第 8 卷 第 2 期　　地 震 学 报　　Vol. 8, No. 2
1986 年 5 月　　ACTA SEISMOLOGICA SINICA　　May, 1986

全球强震活动性的某些统计特征

傅 征 祥
(国家地震局分析预报中心)

摘　　要

根据阿部胜征新近研究和发表的均匀化全球大地震目录(1897—1980)，获得如下几点关于全球强震活动性统计特征的初步认识：(1)本世纪六十年代中期之后，全球活动处于相对平静的阶段；(2)在全球活动高潮时段中 b 值偏低，大陆地震区的 b 值偏低；(3)据聚类分析方法研究序列的结果，全球不同的地震区内，存在几十年尺度的强震活动高潮幕和平静幕交替出现的现象；(4)北半球大陆浅源强震活动的空间分布和地球自转速率的变化特征有关．上述特征对估计全球和不同地震区的地震活动趋势可能有参考意义．

一、引　　言

Gutenberg 和 Richter 在他们著的"全球地震活动性及其相关现象"一书中[1]，根据 1899 年至 1952 年全球强震活动的仪器记录资料，编集了一份目录(以下简称 G-R 目录)，系统地研究了全球强震活动的时空分布特征，即主要按照全球强震活动的地理分布连续性和密集性，划分出主要的地震带，逐个研究其活动特征，以及有关的地球物理、地质构造和地震力学等方面的问题．在其后至今的几十年间，新的强震活动陆续提供着地球活动的信息．Duda 和 Båth 等先后在 1965 年和 1979 年续编或新编了一份 1897—1977 年的全球强震目录(以下简称 D-B 目录)[2,3]．新编入 D-B 目录中的地震包括按照 1897—1903 年间无阻尼 Milne 地震仪记录确定的强震，以及据瑞典 Uppsala 台的资料测定的 1904—1917 年间的许多大地震．这样，据 D-B 目录，在 1897—1977 年间，发生七级以上地震 1498 次，其中八级以上为 151 次．但是，该目录的震级标度是不统一的[2,3]，无疑会影响对全球地震活动性的客观了解．

阿部胜征等[4,5,6]按照 Gutenberg 和 Richter 给出的面波震级 M_S 和宽频带体波震级 m_B 的原始定义，以及他们未曾发表的工作笔记中地震波分析的振幅、周期和全球台网的通报等资料，还进行了对 1897—1903 年间无阻尼 Milne 地震仪放大倍数的研究，并仿造这些仪器作对比观测，在这些工作基础上重新测定和整理了一份统一以 M_S 和 m_B 为标度的全球地震目录．它包括 1897—1980 年间的全部七级以上和部分六级以上的浅源($h<70$km)，1904—1980 年间的中深源强震．这份称为均匀化的目录，包含七级以上强震 1178 次，其中八级以上地震为 48 次．阿部还指出，均匀化目录中七级以上的地震只是在

本文 1984 年 7 月 25 日收到，1985 年 4 月 26 日收到修改稿．

http://www.dizhenxb.org.cn

1899 年之后才是完全的，这样，在 1899—1980 年间全球发生浅源强震（$M_S \geqslant 7.0$）共 823 次，中深源强震（$m_B \geqslant 7.0$）共 360 次.

以上指出的三份目录，在地震发生时刻和地点测定上也略有差别.

本文将根据阿部的均匀化目录，初步讨论上世纪末以来全球强震活动性的某些统计特征，以及由于震级均匀化带来的变化等有关问题.

二、全球强震活动的空间分布

1. 不论是 G-R 目录（1904—1952），D-B 目录（1897—1977），还是阿部的均匀化目录（1897—1980），虽然包含的时间长短不同，但它们分别给出的全球强震活动地理分布总格局，并没有明显的差别. 即全球浅源强震主要集中在环太平洋和欧亚大陆地区（带）内，中深源地震几乎全部集中在环太平洋带上，只是在北美大陆濒临太平洋的地段（20°—60°N）空缺中深源地震，显得不连续. 这样的分布图象可参见文献[1].

2. 文献[1]根据震中分布的连续密集性，认为全球可划分为三个主要地震带：环太平洋地震带；地中海和横贯欧亚地震带以及北极圈和大西洋地震带. 由于地震活动是地球构造运动的表现之一，一些地学工作者试图把构造带和地震带统一起来. 例如按照全球板块构造学说，全球地震活动区分为三种分布，称之为板间地震、板内地震和洋脊地震[7]. 文献[8]认为存在一个全球尺度的北半球大陆构造系统，则相应存在一个地震带，它包括欧亚大陆和北美大陆的一个纬向地带. 这样，全球强震（1899—1980）活动分布情况在表 1 中给出. 它表明环太平洋地震带的活动最强烈，但是，最大的地震发生在大陆内部.

表 1 全球主要地震带强震频度（N）统计表（1899—1980）

Table 1 Number of strong earthquakes in the main seismic zones of the earth (1899—1980)

地震带 \ N, M_S, m_B	浅源地震（$h<70$km）				中源地震（$h=70-300$km）				深源地震（$h>300$km）			
	N ($M_S \geqslant 7.0$)	$\frac{N}{\Sigma N}$(%)	N ($M_S \geqslant 8.0$)	M_S (max)	N ($m_B \geqslant 7.0$)	$\frac{N}{\Sigma N}$(%)	N ($m_B \geqslant 8.0$)	m_B (max)	N ($m_B \geqslant 7.0$)	$\frac{N}{\Sigma N}$(%)	N ($m_B \geqslant 8.0$)	m_B (max)
环太平洋地震带	622	75.6	34	8.5	261	92.2	1	8.1	76	98.7	0	7.7
北半球大陆地震带	138	16.6	9	8.6	21	7.4	0	7.6	1	1.3	0	7.0
洋脊地震带	30	3.7	0	7.9	1	0.4	0	7.0	0	0	0	
其它	33	4.1	2	8.2	0	0	0		0	0	0	
总和	823	100	45		283	100	1		77	100	0	

3. 全球不同深度的强震频度分布见图 1. 该图按 70km 的间隔求和绘成，它表明频度随深度加大而减少. 在深源地震（大于 300km）部分，频度随深度而变化的倾向变得不明显. 这样的分布可能提示地球内部不同深度上的应力状态和介质性状有区别.

三、全球强震活动的时间进程和地震高潮期

如上所述，虽然由不同的地震目录刻划的全球强震活动，其空间分布总貌没有显著的

http://www.dizhenxb.org.cn

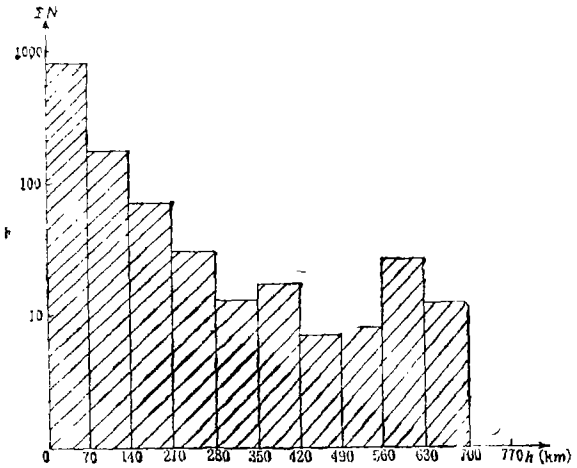

图 1　全球强震活动频度随深度变化图（1899—1980；$M_S \geqslant 7.0$，$m_B \geqslant 7.0$）

Fig.1　Global number of shocks at various depths

差别，但是，地震强度随时间的变化过程却出现迥然不同的形态，导至对全球活动形势的重新估计。

根据上述三份目录，图 2 分别绘出其八级大地震频度随时间的变化曲线。由 G-R 和 D-B 两份资料，可以区分出上世纪末以来，全球经历过两次频繁活动的高潮期：（1）1897—1906 年的十年高潮活动时段，此间共发生 37 次八级以上的大地震（平均每年 3.7 次）；

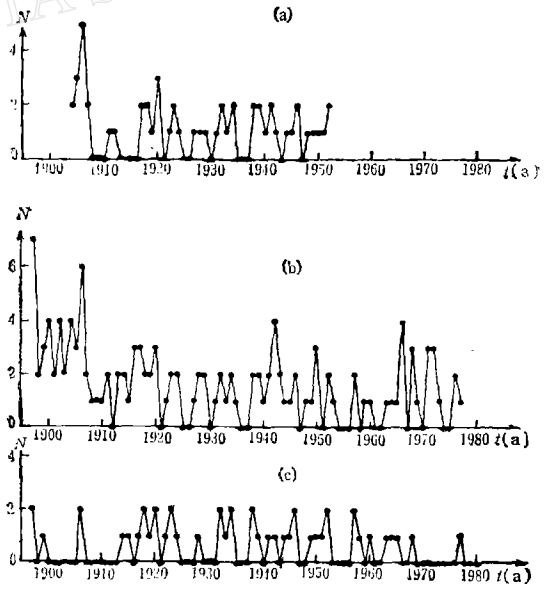

图 2　全球浅源大地震（$M \geqslant 8.0$）频度随时间的变化曲线

Fig.2　Temporal change in global number of large shallow shocks($M \geqslant 8.0$)

(a) 据 G-R 目录(1904—1952)　(a) From Gutenberg-Richter's catalog(1904—1952)

(b) 据 D-B 目录(1897—1977)　(b) From Duta-Bath's catalog(1897—1977)

(c) 据阿部目录(1897—1980)　(c) From Abe's catalog(1897--1980)

http://www.dizhenxb.org.cn

(2) 1966—1977 年的十二年高潮活动阶段，此间共发生八级以上大震 22 次(平均每年 1.8 次)．在 1907—1965 年间，认为是相对平静期，平均每年发生 0.9 次．以上的高潮期划分已被一些学者引用去讨论有关的问题[9]．

根据阿部等的均匀化目录绘出的曲线 [图 2(c)]，在上述两次"高潮期"时间内，八级以上大震活动水平却是最低的，均匀化目录的高潮期出现在 1920—1950 年间前后的时间内．图 3 给出按阿部目录的七级以上浅源大震的能量释放曲线，它同样说明在本世纪开始前后 (1899—1917)和六十年代中期之后 (1966—1980) 这两个时期内，能量释放的速率相当慢，分别为 104.6PJ/a 和 88.8PJ/a；而在 1920—1950 年间速率达到 215PJ/a，全球本世纪以来两次最大的地震(1920 年 12 月 16 日，$M_S = 8.6$，中国宁夏海原；1950 年 8 月 15 日，$M_S = 8.6$，中国西藏察隅)发生在这期间中．

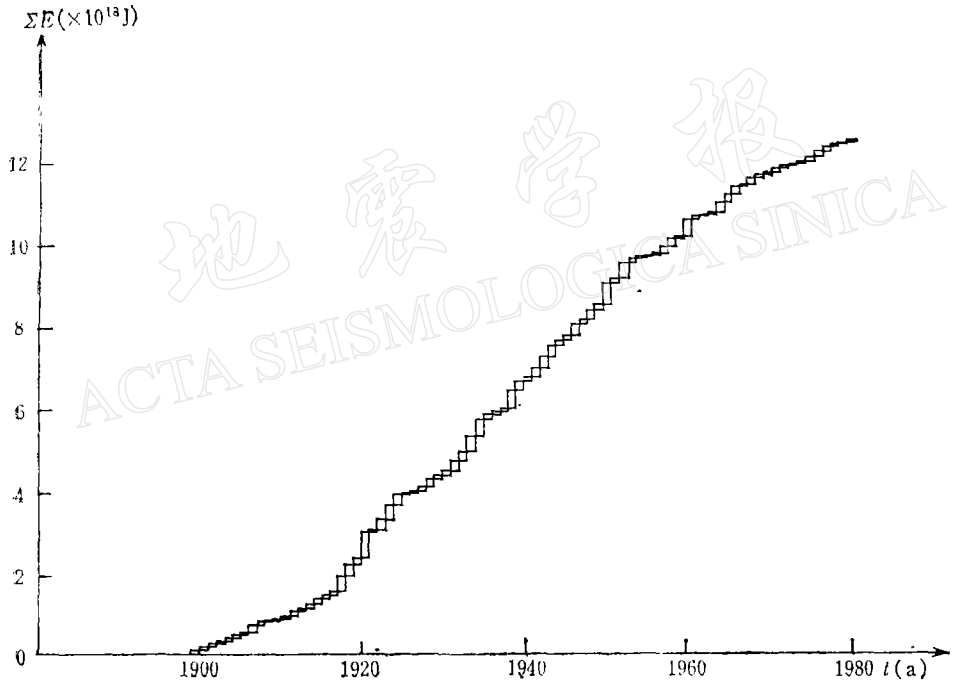

图 3 全球浅源大震 ($M_S \geqslant 7.0$) 的能量释放曲线(据阿部目录)
Fig.3 Temporal change in energy released by large shallow shocks ($M_S \geqslant 7.0$) all over the earth (from Abe's catalog)

我们认为，阿部的震级均匀化目录可能相对可靠和客观地反映本世纪以来全球强震活动的时间进程．假如全球地震活动确实存在相对活动和相对平静的起伏交替进程，那么，目前全球强震活动处于相对平静的阶段．这是和 G-R，D-B 目录引出的结果完全相反的．

四、全球强震活动的重复特性

根据文献[1]的研究，全球或一个地震区内地震强度和频度之间，满足如下经验关系：

http://www.dizhenxb.org.cn

$$\lg N(M) = a - bM.$$

式中 $N(M)$ 为研究地区中一定期间内发生震级为 $M + \Delta M$ 的地震频度．参数 a 表示地震总体的活动水平，b 表示大小地震之间的比例关系．根据观测的M和N的资料，应用最小二乘法获得其回归曲线，称为地震活动的重复性曲线．

对于浅源强震，我们按全球总体和不同的地震带计算重复性曲线及其参数，结果表明北半球大陆地震带的 b 值偏低（表 2）．

为了比较不同深度地震的重复特性，统一以 m_B 震级标度，计算了全球浅、中和深源地震的重复性参数（表 2），结果说明，它们之间的 b 值差别不明显．

表 2　全球地震活动频度和震级关系曲线参数 a, b 和标准差 σ

Table 2 Parameters a, b and standared deviation σ of curve of relation between number and magnitude of earthquakes all over the earth

a, b, σ \ 地震带		全球浅震 ($M_S \geq 7.0$)	环太洋带浅震 ($M_S \geq 7.0$)	北半球大陆带浅震 ($M_S \geq 7.0$)	全球洋脊带浅震 ($M_S \geq 7.0$)	全球浅、中、深震总和 ($m_B \geq 7.0$)	全球浅震 ($m_B \geq 7.0$)	全球中源震 ($m_B \geq 7.0$)	全球深源震 ($m_B \geq 7.0$)
按非累计频度计算	a	11.10	10.45	7.96	7.22	14.47	15.39	15.09	15.14
	b	−1.25	−1.18	−0.94	−0.93	−2.10	−1.83	−1.87	−1.95
	σ	±0.15	±0.13	±0.21	±0.32	±0.22	±0.17	±0.09	±0.25
按累计频度计算	a	14.09	13.77	11.15	11.87	20.26	19.44	19.25	20.92
	b	−1.57	−1.54	−1.27	−1.49	−2.41	−2.32	−2.37	−2.69
	σ	±0.16	±0.16	±0.08	±0.13	±0.17	±0.19	±0.10	±0.17

茂木在评述 b 值大小的含义时指出[9]，低 b 值也许说明区域应力水平高．这样，是否意味着陆壳的应力水平高？当然，还须其它资料旁证．另外，我们还计算了在第二节中指出的全球地震高潮期的 $b = -1.13$；由其它两个平静期资料计算的 $b = -1.34$．即全球高潮期的 b 值偏低．

五、全球强震活动幕划分（据聚类分析）

许多地震学家都指出，无论在全球范围内，还是在地震分区（带）中，地震活动过程是有起伏的，即存在活动时段和平静时段交替出现的过程．它们的尺度有长有短．文献[10]把百年尺度的称为地震“活动期”，相应十年尺度的称为“活动幕”．茂木指出，在亚洲板块和澳大利亚板块边界上，$M \geq 7.7$ 级地震的活动幕和平静幕，以约二十年左右的尺度反复交替出现[9]．这是一个著名的归纳．

本节中以阿部的浅源地震目录为基础，探讨一些地区自本世纪以来地震活动幕的性质．为了较为合理和客观地划分活动幕，应用了模式识别中的聚类分析法去处理资料．由于一个地区的地震序列可看作是一列有序样品，在研究地震发生密集和稀疏（相应活动时段和平静时段）的特征时，地震发生次序是不能打乱的．所以，采用有序聚类分析较为合适，其中的最优分割法能对有序样品分段，而达到各段内部的差异最小，段与段之间的差异达到最大的目的[11]．文献［12,13］已分别应用聚类分析对中国大陆及某些分区的地震

http://www.dizhenxb.org.cn

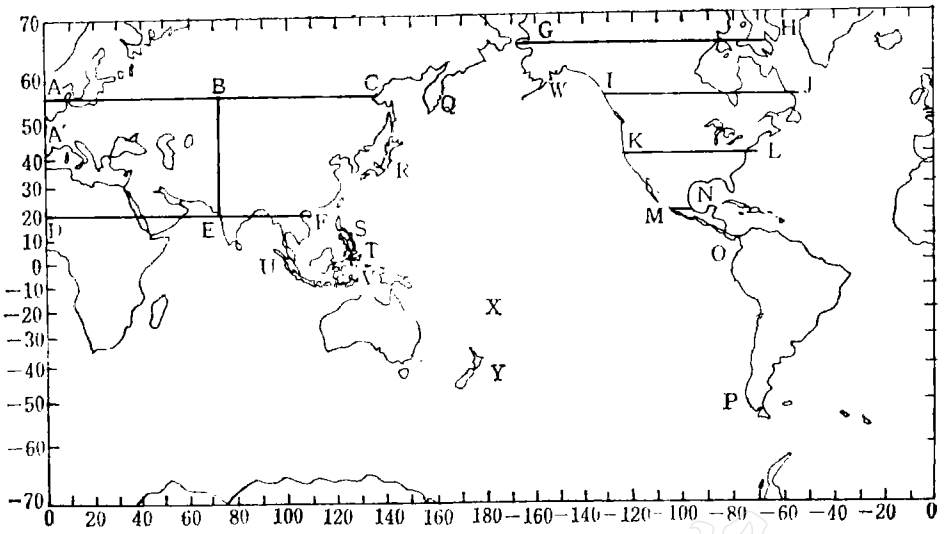

图 4 全球浅震活动序列研究分区(带)示意图(说明见正文)

Fig. 4 Outline of boundary of the earth's shallow shock countries

活动期进行划分。本文将不再引述该方法的原理。

考虑到全球不同地区地震活动和地震构造等的某些特征,将全球地震带划分为 10 个区(图 4),其编号、命名和研究时的起算震级如下:

(1) 北半球大陆地震带亚欧大陆西段(图 4 中 ABDE 区, $M_S \geqslant 7.0$);

(2) 北美大陆(20°—40°N)和 57°N 以北地区(图 4 中 GHIJ + KLMN 区, $M_S \geqslant 7.0$);

(3) 北美大陆(40°—57°N)地区(图 4 中 IJKL 区, $M_S \geqslant 7.0$);

(4) 阿拉斯加—日本地带(图 4 中 WQR, $M_S \geqslant 7.8$),

(5) 琉球—菲律宾—印尼地带(图 4 中 RSVU, $M_S \geqslant 7.8$);

(6) 南美濒太平洋地带(图 4 中 OP, $M_S \geqslant 7.7$);

(7) 拉丁美洲区(图 4 中 MO, $M_S \geqslant 7.7$);

(8) 新几内亚—汤加—新西兰地带(图 4 中 TXY, $M_S \geqslant 7.8$);

(9) 中国大陆($M_S \geqslant 7.0$);

(10) 沿亚欧板块与澳洲板块交界地带[9]($M_S \geqslant 7.7$)。

对前九个区的地震序列(图 5),发生起算震级以上的地震的年份(不论该年发生多少个)看作一次试验,它和相邻的下一次试验之间的时间间隔长度(多少年)作为样本,这样组成一个有序样本。按照最优分割法在微机上实行计算。上述的计算结果都通过 F 检验(信度 $\alpha = 0.05$),表明分类中类间和类内之间的差异是显著的。第(10)区是茂木研究活动幕的地带[9]。

图 5(a) 和(b)分别是不同地区中地震活动序列图和聚类分析结果的综合示意图。图 5(b)中阴影区表示活动幕时段,空白区表示平静幕时段。

由聚类分析法给出全球不同地区强震活动和平静幕的划分[图 5(b)] 表明:

http://www.dizhenxb.org.cn

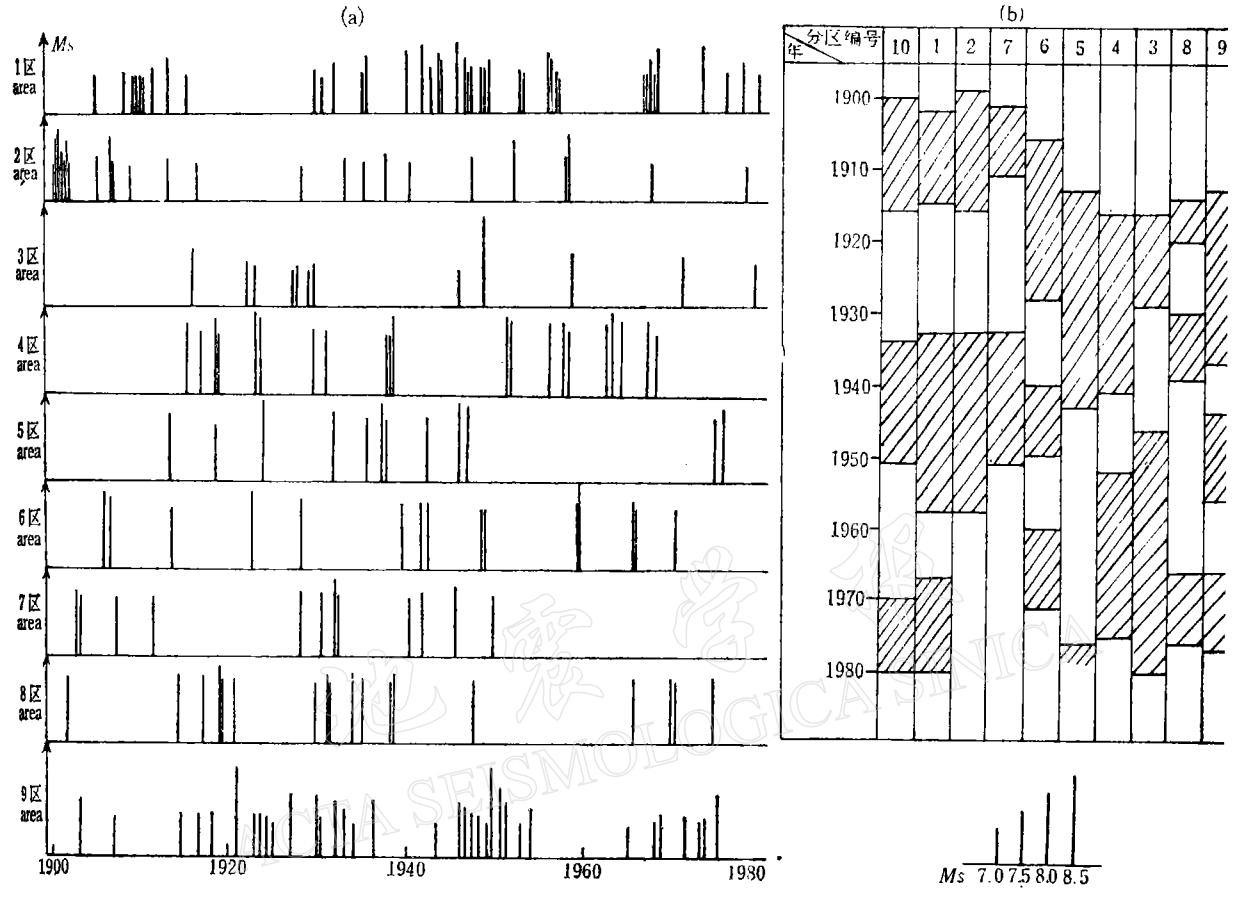

图　5

(a) 全球不同地区(带)浅源强震序列图(1899—1980)(图中分区编号的含意见正文)

Strong shallow shock series in different earthquake countries (1899—1980)

(b) 全球不同地区(带)浅源强震活动幕划分结果(1899—1980)(图中分区编号的含意见正文)

Zoning of strong shallow shock episodes in different earthquake countries (1899—1980)

(1) 本世纪以来，全球不同地震活动区(带)的活动是随时间起伏的，存在十至几十年的活动幕和平静幕交替出现的过程．根据图 5(b) 的资料，平静幕的平均持续时间为 16.5 年(参加统计资料 23 个，均方差为 6.1 年)；活动幕的平均持续时间为 16.6 年(参加统计资料 24 个，均方差为 7.2 年)．

对于中国大陆而言[图 5(b) 中 9 区]，浅源强震 ($Ms \geqslant 7.0$) 有过三次平静幕 (1899—1912，1938—1943 和 1956—1965)，三次高潮活动幕 (1913—1937，1944—1955 和 1966—1976)．目前，中国大陆处于七级以上强震活动的平静阶段(1977—)．按照平均的平静幕持续时间的估计，今后 5—10 年(1993 年±6 年)有可能进入另一次高潮活动幕．

(2) 全球某些地震区(带)的地震活动和平静幕的交替过程，具有某种程度的一致性．例如图 5(b) 中的 1，2，7 和 10 区之间．中国大陆的地震活动幕 (9 区)基本上和南美地带 (6 区) 的活动同步，只是开始和结束活动稍滞后一些．同时，在三十年代后，中国大陆和

http://www.dizhenxb.org.cn

亚欧和澳洲板块交界地带(10 区)的活动涨落,也显示出某种一致性.

活动幕的对比研究对于预测某一地区(带)的成组地震活动,具有参考意义.

六、北大陆强震活动和地球自转速度变化的关系

国内外有不少研究工作涉及到地球自转速度的变化和全球或分区地震活动频度之间存在的统计相关关系. 美国的 Anderson 和金森都强调过地震活动频度和能量随时间变化过程和自转速度变化曲线的同步性[14,15]. 上述结果是应用 D-B 目录获得的,即本世纪初 D-B 目录认为是全球地震活动的高潮时段,恰是地球自转速度加快变化十分显著的阶段. 然而,正如本文前述那样,根据阿部等的均匀化目录,上述的高潮期并不存在,这样,上述地震活动和自转速度变化的相关是否存在,便成为疑问.另外,文献[16]讨论过不同地区发生的地震与自转速度变化的特征有关. 按照阿部目录,这一结果依然存在.图 6 是以阿部目录为准对北大陆地震活动 (30°—45°N 之间) 与自转加速度变化对应关系的结果. 该图说明,在地中海区域(约 0°—30°E)、阿富汗至中国西部 (约 65°—105°E) 和北美大陆上的强震,主要发生在地球自转加快的年份内;而北大陆的其它地段上的强震,则大多在减慢年份内发生. 同时,自转加快年份内发震的地区(图 6 中的 A 区)和减慢年份内发震的地区(图 6 中的 D 区)的分布,沿着经向交替出现.

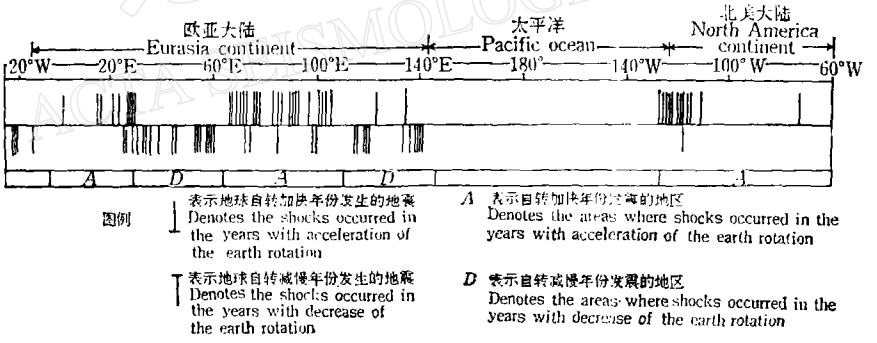

图 6 北半球大陆浅源强震($M_S \geqslant 7.0$)发生地区和地球自转加速度变化的关系(1899—1980)

Fig.6 Change in acceleration of earth's rotation and regions of occurrence of strong shallow shocks in the continents of northern hemisphere

七、小 结

综上所述,根据新编的阿部等的均匀化强震目录,对全球强震活动性的统计特征的研究,获得如下初步认识: 在六十年代中期之后全球强震活动处于相对平静阶段;比较不同地震区的 b 值,说明大陆浅源活动区的 b 值偏低,全球高潮活动阶段内的 b 值也偏低;对不同地震区强震序列进行聚类分析,认为地震活动高潮和平静幕交替出现的现象可能是客观的;北半球大陆地震带强震活动空间分布和地球自转速率变化之间,存在某种相关关系. 对于中国大陆强震活动而言,目前处于 1977 年以来的相对平静阶段,可能在未来

http://www.dizhenxb.org.cn

5—10 年内，即在 1993±6 年可能进入新的强震活动阶段.

参　考　文　献

[1] Gutenberg, B. and C. F. Richter, Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton Univercity Press, 1954.

[2] Duda, S. J., Secular Seismic energy release in Circum-Pacific belt, *Tectonophysics*, 2, 409—452, 1965.

[3] Bath, M., and S. J. Duda, some aspects of global seismicity, Seismological Institute, Uppsala, Sweden, Report 1979, 1.

[4] Abe, K., Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904—1980, *Phys. Earth Plant. Inter.*, **27**, 72—92, 1981.

[5] Abe, K. and S. Noguchi, Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897—1912, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **33**, 1—11, 1983.

[6] Abe K., Complements to "Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904—1980", *Phys. Earth Planet. Int.*, **34**, 17—23, 1984.

[7] K. Kasahara, Earthquake Mechanics, Combridge University Press, 1982.

[8] 马宗晋、傅征祥、薛峰，北纬 20°—50° 的大陆地震构造系，地质学报，**58**，114—124，1984.

[9] 茂木清夫，地震——その本性をさぐる，东京大学出版会，1981.

[10] 马宗晋、傅征祥、张郢珍、汪成民、张国民、刘德富，1966—1976 年中国九大地震，地震出版社，1982.

[11] 方开泰、潘恩沛，聚类分析，地质出版社，1982.

[12] 洪时中，最优分割在地震分期中的应用，西北地震学报，**6**，49—57，1984.

[13] 王碧泉、陈祖荫、王春珍，用聚类分布法研究强震孕育过程，地震学报，**6**，121—128，1984.

[14] Anderson, D. L., Earthquakes and rotation of the earth, *Science*, **186**, 49, 1974.

[15] Kanamori, H., The energy in great earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **82**, 2981, 1977.

[16] 傅征祥，岛弧-海沟地区浅源强震分布和地球自转，地球物理学报，**27**，53—63，1984.

SOME STATISTICAL CHARACTERISTICS OF GLOBAL ACTIVITY OF LARGE EARTHQUAKES

FU ZHENGXIANG

(Center for Analysis and Prediction, State Seismological Bureau)

Abstract

Based on the uniform catalogue of large earthquakes of the earth studied and published by K. Abe, some knowledge about global activity of strong shocks might be obtained. (1) The global seismicity is in a stage of relative quiesence since the late 1960's. (2) The b-value is lower in continental seismic regions than in other regions (belts); the b-value is lower during the seismically active period than in a quiet one. (3) According to cluster analysis, it may be recongnized that the seismically active and quiet episodes occur alternatively in different seismic regions. (4) There may be some correlation between the distribution of epicenters of large shallow earthquakes in continents of the northern semisphere and the change in velocity of the earth's rotation.

The above characteristics might be referential for evaluating the tendency of earthquake occurrence in some seismic regions.

http://www.dizhenxb.org.cn