

强地震活动的大尺度特征距离^{*}

杜先富 许绍燮

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘要 全球地震活动有 23° 左右的特征距离, 它表现在亚欧板块内中深震和深震集中分布在相距约 23° 的几个地区; 而 7 级以上浅源强震以中深震和深震集中点附近地区为端点形成 20 多度的活动条带; 环太平洋的岛弧链、火山、浅震、中深震和深震也都形成 20 多度的特征距离。

主题词 深源地震 强震 地震特征间距 岛弧 地震相关性

引言

地震活动可以呈现多种多样图象, 如块体、条带、网络、迁移和等间距分布等等。许多学者在地震活动的空间尺度方面做过工作。许绍燮和沈佩文(1980)收集整理了我国全部的 8 级地震, 发现强震具有优势分布, 每个强震的特定距离上都有地震相伴, 这种优势距离为 550 和 1 100 km。赵根模(1981)研究了我国板内大地震的时空关系, 得出大震间平均距离约为 1 060 km。高建国(1984)根据新的 7.5 级以上地震目录, 检验了强震的优势分布。新增加的点全在原有点所在的距离上, 结果完全支持许绍燮的优势分布距离。高建国还用美国大陆地震资料作了类似的验证, 美国强震的优势间距为 400~500 km。这种不同可能反映壳层构造的差别。在更大规模上, 朱岳清和邢如英(1985)把整个亚欧大陆 6 级以上地震活动进行谱分析。结果说明本区地震在南北向和东西向都有等间距分布特征。Mogi (1968)描述了全球性地震大范围迁移现象, 地震沿环太平洋地震带西南部和东南部以及沿苏门答腊—缅甸—甘肃—贝加尔 3 条地震带同时迁移, 地震相关跨度可达较大距离, 笔者注意到环太平洋西南部和苏门答腊—甘肃两迁移带约相距 $23^\circ\sim 27^\circ$ 。

我们在前面所述工作的基础上, 重新考察了全球地震的分布特点, 认为不仅存在 5° 的地震优势距离, 而且在更大尺度上, 强地震有 20 多度的特征活动距离。这种特征活动距离既表现在地震丛集的中心点之间形成特征距离, 也表现在地震沿特定长度的条块活动。

1 地震活动的大尺度特征距离

纵观全球地震分布, 可发现 23° 左右的特征距离普遍存在。亚欧板块上的深震在相距 20 多度的几个地区丛集, 在这几个丛集区以外没有深震; 而浅源强震以深震附近地区为端点, 展布成 20 多度长的活动条带; 环太平洋的岛弧链、火山、浅震、中深震和深震也形成 20 多度的活动尺度。下面分别讨论欧亚板块内和环太平洋地区地震的特征距离情况。

^{*} 国家地震局地球物理研究所论著 97A0059。
1996-06-24 收到初稿, 1997-03-10 收到修改稿并决定采用。

1.1 突出的欧亚板内中深震和深震分布

笔者根据《世界地震目录》(时振梁等, 1986), 整理了欧亚大陆(包括边缘地区)1900 年以来的中深、深震资料. 发现中深震和深震有等间距分布, 特征距离为 23° 左右, 整个欧亚大陆内中深震和深震较集中地分布在几个地区, 这几个地区中心点为: 吉林图们(43°N , 132°E)、台湾(23°N , 123°E)、缅甸西北(24°N , 95°E)、兴都库什(36°N , 70°E)、爱琴海(38°N , 24°E)和直布罗陀(37°N , 4°W). 1900 年以来 6 级以上中深震和深震的震中位置如图 1 所示.

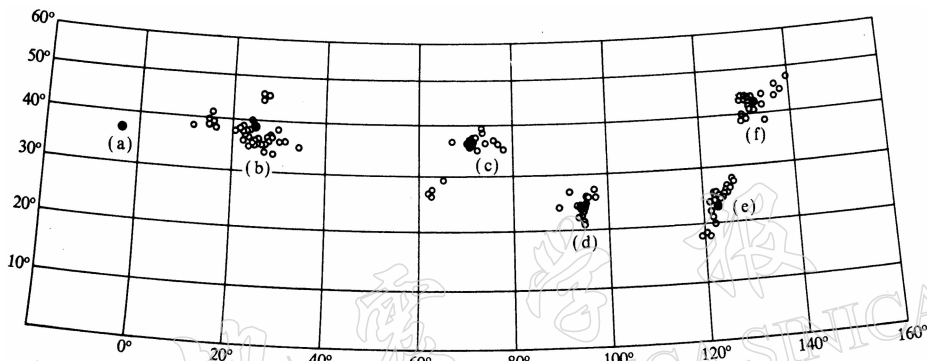


图 1 亚欧板内 6 级以上中深震和深震分布. 其中“·”为中心点
(a) 直布罗陀地区深震; (b) 地中海地区中深震; (c) 兴都库什地区中深震;
(d) 缅甸地区中深震; (e) 台湾地区中深震; (f) 吉林地区深震

中深震和深震间断地分布在上述几个地区附近, 在这几个地区外, 差不多没有中深震和深震发生. 每一个地区都有一个中、深震频度较高的小区, 例如兴都库什地区在点(36°N , 70°E)半度内, 发生了 90 多次中深震. 日本和台湾的中深震和深震因岛弧关系在南北方向有延伸; 地中海形成三足鼎立之势, 可能起因于多块板块相互碰撞. 为了求出各地区中深震和深震间的跨度, 先计算各丛集区的中心位置.

如果不考虑震级大小的影响, 就可以把每一个已确定经纬度的地震, 作为单位圆上已知方向角的矢量处理, 球坐标和直角坐标间关系

$$A = r \cos \varphi \cos \lambda \quad B = r \cos \varphi \sin \lambda \quad C = r \sin \varphi \quad \vec{r} = Ax + By + Cz$$

叠加所有的单位矢量, 得合矢量. 合矢量的方向就是要求各地震的中心方向, 这跟求质心的方法类似. 中心位置的经纬度(λ , φ)为

$$\tan \lambda = \Sigma B_i / \Sigma A_i$$
$$\tan \varphi = \Sigma C_i / \Sigma (A_i^2 + B_i^2)^{1/2}$$

已知两地方深震的中心位置纬度 φ 和经度 λ , 在球面上它们间的跨度 Δ 由下列公式计算:

$$\cos \Delta = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2)$$

各地方深震结果如下:

直布罗陀虽然只有一次 640 km 深度、7.1 级的深震, 但这地方远离其它中、深震区, 还有一些 5 级左右的中、深震, 因此将它当作独立深震区对待. 兴都库什和地中海相距较

表 1 欧亚大陆中深震和深震

地 区	中 心 位 置		次 数	跨度/(°)
	φ	λ		
吉林图们	42.68°N	131.80°E	17	
台湾	23.14°N	122.90°E	40	20.9(吉, 台)
缅甸西北	24.13°N	94.67°E	22	25.8(台, 缅)
兴都库什	36.08°N	69.80°E	104	24.5(缅, 兴)
地中海	38.63°N	24.39°E	57	
直布罗陀	37.0° N	3.60°W	1	23.1(爱, 直)

远, 其中间的伊朗地区有一些较小震级的深震. 由于选用的是 6 级以上深震, 没有进行统计计算. 伊朗地区距兴都库什和地中海都差不多 20 多度.

中深震和深震平均跨度 23.58°, 结果说明中深震和深震具有 23°左右的等间距分布. 中深震的集中点非常接近浅源大地震的丛集中心.

1.2 亚欧板内强震活动的特征条块

整个亚欧板块 7 级以上浅震分布如图 2. 地震资料取自《世界地震目录》, 总共有 275 次地震. 在板内, 华北、云南、新疆、俄罗斯-蒙古边界、伊朗和地中海等地区构成了地震活动的格局, 强震活动形成 20°~25°距离的条块, 在条块的两端和交叉区, 地震活动较密集. 华北地区有 6 次 7 级以上地震, 它的周围没有 7 级以上地震; 云南和缅甸地区的地震相当多, 地震活动朝北延伸到俄罗斯和蒙古交界附近, 构成了著名的南北地震带; 朝西北方向一直到中国新疆-俄罗斯边界都有地震活动. 云南地区地震分布朝南发展, 经缅甸、苏门答腊到班达岛, 形成了一个圆弧; 俄-蒙地区至中国新疆-俄罗斯地区有不少 8 级以上地震, 其中中国新疆-俄罗斯边界有一个地震密集区, 地震的分布走向直到伊朗地区才转向西北, 形成伊朗至地中海地区的活动条块; 直布罗陀附近也有几次强震. 如果暂不考虑俯冲带上的地震, 我们可以较清楚地看到亚欧板块的大地震构成了下列格局:

华北、云南、俄-蒙边界、中国新疆-俄罗斯边界、伊朗和地中海几个地区构成了板内强震活动条块的端区, 相邻端区间的跨度在 20°~25°间.

在台湾至日本的岛弧上, 台湾地区、日本本州—北海道附近 7 级以上地震都很密集, 这两密集区的间距为 20°~25°. 另外, 台湾至云南地震密集区、日本至华北地震丛集区的

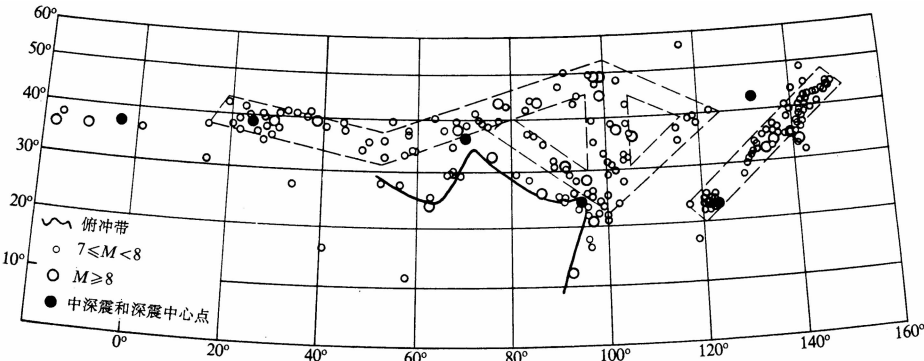


图 2 亚欧大陆 7 级以上浅震分布

间距都是 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$.

亚欧大陆的地震活动在 7 级以上地震的分布中显示出长度特征,地震活动条块具有 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的特征长度,地震在条块两端发生较多,而且端区的地震有良好的相关性.许绍燮对比了位于同一条块两端的华北和川滇地区的地震活动,取 1800 年以来 $M\geq 6.0$ 地震资料作出对比图.对比图表明:两间距 23° 地区地震的活动高、低潮同步得很好;震级大小也相当.

1985 年 8 月乌恰发生 7.4 级地震后,王桂岭和敖雪明(1988)根据乌恰所在的 B 区和滇区、川区相关性,预测几年内滇区有强震发生,进而川区发生地震.1988 年 11 月 6 日澜沧-耿马发生 7.6 级地震,1989 年 4 月 16 日巴塘发生 6.7 级地震,这一预报是成功的.喜马拉雅弧东、西两端的滇区、B 区可以作为我国西部强震活动的“窗口”,在每一地震活动期, B 区先发生强震,随后 2~3 年内,滇区相继发震.这两成丛区地震具有相关性,它们的间距是 23° 左右.

吴佳翼等(1979)发现日本海沟与华北地区地震在时间、强度和震中迁移上都有相关性.一般是,日本海沟先发生 7~8 级地震,接着在日本海西部发生 $h\geq 300$ km 的深震,随后华北地区发生 $M\geq 6$ 的强震.从 1926 年至今,日本海沟地震活动中心向北漂移了 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$.与此同时,我国华北地震活动也以相同速率向北迁移.这两相关区的间距也是 23° 左右.

从以上所述可以看出,条块两端的丛集区都具有北东向或北西向的相关,相关距离为 23° 左右.中国及邻近地区的相关资料较丰富;台湾和日本丛集区北东向联系属于后面要讨论的岛弧问题;欧洲两丛集区相关资料缺乏.强震活动形成 23° 左右的条块,在条块的端区地震丛集,丛集区之间具有相关性.

国家地震局地质研究所邓志辉(1992)研究了全国 7 级以上和全球 1900 年~1980 年 7 级以上强震资料.时间上相继发生的 3 个地震分别为 A, B 和 C,它们在空间上构成平面三角形, ABC 平面与地球切割,所成球冠高度 H .对 H 值进行分档统计,分档距离为 ΔH .不同地区的地震资料或不同的 ΔH 值,统计的 H 值分布形式会有所差异,但结果的基本形式是不变的:它们都有一个相似的优势区间.例如取分档值 $\Delta H=40$ km 时,全国 7 级以上地震和全球 7 级以上地震都是在 $H=120\sim 160$ km 时取得优势,如图 3 所示.

参照所给优势 H ,我们求优势深度 H 所确定圆 ABC 的直径.120 km 对应的半径 $r=1\,230$ km(取地球半径 $R=6\,370$ km),所得直径 2 460 km;160 km 深对应直径 2 837 km.地震优势分布在直径 $22.2^{\circ}\sim 25.7^{\circ}$ 的圆弧内,正是我们所求的特征尺度.这从另一角度支持了我们的观点,即地震活动具有 23° 左右的优势分布.

中深震和深震更清楚地展现了地震活动 23° 左右的等间距分布.中深震和深震的中心点靠近浅震活动条块的端区,也是强震的丛集区.中深震是否控制着浅源大地震的格局,有待进一步研究.深震与浅震有一定相关性.

吉林图们深震和华北地区浅震的关系,一般是深震发生后,引起华北发生地震.吉林图们的深震,偏离华北地区较大.深震、日本海沟地震和华北地震具有相关性.罗平和陈立德(1981)研究了缅甸中深震和滇西浅震的相关性.缅甸中深震和滇西地震有对应的活动期,每一活动期,一般是缅甸中深源地震带先开始活动,1~3 年后,滇西开始活动.缅甸发生 $M\geq 6$ 地震后一年内,滇西发生 $M\geq 5$ 地震.因此,中深震等间距分布和浅源大地震以同等间距丛集现象,有其内在、不可分割的联系.

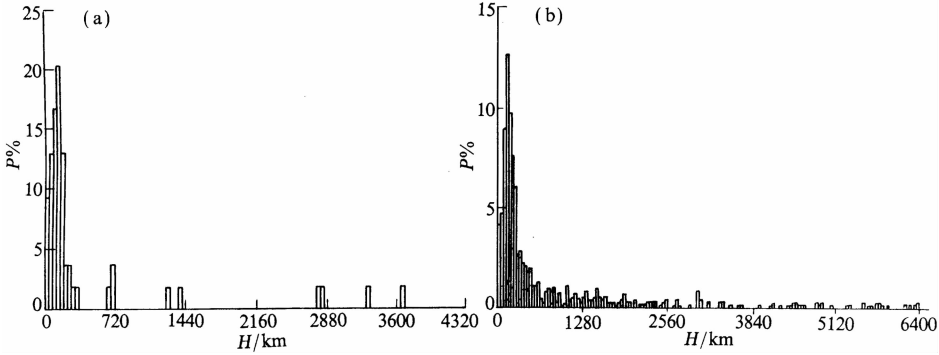


图 3 7 级以上强震 H 值分布

(a) 中国大陆(除台湾外)(96 个事件); (b) 全球(1900 年以后 804 个事件)

欧亚板内大地震和中深、深震以特征距离活动,描绘出一幅地震活动的图象:中深和深震以 23° 的特征距离分布于几个集中地区;浅源大地震形成活动条块,条块两端的强震丛集在中深和深震聚集点附近,相邻成丛区具有良好的相关性。

1.3 环太平洋的弧状构造

1.3.1 概论

我们知道,全球地震大都发生在环太平洋地震带上,只有 24% 的地震能量洒落在它之外。环太平洋地震带是全球地震活动的主体,这一地区地震基本上表现为地震沿海沟、岛弧分布,因此首先回顾一下岛弧及其地震特点。

环太平洋的弧状构造具有典型的下列性质(Gutenberg, Richter, 1954): ① 陆外渊; ② 浅震和负重力异常; ③ 正重力异常和深震; ④ 岛弧、活火山和不同深度的深震带。其中负重力异常为地幔回流上升结果。环太平洋的岛弧、海沟和火山带有相似的曲线。相比之下,环太平洋弧形构造带西部比东部要复杂和活跃得多。西部的弧形明显,岛弧、弧后盆地、海沟和火山配置齐全,岛弧系列丰富多变;东部弧形平滑,构造简单,地震活动不如西部活跃,特别是北美洲海沟地带。东部的岛弧较少,主要是弧形的造山带和海沟,虽然有少数其独特的性质,比如任何岛弧系列都低的 b 值;但是,北美洲西南部和南美洲有和岛弧相同的性质,在许多方面类似岛弧(Santo, 1969),比如 6 km 深的海沟,深震的震源分布及相伴的年轻火山,以及都是板块间俯冲作用结果。因此,我们把它归入岛弧问题一并讨论。

1.3.2 环太平洋地区的特征距离

1.3.2.1 构造的等间距

从大范围看,环太平洋弧形结构有差不多一致的跨度。从阿拉斯加半岛经阿留申群岛到堪察加半岛;从堪察加到日本;再往南,从日本到台湾;从台湾到菲律宾群岛南端;随着岛弧再往东,到达新几内亚岛东端的拐点;继而停留在新赫布里底群岛上;在其东面,萨摩亚群岛、汤加群岛和克马克德克群岛也形成一段弧线;环太平洋的东部弧形构造也具有相同的跨度,阿拉斯加、美国的加利福尼亚、墨西哥的科连特斯角、巴拿马以及秘鲁,是弧段的落点。

虽然我们一目了然看到上面的拐点组成的弧状链有相近的跨度,但要刻度这个事实有

困难. 不仅由于有些弧形转折点的平滑, 而且岛弧系列相互碰撞导致构造的不清晰, 以及其它原因引起岛弧变形, 这一切都使得精确确定弧形拐点变得困难. 幸好环太平洋丰富的活火山遍及弧形构造, 表现着岛弧曲线的细微变化. 图 4 是环太平洋系列火山分布图. 在拐点附近, 火山链的走向发生较大变化, 或者火山链终断, 同时拐点附近的火山较密集. 火山链体现出弧形构造的大体面貌, 因此用火山位置作为一个弧段起始的坐标. 火山的经纬度数据取自 Gutenberg 和 Richter(1954)的书. 表 2 是火山拐点坐标和计算出的跨度值. 智利一点的取值, 虽然在 52°S 附近有两座火山, 但考虑到地震在 46°S 以南消失, 这两座火山又远离密集的火山链, 接近弧形链的断裂开口处, 情况特殊, 因此取密集火山链的终点. 从表 2 数据可以看出, 岛弧和弧形构造具有相近的约 20° 的跨度.

地震沿岛弧分布, 构造跨度相同也就意味着环太平洋的地震形成了有特征距离的弧状分布. 在拐点附近, 差不多都有 8 级以上地震发生, 图 5 是 8 级浅源地震分布图. 8 级地震间断地沿岛弧分布, 而 6~8 级地震密集将整个岛弧系列填充起来.

1.3.2.2 环太平洋地区的中深震和深震

地震随构造表现出了它的特征距离, 中深震和深震在环太平洋带上没有连续分布, 它的出现与海沟、岛弧密切相连. 中深震从阿拉斯加到墨西哥丧失其踪迹, 然后从墨西哥高原经过漫长的向南延伸, 最后跟浅震一起消失在智利 46°S 左右. 在太平洋彼岸新西兰, 中深震和深震没有向浅震一样继续伸长, 而是中止在特定位置. 虽然中深震和深震断断续续出现, 但它们也有一定的特点. 图 5 示出了这些中深震和深震的端点.

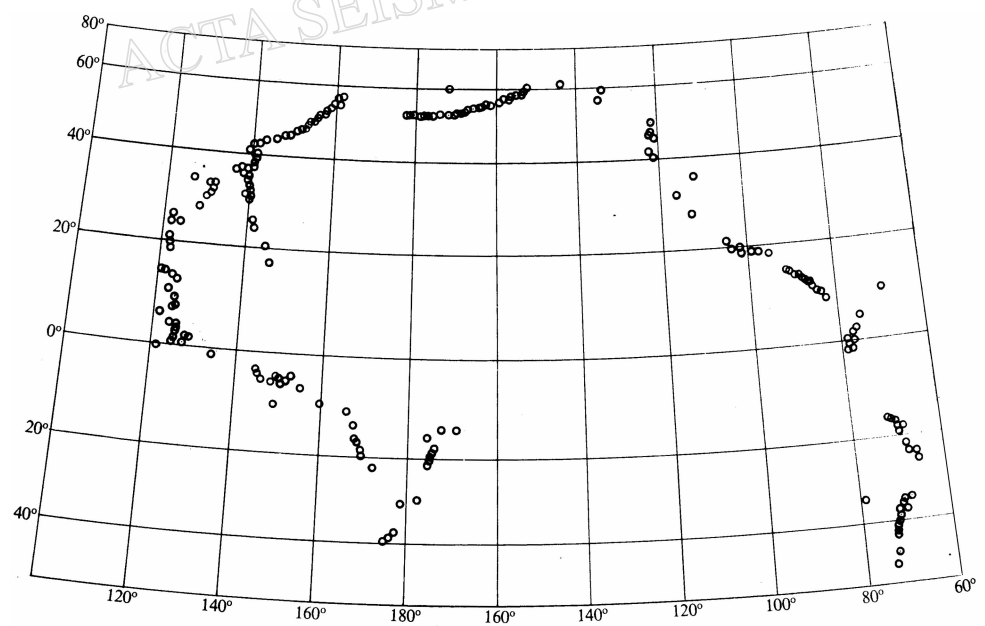


图 4 环太平洋活火山分布

从《世界地震目录》中选出环太平洋地震弧段的端点, 我们可以计算出中深震和深震的跨度. 弧端的中深震资料如表 3 所示, 我们的选点是地震带拐点处最突出点或终止点.

表 2 火山坐标和跨度

拐点位置		地 区	跨度/(°)
$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$		
39.26 S	175.55E	新西兰	
13.60 S	172.70W	萨摩亚群岛	27.7(新, 萨)
22.28 S	172.10E	新赫布里底群岛	
4.40 S	152.47E	新爱尔兰岛	26.1(新, 新)
0.33 N	127.41E	菲律宾群岛	25.5(新, 菲)
24.00 N	121.80E	台湾	24.3(菲, 台)
41.50 N	139.35E	日本	22.8(台, 日)
56.66 N	161.32E	堪察加半岛	20.7(日, 堪)
60.4 7N	152.75W	阿拉斯加半岛	23.8(堪, 阿)
41.41 N	122.20W	加利福尼亚	26.6(阿, 加)
19.42 N	103.72W	墨西哥	27.0(加, 墨)
8.80 N	82.50 W	巴拿马	23.1(墨, 巴)
9.75 N	69.77 W	委内瑞拉	
16.17 S	70.78 W	秘鲁	25.9(委, 秘)
43.18 S	72.77W	智利	27.1(秘, 智)

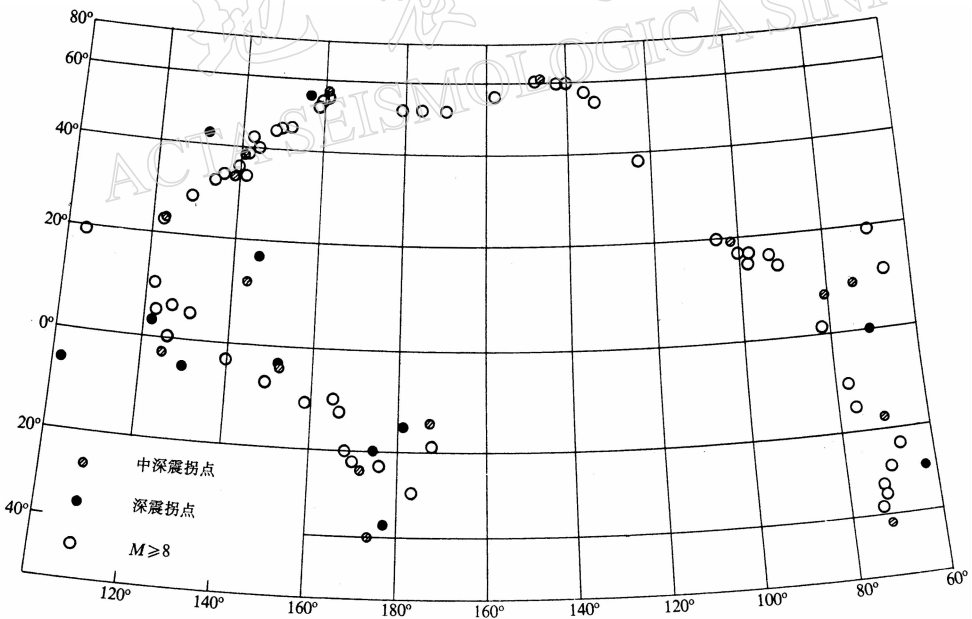


图 5 环太平洋 8 级以上地震分布

深震只在少数几个地区才有，它们的分布偏离岛弧较大。斐济—新西兰的深震基本连续分布；而新赫布里底—新爱尔兰的深震断断续续发生；从新爱尔兰到菲律宾群岛弧段中间没有深震，直到马鲁古群岛北面、菲律宾群岛南面才出现较集中的深震；从堪察加半岛到中国东北，穿过日本到马里亚纳群岛，有两条深震弧；另外，努沙登加拉群岛—爪哇岛—苏门答腊岛—安答曼群岛系列岛弧内，深震一半有、一半没有，中深震整个系列都有；

在环太平洋西部，从哥伦比亚到阿根廷有一条长长的深震带，深震的选点如表 4 所示。

表 3 弧端的中深震

日 期 年-月-日	震中位置		深度/km	震级	地区
	$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$			
1931-07-20	14 S	173 W	80	6.5	萨摩亚群岛
1949-02-09	39.75 S	174 E	170	6.2	新西兰
1918-09-30	24 S	171.5 E	80	6.7	新赫布里底
1932-04-12	4 S	152 E	100	6.7	新爱尔兰
1929-12-27	3 S	125 E	230	6.5	苏拉威西岛
1957-02-23	23.9 N	121.6 E	70	7.2	台湾
1937-07-26	38.5 N	141.5 E	90	7.1	日本
1955-02-13	56.2 N	160.5 E	160	6	堪察加半岛
1934-05-04	61.25 N	147.5 W	80	7.2	阿拉斯加
1925-08-07	19 N	102 W	100	6.7	墨西哥
1951-01-06	7.5 N	80.5 W	90	6.9	巴拿马
1911-04-10	9 N	74 W	100	7.2	哥伦比亚
1948-05-11	17.5 S	70.25 W	70	7.3	秘鲁
1971-05-08	42.2 S	71.7 W	151	6	智利
1905-10-24	34 N	139 E	250	7.2	日本
1939-11-09	12 N	143.5 E	90	6.5	马里亚纳群岛

中深震、深震弧段的跨度结果计算如表 5 所示，12 个弧形构造，平均跨度 24.5° ；10 个中深震弧段，平均跨度 25.1° ；8 个深震段，平均跨度 26.7° ，深震的跨度要大一点。

表 4 弧端的深震

日 期 年-月-日	震中位置		深度/km	震级	地区
	$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$			
1911-04-28	0	71 W	600	7.1	哥伦比亚
1912-12-07	29 S	62.5 W	620	7.5	阿根廷
1920-05-10	5 S	130 E	370	6.5	努沙登加拉
1953-05-17	5.8 S	102.2 E	300	6	爪哇岛
1956-05-23	15 S	179 W	430	7.5	斐济
1953-09-29	36.9 S	177.1 E	300	6.9	新西兰
1965-10-01	19.9 S	174.5 E	546	6.3	新赫布里底
1956-01-31	3.5 S	152 E	400	7.1	新爱尔兰
1907-03-29	3 N	122 E	500	7.2	菲律宾南
1924-01-21	55 N	156.5 E	340	7.0	堪察加
1905-08-25	43 N	129 E	470	6.8	吉林图们
1931-10-29	17 N	146 E	520	6.5	马里亚纳

无论是浅震随弧形构造以等间距勾画曲线，或是中深震间断地沿环太平洋组合出弧段，还是深震虽然偏离构造仍表现出特征距离，它们都表现出 20 多度的特征距离。欧亚板内的地震跟这一特征距离相联，环太平洋地震带具有相同尺度的弧形分布，欧亚大陆的几个丛集区还有良好的相关性。我们考虑的对象基本上包括了世界上全部的中深震和深震以及 90% 以上的浅震。因此，全球地震活动具有 23° 的特征尺度。

表 5 火山、中深震和深震跨度表

地 区	构造(浅震)/(°)	中深震/(°)	深震/(°)
汤加-新西兰	27.73	25.76	21.97
新赫布里底-新爱尔兰	26.09	27.44	27.39
新爱尔兰-菲律宾	25.48	26.97	30.68
菲律宾-台湾	24.28	27.10	
台湾-日本	22.80	22.33	
日本-堪察加	20.73	22.08	
日本-马里亚纳		22.37	
堪察加-阿拉斯加	23.86	26.8	
阿拉斯加-加利福尼亚	26.64		
加利福尼亚-墨西哥	20.73		
墨西哥-巴拿马	23.12	23.8	
哥伦比亚-秘鲁	25.94	26.76	
秘鲁-智利	27.06		24.73
哥伦比亚-阿根廷			30.1
堪察加-吉林			21.45
吉林-马里亚纳			29.74
努沙登加拉-爪哇岛			27.68

2 结论

全球浅源强震、中深震和深震活动形成 23°左右的特征距离.

(1) 亚欧板内 6 级以上中深震和深震集中分布在吉林、台湾、缅甸、兴都库什、地中海和直布罗陀几个地区, 相邻地区跨度从 20.9°到 25.8°.

(2) 亚欧板内的 7 级以上浅源强震分布形成条块. 条块跨度为 20°~25°, 在条块两端地震丛集. 中深震和深震集中点在条块两端丛集区附近.

(3) 环太平洋地震带的地震沿弧形构造分布, 勾画出 23°左右起伏的弧段. 浅震、中深震和深震都形成了 20 多度的活动距离. 浅震的平均跨度 24.5°, 中深震的平均跨度 25.1°, 深震的平均跨度 26.7°.

参 考 文 献

邓志辉, 1992. 地震活动非线性特征的研究及其在地震预报中的应用. 国家地震局地质研究所博士论文. 11~20

罗平, 陈立德, 1981. 缅甸地震与我国云南西部地震的相关性. 地震研究, 4(1): 87~93

高建国, 1984. 以新的七级半以上地震目录探讨地震间距的优势分布. 西北地震学报, 6(2): 44~52

时振梁, 赵荣国, 王淑琴, 等, 1986. 世界地震目录 1900~1980(M>6). 北京: 地图出版社. 1~412

王桂岭, 敖雪明, 1988. 我国西部及邻区强震活动的某些特征. 西北地震学报, 10(2): 29~34

吴佳翼, 郁曙君, 何淑韵, 1979. 华北地震同日本地震的相关性. 地球物理学报, 22(4): 414~438

许绍燮, 沈佩文, 1980. 北京周围地区地震的分布特点与地壳屈曲. 地震学报, 2(2): 153~167

赵根模, 1981. 我国板内大地震之间的一种联系-诱发作用. 地震研究, 4(3): 253~265

朱岳清, 邢如英, 1985. 亚欧大陆地震活动的空间谱分析. 地球物理学报, 28(1): 40~52

Gutenberg B, Richter C F, 1954. *Seismicity of the Earth*. New Jersey: Princeton University Press. 289~303

Mogi K, 1968. Migration of seismic activity. *Bull Earthq Res Inst*, 46: 53~74

Santo T, 1969. Characteristics of seismicity in South America. *Bull Earthq Res Inst*, 47: 635~672