

低纬度环球剪切带及其与环太平洋带大地震的幕式活动*

马宗晋^{①**} 杜品仁^① 任金卫^② 高祥林^①

(① 中国地震局地质研究所, 北京 100029; ② 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要 地球南、北半球总的运动态势很不协调, 其间存在一条运动不协调带. 在地表, 该带由 13 条以走滑为主的大型断裂带组成, 称之为低纬度环球剪切带(E 系). 统计分析 E 系和环太平洋带(P 系)1900~2003 年间 $M_w \geq 7.5$ 的时间分布, 发现两者本身和两者之间都存在 15~18 年的准周期性交替活动. 对这一现象的成因作了初步探讨.

关键词 剪切带 环太平洋带 大地震 准周期性

地震时空分布的非均匀, 并非纯属随机. 已知强地震密集带的空间分布受控于活动构造; 全球性和区域性地震带内强震的时多时少以及不同地震带之间地震活动此强彼弱的交替等现象, 则表现着地震在时间上或长或短的规律性. 这是令人十分关注的地震预报研究的问题.“地震周期”^[1,2]、“地震活跃期”^[3]、“地震幕”^[4,5]等概念的提出, 都是为了从一个地区或一些有代表性的地震带内揭示不同时间尺度地震活动的规律性. 但上述研究涉及的地震记录的时间仅 50~60 年, 涉及的地震带的数量也很有限, 特别是关于地震活动时间具有准周期性的成因机理讨论更显不足, 即使 Mogi^[3]注意到了地球高、低纬度带内有代表性的地震带之间有地震强、弱, 多、少的交替现象, 并意识到可能与地球自转变化有关, Ma 等^[5]也对全球各主要地震带之间地震幕的交替现象进行了比较,

但都未获得理想的规律性认识.

时至今日, 全球地震台站记录已有百年, 并且对震级的核定工作也有较好的进展^[6,7]; 全球 GPS 观测结果已定量描述全球板块和地震带现今的运动状态与速率(ITRF2000); 在全球构造研究中, 已触及到全球整体非均匀、非对称问题^[8,9]. 由此, 我们又再一次进行了全球大地震时空活动规律性的研究. 首先, 我们发现全球 GPS 矢量场内有一条低角度斜切赤道的环球大剪切带, 它由 13 条斜列的走滑断裂组成; 进而注意到在该剪切带影响范围内, 上世纪共发生 $M_w \geq 7.5$ 地震 117 次, 占全球同期 $M_w \geq 7.5$ 地震总数的 41%; 在此期间, 环太平洋地震带发生 $M_w \geq 7.5$ 地震 142 次, 占全球的 50%, 此外, 尚有 24 次 $M_w \geq 7.5$ 散布在其他地区. 上述情况触发了我们研究赤道剪切带和环太平洋构造带各自的地震活动分布特征和两者之间的相互关系.

收稿日期: 2005-04-05; 接受日期: 2005-11-23

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49834002)

** E-mail: jhordos@sina.com, lh9075@sohu.com

结果发现, 两者本身和两者之间都有准周期性交替活动. 初步分析其起因, 可能与地球半球级胀缩振荡及地球自转速率变化有关.

1 低纬度环球剪切构造带

2001 年 IERS 发布了在 ITRF2000 框架下的 432 个(GPS, VLBI, SLR)并置站的观测值. 我们按站间距不小于 10°和力求均匀控制的原则, 从中随机选出 111 个站, 并在图 1 内展示了它们的运动矢量.

图 1 清晰地显示北半球北大西洋两侧欧亚和北美大陆的运动态势都是近 EW 向, 而南半球南大西洋

两侧的非洲、印度、澳洲和南美洲, 总体运动是 NNE 方向, 南、北半球总的运动态势很不协调. 此外, 虽然在东南太平洋裂谷带的两侧北、南太平洋底的运动是比较统一的, 但以社会群岛火山链和复活节岛火山链为标示的洋底活动构造两侧, 其活动状态也有差异.

依据上述南、北半球间的运动态势, 我们概略地划出了南、北半球之间的运动不协调带的位置. 在地表, 该带由 13 条以走滑为主的大型断裂组成(图 2). 在这些大断裂带两侧, 我们选了 8 对有代表性的站点, 计算了它们相对运动的差异量和旋性, 结果列于表 1.

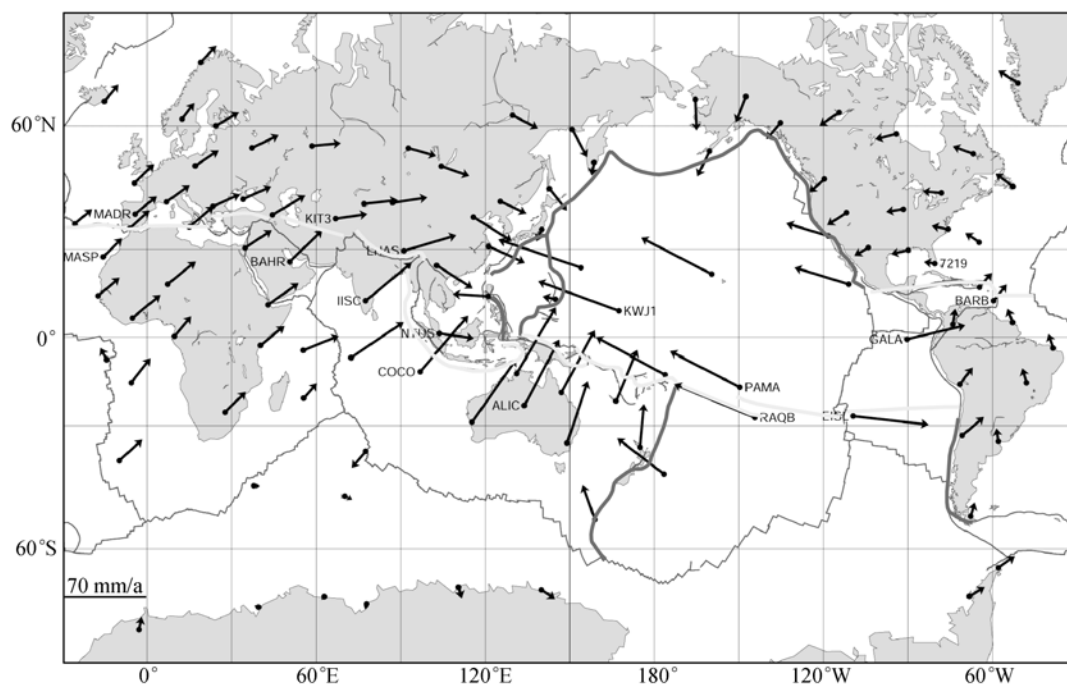


图 1 从 ITRF2000 中选出的全球 111 个并置站矢量图

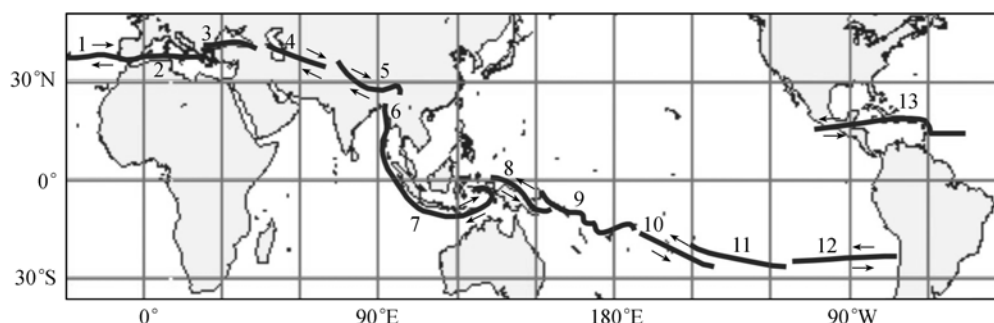


图 2 低纬度环球剪切带的 13 条大断裂示意图

1. 直布罗陀断裂; 2. 西地中海断裂; 3. 北安纳托利亚断裂; 4. 北高加索断裂; 5. 嘉黎断裂; 6. 实皆断裂; 7. 苏门答腊断裂; 8. 索龙断裂; 9. 中俾斯麦-所罗门断裂; 10. 布干维尔-南所罗门断裂; 11. 火山热线断裂; 12. 复活节岛-圣菲尼克斯岛断裂; 13. 危地马拉断裂

表 1 低纬度环球剪切带两侧的 8 对站速度分量及其差值^{a)}

台站间的断裂(图 2 序号)	台站代码	垂直构造线方向		平行构造线方向	
		速度分量/mm	分量差/mm	速度分量/mm	分量差/mm
1	MASP	14.459	-1.266	18.629	2.199
	MADR	13.194		20.828	
4	KIT3	-15.416	-21.981	-23.729	9.285
	BAHR	-37.397		-14.444	
5	LHAS	-33.19	-15.351	-35.189	14.056
	IISC	-48.541		-21.133	
7	NTUS	-17.862	-47.180	-25.118	28.544
	COCO	-65.042		3.425	
8	KWJ1	-2.276	-82.481	76.210	-87.116
	ALIC	-64.757		-10.906	
10	RAQB	-9.271	-4.451	76.700	-8.555
	PAMA	-13.722		68.145	
12	EISL	-13.882	21.189	65.501	-12.949
	GALA	7.307		52.552	
13	BARB	13.096	-10.894	12.779	-22.410
	7219	2.202		-9.630	

a) 垂直剪切带方向, 分量差正值为拉张, 负值为挤压; 平行剪切带方向, 分量差正值为右旋, 负值为左旋

这条斜切赤道的巨型剪切断裂系(E 系)与环太平洋深俯冲构造系(P 系)和全球洋脊张裂构造系(O 系)构成了全球三大力学属性截然不同, 又在运动学上互补的三个巨型构造系统. 全球 $M_w \geq 7.0$ 大震主要发生在 P 系和 E 系内.

2 E 系与 P 系大地震幕式交替活动

地震是全球构造现今活动最鲜明、最全面、最重要的显示. 全球 $M_w \geq 7.5$ 地震 90%以上发生在E系和P系. Pacheco和Sykes提供的浅源大地震目录^[2], 给出了 1900~1989 年 $M_s \geq 7.0$ 地震的面波震级和标量地震矩. 1976 年以来, 哈佛大学提供了包含标量地震矩的 CMT目录. 本文所用 $M_w \geq 7.0$ 浅源大地震目录, 就是在此二目录的基础上生成的, 其中, 1900~1976 年, 用 Pacheco和Sykes的数据^[2]; 1977 年起用哈佛大学数据. 矩震级采用Hanks和Kanamori 所给定义^[10].

由图 3 可见, 以 $M_w \geq 7.5$ 地震为准, 比较同一时段内 P 系和 E 系内大地震数量的多少和震级的大小, 可划分出 7 个地震幕, 其中 I, III, V 和 VII幕为 E 系的地震活跃幕和 P 系的相对平静幕; II, IV和VI幕为 P 系的地震活跃幕, E 系的相对平静幕. 各幕的持续时间为 15~18 年, 具有良好的准周期性, 但 1999 年开始的第VII幕至今只有 5 年, 可能还将延续 10 年左右.

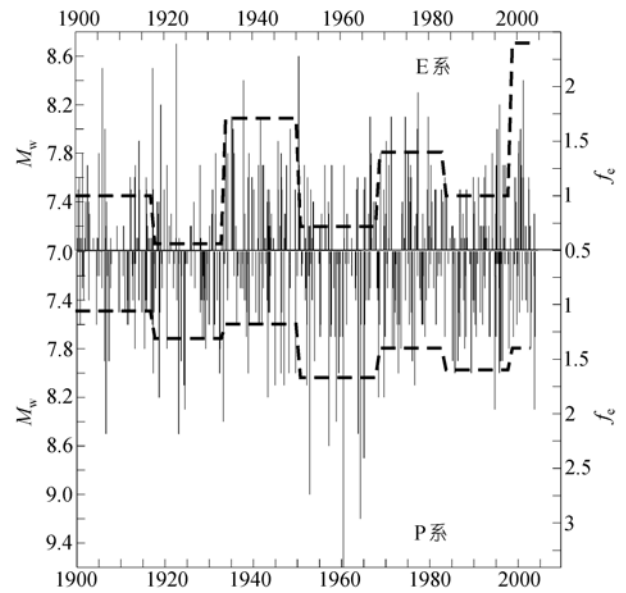


图 3 E 系和 P 系 $M_w \geq 7.1$ 地震的 M-t 图(实线)和 $M_w \geq 7.5$ 的幕式活动(虚线)

P 系的 M_w 坐标是倒置的. $M_w \geq 7.5$ 的幕式活动(虚线)用每幕地震数的年均值 f_e 的变化表示

如以 $M_w \geq 7.0, 7.5$ 和 8.0 这三个级别的地震总数作为 E 系和 P 系地震发生率的本底值, 将它除以每幕各自的相应地震数, 即可获得每幕的相对发生率 R (表 2). 比较每幕的相对发生率, 可以更清楚地看出奇数幕与偶数幕地震活动强度的交替现象.

表 2 E 系和 P 系各地震幕的地震数 n 和相对发生率 $R/\%$

系别	震级	1900~2003	1900~1917		1918~1933		1934~1950		1951~1968		1969~1983		1984~1998		1999~2003	
		地震总数	n	R	n	R	n	R	n	R	n	R	n	R	n	R
E	$M_W \geq 8.0$	23	3	13	2	9	7	30	1	4	6	26	2	9	2	9
	$M_W \geq 7.5$	117	18	15	9	8	29	25	13	11	21	18	15	13	12	10
	$M_W \geq 7.0$	343	60	17	39	11	67	20	52	15	54	16	50	15	21	6
P	$M_W \geq 8.0$	36	2	6	7	19	7	19	12	34	3	8	4	11	1	3
	$M_W \geq 7.5$	142	19	13	21	15	20	14	30	21	21	15	24	17	7	5
	$M_W \geq 7.0$	398	57	14	55	14	61	15	84	21	57	14	62	16	22	6

表 3 E 系和 P 系各段 $M_W \geq 7.5$ 和 $M_W \geq 8.0$ 地震在各幕的分布^{a)}

地震幕	E 系								P 系							
	亚速尔至地中海	伊朗至喜马拉雅	巽他弧至克马德克	南南北部至加勒比	西北太平洋	东南太平洋	北美	南美西缘南段	亚速尔至地中海	伊朗至喜马拉雅	巽他弧至克马德克	南南北部至加勒比	西北太平洋	东南太平洋	北美	南美西缘南段
I	1	0	2	0	11	2	4	1	7	0	5	1	6	0	1	1
II	0	0	1	0	7	1	0	1	10	3	6	0	4	4	1	0
III	2	1	6	3	11	3	10	0	11	4	4	1	3	1	2	1
IV	1	0	2	0	6	0	4	1	17	9	8	1	2	0	3	2
V	2	0	0	0	14	4	5	2	9	1	7	2	3	0	2	0
VI	0	0	0	0	9	1	6	1	10	1	10	1	3	2	1	0
VII	1	0	1	0	7	1	3	1	3	1	3	0	1	0	0	0

a) 幕序号后每格内的前一数字为 $M_W \geq 7.5$ 地震数, 后一数字为 $M_W \geq 8.0$ 地震数

图 4 是各幕时段内全球 $M_W \geq 7.5$ 大地震的分布图。由此图可见, 在 I, III, V 和 VII 幕内, E 系各段的 $M_W \geq 7.5$ 地震活跃, 其中以位于澳大利亚板块与太平洋板块相汇地带的巽他弧至克马德克段的地震最多, 其次为南美西缘北部至加勒比段、伊朗至喜马拉雅段和亚速尔群岛至地中海段; 而在 II, IV 和 I 幕内, P 系各段的 $M_W \geq 7.5$ 地震活跃, 其中以西北太平洋段的地震最多, 其次为东南太平洋段、北美段和南美西缘南段。表 3 列出了这两大构造系各大地段在各幕期间的 $M_W \geq 7.5$ 和 $M_W \geq 8.0$ 地震的次数。

在 1990~2003 年间全球共发生 $M_W \geq 7.0$ 浅源大地震 827 次, 其中 E 系 343 次, P 系 398 次。这些约占全球 90% 的浅源大地震恰恰是发生在全球人口稠密地带。尤其是 E 系内分布着的众多发展中国家, 面临十分严重的震害威胁, 而防灾能力却很差。如果百余年的地震分幕和 E 系与 P 系大地震的交替活动现象能得到充分论证, 相信对大地震的预测和较短时间尺度的地球动力学研究都会有重要的推进作用。

3 结论和讨论

(1) 全球 GPS 矢量场(ITRF2000)的动态分析表明, 在地球低纬度带赤道两侧发育了一条斜切赤道, 以剪切运动为主要特征的活动断裂构造系(E 系), 它与

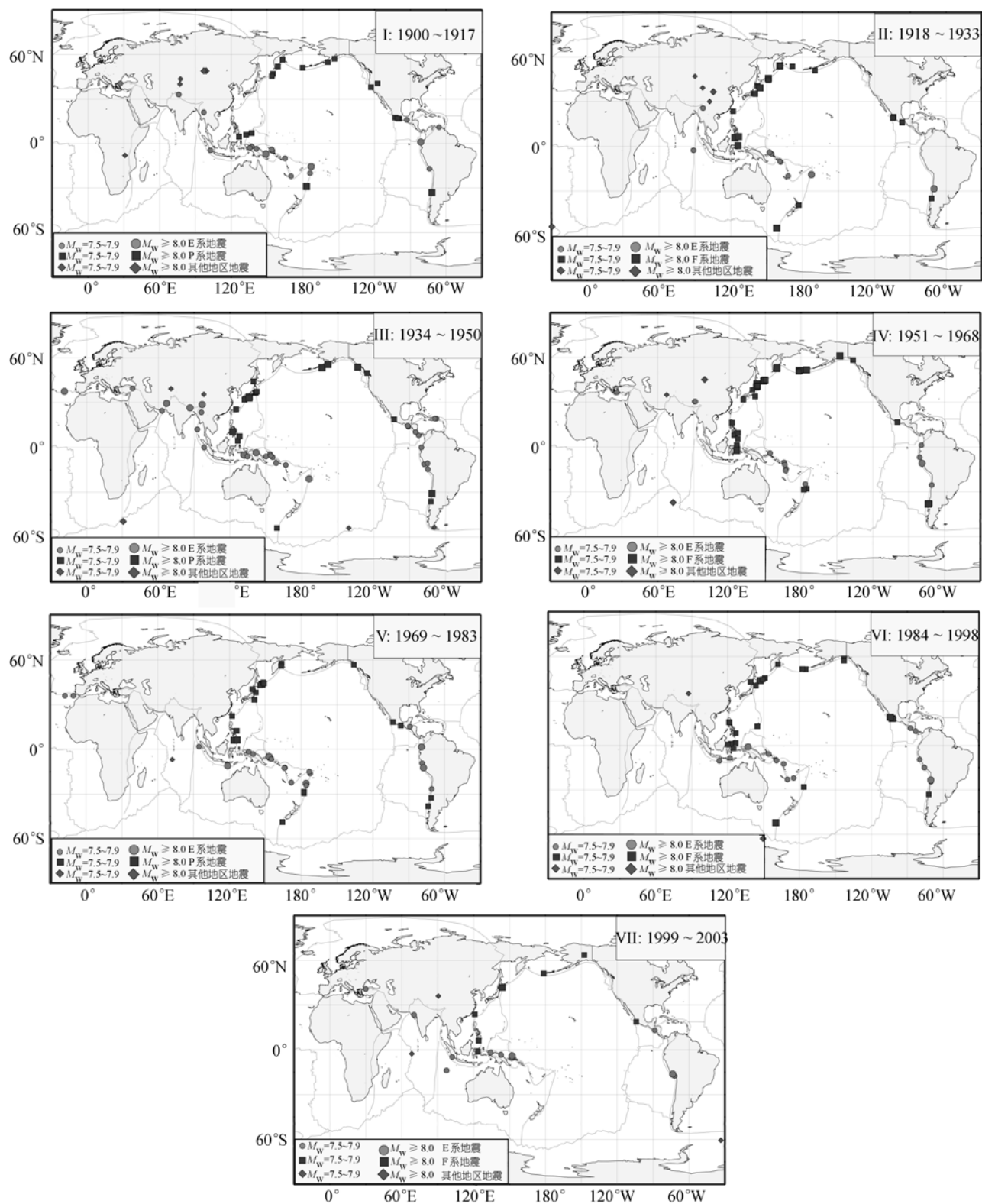
以挤压俯冲为主的环太平洋活动构造系(P 系)和以张裂为主的洋脊活动构造系(O 系), 三者是具有不同力学属性而又相互协调的全球级构造系。

(2) E, P 和 O 三大构造系, 均可以地震活动表征其现今活动。统计 $M_W \geq 7.0$ 地震的数量和能量(地震矩), E 系占全球的 41% 和 14%, P 系占 48% 和 83%, O 系占 3% 和 1%。可见 P 系和 E 系是显示地球地震活动的主体。

(3) P 系和 E 系的大地震分别都有强弱交替的幕式活动特征, 更有意义的是, P 系与 E 系的活跃幕和相对平静幕也都彼此交替出现。以 $M_W \geq 7.5$ 大地震的次数和能量给出的 7 个地震幕, 也得到了 $M_W \geq 8.0$ 地震(表 2 和图 4)的进一步证实。各幕的持续时间在 15~18 年之间。

(4) 关于 P 系和 E 系大地震幕式活动的成因和机理, 可能与下述三种动力作用有关:

① 类似于布伦提出的由巨震激起的 T 型和 S 型地球自由振荡, 地球还可能存在十几年时间尺度的自由振荡, 由此引起的南北半球岩石圈层的变形, 从而产生对 P 系和 E 系内已存待发应变能的触发和抑制作用。地球的经向压缩, 表现为赤道低纬带经向曲率的加大, 产生降低 E 系陡立水平剪切面的正压力, 增

图 4 在各幕时段内全球 $M_w \geq 7.5$ 大地震的分布

大剪切差应力, 有利于 E 系的剪切运动. 相反, 如果地球发生经向的拉伸, 则导致纬向线的缩短, 加大了环太平洋俯冲构造面的倾滑动力, 有利于 P 系的俯冲运动.

② 近百年来, 地球自转速度变化显示了几次十几年尺度的加速和减速时段, 虽然直观比较它们与上述地震幕时段并不能一一对应, 但其幕式变化和时间尺度却与大地震的起伏交替十分相似, 因此, 也有必要进一步研究二者相互关系.

③ 一百年来, 地球总磁场的西向漂移可能有十几年尺度的快速段和慢速段. 此现象可能与 D 层的上下热交换强度的微变动有关. 这也是研究上述大地震幕式活动成因的线索.

参 考 文 献

- 1 Fedotov S A. On distribution patterns for strong earthquakes in Kamchatka, the Kurile Islands and northeastern Japan. Trudy Inst Fir Zemli Akad, Nauk SSSR, 1965, 36: 66~93
- 2 Fedotov S A. The seismic cycle, quantitative seismic zoning, and long-term seismic forecasting. In: Medvedev S V, ed. Seismic Zoning in the USSR. Izdatel'stvo Nauka, Moscow, 1968, 133~166
- 3 Mogi K. Active periods in the world's chief seismic belts. Tectonophysics, 1974, 22: 265~282
- 4 Ma Z, Jiang M. Strong earthquake period and episodes in China. Earthquake Research in China, 1987, 1(4): 505~510
- 5 Ma Z, Fu Z, Zhang Y, et al. Earthquake Prediction, Nine Major Earthquake in China (1966~1976). Beijing and Berlin: Seismological Press and Springer-Verlag, 1989. 201~310
- 6 Kanamori H. The energy release in great earthquakes. Jour Geophys Res, 1977, 82: 2982~2983
- 7 Pacheco J F, Sykes L R. Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989. Bull Seism Soc Am, 1992, 82(3): 1306~1349
- 8 马宗晋, 陈强. 全球地震构造系统与地球的非对称性. 中国科学, B 辑, 1988, (10): 1092
- 9 Ma Z, Gao X, Ren J. The features of contemporary global tectonics and its dynamic explanation (in Chinese). Quaternary Sciences, 1992, (4): 293~305
- 10 Hanks T C, Kanamori H. A moment magnitude scale. J Geophys Res, 1979, 84: 2348~2350