屈曲剪切变形带——环绕壳周定向直线型分布;球壳在球壳径向垂直应力作用下,可以产生下凹或上凸的屈曲圆弧型分布。屈曲成因^[3-5]可能更有利于说明以上诸多观测到的事实。

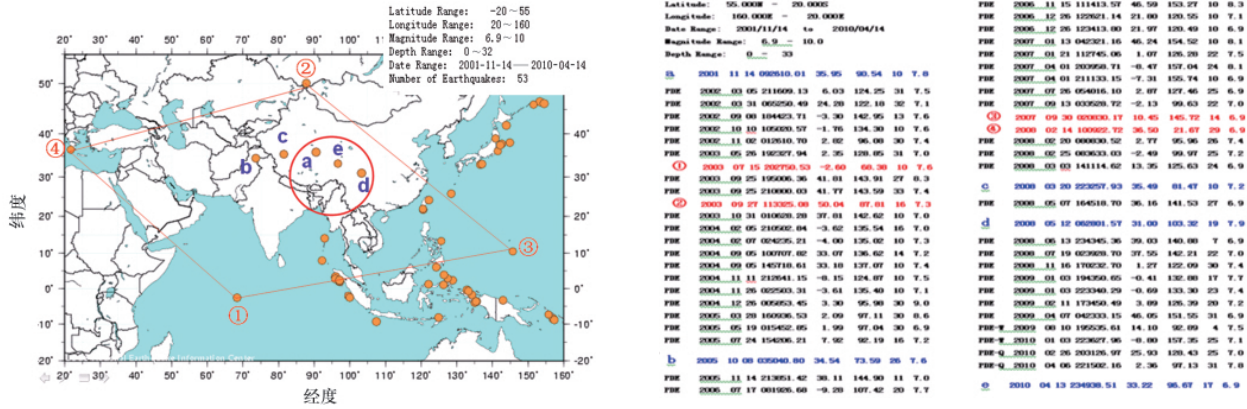


图 15 当前中国及其周边亚洲地区的地震活动分布

Fig. 15 Map of seismicity of China and its nearby in recent years, in which five earthquakes (a~e), separated in an equal span of distance

表 2 中国和邻区近年主要地震的基本情况

Table 2 Earthquakes of China and its nearby in recenty

编号	时间	震级	地点
a	2001-11-14	7.9	昆仑山口西
b	2005-10-08	7.5	巴基斯坦
c	2008-03-20	7.2	于田
d	2008-05-12	7.9	汶川
e	2010-04-13	6.9	玉树

4 结论

基于以上观测事实, 本文认为地震的发震结构图像, 应是全球性的瞬变动力作用于地球等效薄壳结构, 其所形成的发震地层的直线型与圆弧型的屈曲变形, 主控着地震的发震展布。对大尺度地震活动图像的深入研究是揭示其发震机制的一种有效手段。这将有助于为探索地震预测建设其理论基础。有鉴于本文所研制的图件, 有许多均以中国当今重要遭灾大震为取数截止时刻, 如图 1、3、4、5、13 等。这些图件取数的截止时刻, 若提前一日或一刻 (即提前到遭灾大震尚未发震前刻), 并不会根本改变其提供的信息, 因之这些图件, 即使从地震预测日常操作的侧面, 也会具有重要的参考价值。

古人说“大道至简, 大美天成”。对于极其复杂凶残、至今尚无法驾驭的地震恶魔, 在本文的一些图件中却表现得如此温顺, 例如图 2 中 4 顶点的经纬度的完美对称性, 图 6 中 3 个相互正交的大圆, 图 15 中 a、b、c、d、e 简洁等间距的有序性, 以及更多存在着的直线性与圆弧性等, 似乎也透露出了如此难以把握的复杂地震, 竟也仍然有遵守自然界规律天意“简、美”的一面。

本文论及的诸多关于地震发震大尺度结构的信息, 虽尚不足以组建具有实用化足够精度的地震预测方案; 但是否已动摇地震根本不能预测的立论?

参考文献 (References)

[1] 许绍燮. 从汶川地震震前现象认识其发震动力应具有的大尺度与深

层次性[J]. 中国工程科学, 2009, 11(6): 16-18.
 Xu Shaoxie. *Engineering Science*, 2009, 11(6): 16-18.
 [2] 许绍燮. 17 世纪初泉州-琼山大震群发生的相关性与构造特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(1): 1-5.
 Xu Shaoxie. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2005, 25(1): 1-5.
 [3] 许绍燮, 沈佩文. 北京周围地区地震的分布特点与地壳屈曲 [J]. 地震学报, 1980, 2(2): 153-168.
 Xu Shaoxie, Shen Peiwen. *Acta Seismologica Sinica*, 1980, 2(2): 153-168.
 [4] 胡春峰, 许绍燮. 地震活动与构造屈曲[J]. 国际地震动态, 1989, 11: 1-7.
 Hu Chunfeng, Xu Shaoxie. *Recent Developments in World Seismology*, 1989, 11: 1-7.
 [5] 安镇文, 许绍燮. 菱形地震活动性图像与地层屈曲[C]//邢台地震 40 周年学术研讨会文集. 石家庄: 中国地震局, 河北省地震局, 2006: 96-98.
 An Zhenwen, Xu Shaoxie. Seismicity pattern with rhombus distribution and stratum buckling [C]//A Collection of Papers of Workshop on 40 Years Anniversary of Haicheng Earthquake. Shijiazhuang: China Earthquake Administration, Hebei Seismological Bureau, 2006: 96-98.
 [6] 许绍燮. 大尺度地层内的分层运动[J]. 中国工程科学, 2006, 8(6): 14-22.
 Xu Shaoxie. *Engineering Science*, 2006, 8(6): 14-22.

(责任编辑 朱宇)

本期九宫填数答案

3	6	5	2	7	9	4	8	1
9	2	8	1	4	5	6	7	3
7	1	4	3	6	8	5	9	2
6	5	3	4	9	2	7	1	8
2	9	1	8	5	7	3	6	4
4	8	7	6	3	1	2	5	9
5	7	2	9	8	3	1	4	6
8	3	6	5	1	4	9	2	7
1	4	9	7	2	6	8	3	5
4	5	9	3	6	7	1	8	2
7	8	3	2	9	1	4	6	5
6	1	2	8	5	4	3	9	7
2	6	1	5	3	9	8	7	4
3	9	4	7	2	8	5	1	6
5	7	8	1	4	6	9	2	3