

南北地震带北段地震大形势的初步分析

李海华 冯学才

(国家地震局兰州地震研究所)

本文所讨论的南北地震带北段大致范围为甘肃武都到宁夏石咀山和青海民和到陕西宝鸡地区,即北纬33—39度、东经103—107度。从历史上看,本区强震既有与华北强震共起伏的现象,也有与南北带中、南段强震相呼应的现象。然而本世纪六十年代以来,该区没有参与华北和西南地区的强震活动高潮而仅有中等地震活动(图1)。近七年来,全国强震活动和缓,未来成串强震是否会转移到本区有关地区又是一个现实问题。前者涉及到对过去地震预报实践中“虚报”的反省,后者是为了防止另一个极端即“漏报”问题。由于开展前兆观测时间较短(具有连续完整的资料一般不超过十年),靠前兆资料的综合分析解决上述问题为时尚早,现在还不得不求助于地震大形势的分析。

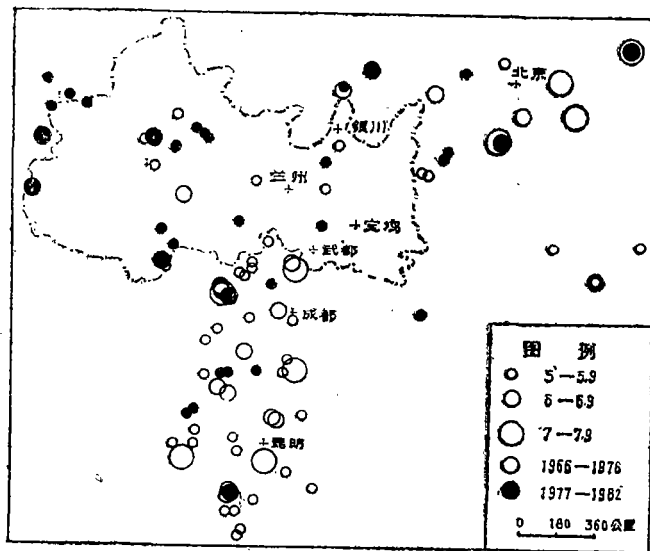


图1 1966—1982年南北地震带武都—银川段地震形势图

然而,作为地震综合预报内容之一的地震大形势分析也还没有成熟的思路和既定的程序。一般是从地震活动性本身去寻求经验性指标,或从地象、气象、天象三者的相关分析中提取预报因子。多年来已积累了不少行之有效的方法,但在机理和方法论方面有待深入。作为尝试,本文着重讨论“层次性分析”方法和“地震幕”的意义,以及它们还存在的问题,并据此初步讨论南北带北段的地震大形势。

一、综合预报的层次观

对地震综合预报问题, 1974年郭增建等人提出了“块、带、源、兆、触、报”的基本思路¹。1978年雍幼予等人对云南地震提出在空间上要分块划带、时间上分阶划段的思路; 1979年韩渭宾等人总结四川地震中期预报时也提出了“块一带一源一场一兆”的预报思路²。1980年我们对甘肃地区的震势提出了层次性的概念³。与此同期, 马宗晋^[1]、高旭⁴等人也讨论了地震活动时序空间分布的级次划分问题。可见, 在综合预报的实践中, 已逐渐形成了共同的思路, 这绝不是偶然的。

所谓地震综合预报的层次观, 就是按地震活动的空间、时序和强度分等划级, 按不同层次或级次来把握地震趋势, 对不同的前兆手段和环境因子也按层次来考虑, 以解决时空尺度上的某些不协调现象。

“层次性”在自然界中是普遍存在的。例如物质结构就有基本粒子、原子、分子、物体和天体等丰富的层次。强烈地震活动序列本身就显示了长达千年、百年和十年乃至更小尺度起伏的丰富层次; 地震活动空间具有板块、板内块体、震源等不同尺度的地体单元; 地震强度也可划分为巨震、强震、小震几级等。

对自然界的层次性现象可初步归纳出下列一些性质作为地震综合预报的基本思路:

(1) 尺度对应原理

即地震的强度、时间和空间三者相互对应或一致。例如, 局部地区长时期地震活动性的基本规律往往可以代表较大范围空间尺度的情况; 讨论八级以上巨震时要有足够大的时空范围, 八级巨震的发生绝不是一时一地的现象; 反之, 地震震级愈小, 间隔的空间尺度愈小、时间尺度也越短。总之, 地震活动的强度、成丛强震的空间尺度和持续时间尺度三者应一致或彼此对应。在前兆观测资料的综合分析中也与此类似。如分析趋势性变化时必须对资料的高频成份进行“滤波”, 这是因为短时间尺度的起伏往往是局部现象或较低层次现象的反映, 对长过程则是“噪音”, 必须滤掉才能显示趋势性异常乃至大形势的变动。

(2) 高低层次之间的辩证关系

高层次和低层次之间既有相对独立性, 又有相互依存性。相对独立性表现为每一层次内部有它自身的规律性或特殊性, 易于与其它层次区别而不致混淆。相互依存性表现为低层次是构成高层次的要素, 高层次是约束低层次的背景, 并寓于低层次之中。

据此, 在划分层次时, 最好能明显突出该层次的相对独立性, 如地震幕的划分究竟属于地震活动哪一级层次, 取多大强度的地震、多大尺度的空间和时间, 就是一个值得讨论的问题。

又如, 鉴于高低层次之间的联系, 在判断区域性地震趋势时必须把握高级层次, 如全国乃全球的大形势。大形势判断失误将会导致区域地震趋势估计的失误, 并最终影响单个地震的预报, 这样的教训是屡见不鲜的。

再者, 一个地区的长期地震序列是“宝库”, 其中蕴藏着高层次即地震大形势及其对本区地震制约的信息。尽可能延长本区地震序列, 如积极开展历史地震和古地震的工作, 具有深刻的意义。同样, 在连续可靠的前提下, 前兆资料积累的时间愈长, 其信息量也愈丰富。

(8) 高低层次的外延与内涵

高低层次要求物理量的精度是不同的, 因为扩大某一事物外延时, 势必减少其内涵。如临震预报属于空间范围小、时间短和准确性高的较低层次, 这就需要大密度、高精度和快速自动记录的观测资料。反之, 长期预报的资料可以粗略些。相应地, 预报的时空范围也就较粗略。

以上是综合预报层次观的概括, 在综合处理地震活动和前兆资料时可作为基本思路。前已述及, 在分析地震大形势时, 由于前兆资料积累时间不足, 现今还是主要借助于如地震活动、地球自转、冷暖早涝等长时期和大范围的资料。下面试析南北带北段地震活动的层次性。

二、地震活动层次性的窗口

南北地震带北段是历史地震记载最为悠久的地区, 本区地震活动的时间序列显示了较好的层次性, 可划分为“期、幕、段”三级层次。其时间尺度分别为千年、百年和十年。自公元前一千二百年以来, 大致有四个活动期和三个平静期, 如图 2 和表 1 所示。与该地区有感地震频次对照可见, 有感地震频次在高潮期内少而在平静期中频次较高, 两者反相关, 这是非常有意义的现象。较合理的解释可能是在高潮期内有感地震的地点相对集中而在平静期内则比较分散的缘故。活动期和平静期合起来为近千年的周期, 象这样的长周期恐非局部现象。梅世蓉曾指出我国地震活动约有一千年的周期^[3]。日本自六世纪以来就有地震记载, 阿拉伯自七世纪、亚美尼亚自八世纪以来有地震记载。日本自十七世纪以来为最高地震活跃期, 其前还有八—十世纪也是活跃期, 周期近千年^[3]; 亚美尼亚及其邻区的地震活动有九百年的周期^[4]; 阿拉伯文献中记载的地中海至阿富汗地区地震活跃期为九—十二世纪和十八世纪以来的两个时期, 周期也约一千年^[5]。

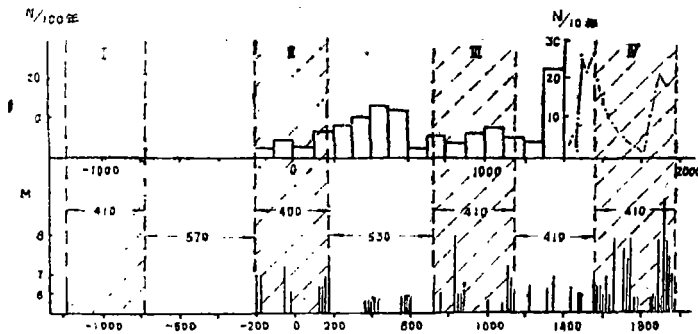


图 2 上 南北地震带武都—银川段有感地震频次图

图 2 下 南北地震带武都—银川段强震 $M-t$

表 1

	起始年代 (年)	持续时间 (百年)	N (6)	N (7)	最大震级
第一活动期	-1200—800	4	2	2	>7
第一平静期			0	0	5
第二活动期	-200—200	4	7	8	>7
第二平静期			0	0	6
第三活动期	700—1200	5	9	4	8
第三平静期			8	0	6
第四活动期	1500—2000	5	30	11	8.5

我们把上述时间尺度 $[10^3 \text{年}]$ 称为“活动期”。

由图 3 可见, 在第四活动期内仍有尺度约 $[10^2]$ 年的起伏, 称为“地震幕”, 每幕中又有尺度约 $[10^1]$ 年起伏的“活动段”, 表 2 为第四活动期内的三个地震幕的情况, 图 3 (b) 是海原——古浪地震幕中的几个“活动段”。

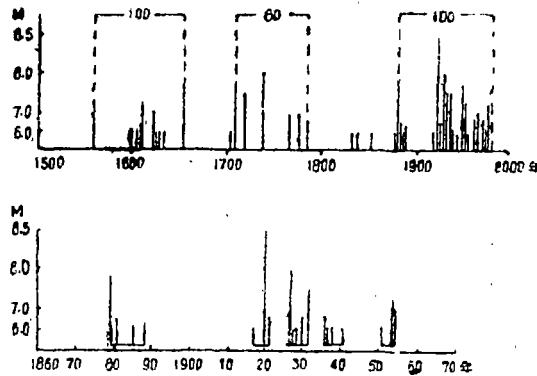


图 3a 第四活动期中三个活动带

图 3b 海原地震带的若干活动段

表 2

	起始年代	年 数	N(6)	N(7)	最大震级
第一活动幕	1556—1654	98	9	3	8
幕间期			1	0	6
第二活动幕	1704—1785	80	6	1	8
幕间期			3	0	6
第三活动幕	1879—1954	80	15	7	8

根据尺度对应原理,地震活动不同尺度的时间起伏,反映了不同尺度空间现象,如果说上述“活动期”反映了中国、日本、中亚乃至地中海广大区域的情况,那么“地震幕”则反映了一定空间尺度和时间尺度的现象,对此后面还要述及;而“活动段”则仅反映较小尺度如某些断层带的活动。地震强度也要与之对应,如“活动期”与“地震幕”包含了巨震级的活动,而“活动段”则不一定有巨震,主要是强震活动。若分析更小的区域和包括震级更小的地震,那么可以看到比“活动段”更低层次的起伏现象,如震源区的余震序列等。可见,地震活动的“层次性”是包含时、空、强多维要素的综合现象。

南北地震带北段之所以表现出丰富的层次性不是偶然的,除了历史记载悠久外,还由于本区处于比较复杂的构造交绥部位,由图 4 可见,本区东部为华北地质块体,东南为华南块体,西南为青藏块体,北西为阿拉善——塔里木块体。本区的腹地即天水地区又是横亘我国东西的昆仑——秦岭构造带与纵贯我国南北的贺兰山——康滇地轴的交绥地区。

在武都至银川约七百公里的狭长地段内,仅近三百年就发生 8.5 级地震 1 次、3 级地震 3 次、7.5 级地震 6 次,见图 5 与表 8^{1,2}。其强度之高和密度之大是罕见的,它们九度区线性之和为 680 公里。

如果说,现今在板缘地区地震能量释放最大的地区是智利中南段(南纬 32—40 度、西经 72—75 度),那么南北带北段(北纬 33—39 度,东经 104—107 度)就是板内地震能量释放最大的地区。两者恰为地球的“对跖点”,因之若本区含有某种全球信息,则并非偶然。

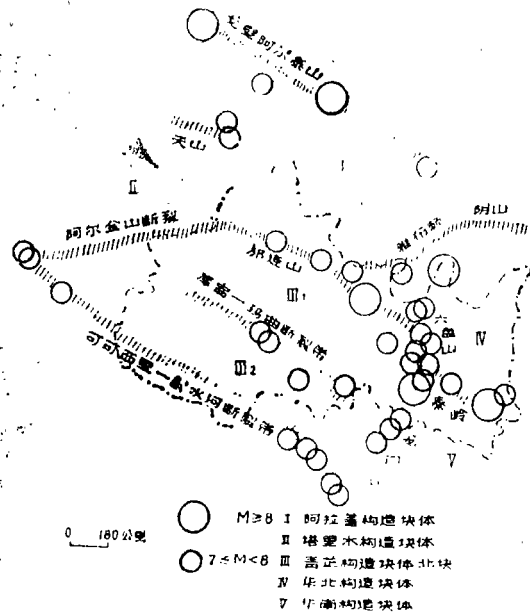


图 4

图 5 近三百年来六次7.5级以上地震分布图
(实线为九度等震线)表 8 近三百年来六次7.5级以上地震破坏区纵长^{1,2}

时间	地点	震级	震中烈度	极震区 (Ⅴ-X度) 纵长 (公里)	Ⅷ度区长 (公里)	破坏区 (Ⅵ度) 纵长 (公里)
1920	海原	8 $\frac{1}{2}$	十二	220	360	800
1739	平罗	8	十	90	120	600
1879	武都	8	十一	110	350	600
1654	天水	8	十一	100	200	600
1709	中卫	7 $\frac{1}{2}$	十	80	110	500
1718	通渭	7 $\frac{1}{2}$	十	70	80	300

- 1 兰州地震研究所区划抗震研究室, 1982, 甘肃省强地震目录 (油印本)
- 2 宁夏地震局, 1982宁夏地震目录, 宁夏人民出版社。

若考虑我国其它地区, 可见不是任何地区的地震活动都表现有丰富的层次性。层次性分析至少有三个条件:

- (1) 地震的时间序列至少要长达 $[10^3]$ 年。
- (2) 地震的震级包括巨震和强震。
- (3) 处于几种构造或地质单元交绥。

很多地区由于不满足这些条件, 故只能反映比较低级的层次。南北带北段具有上述一般性条件, 因此是反映“层次性”的良好“窗口”。

三、海原地震的意义

1. 海原8.5级地震在地震活动时空场中的宏观意义

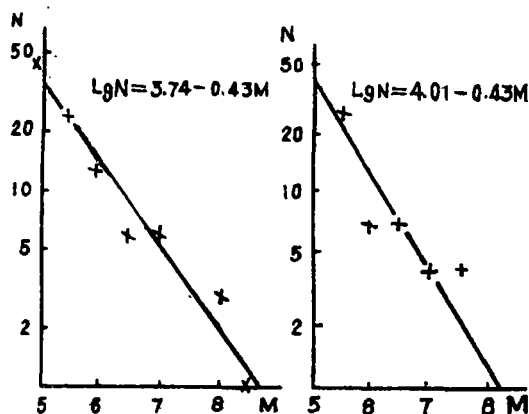


图6 小华北区两次地震活动期M—N图 (左1367—1730年, 右1731—1976年)

1920年海原8.5级巨震不是一时一地的现象, 首先它与青藏块体的北块 (大体以昆仑山为界) 直接有关, 自海原地震后十几年内, 七级以上大震沿着海原—古浪—昌马条带即青藏块体北缘迁移; 同时还沿与此平行的几个条带如炉霍—民丰、叠溪—都兰等处活动其次; 还与华北块体有关; 甚至还可追溯它与1668年郯城8.5级巨震的关系。

图6和表4是鄂尔多斯块体以东的“小华北区”两次地震活动期的震级—频度关系。从中可见, 小华北区现今活动显然远低于前期水平。从a、b值较接近从而得出前后两期活动水平大体应一致来看, 就能得出该区可能再发生两次8级和1次8.5级地震的推论。

表4 小华北区两次活动期的地震频次

N \ M	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
活动期								
第二活动期1369—1730	46	25	13	6	6		8	1
第二活动期1731—1976	44	26	7	7	4	4	1	

但是, 根据层次性分析, 巨震级活动不能有益于某地区考虑。若把南北带北段包括在内的“大华北区”来统计就可以得到图7和表5。从中可见:

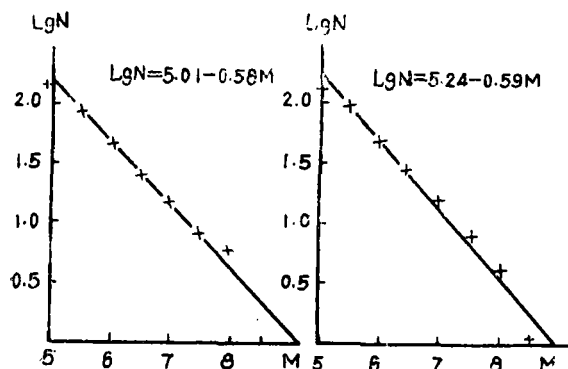


图7 大华北区两次地震活动期M—N图 (左1550—1740年, 右1830—1982年)

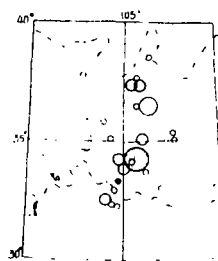


图8a 1654年天水8级大震前后 (1604—1677) 地震分布

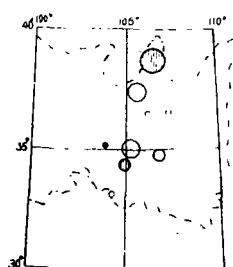
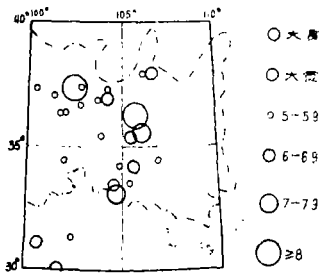


图8b 1739年平罗8级大震前后 (1704—1765) 地震分布



- (1) 大华北区的M—N关系比小华北区好些, 比较图6和图7可见其离散度小些。
- (2) 小华北区前后两期活动不平衡, 而大华北区两期活动水平大体相同。即两期活动的最大震级、7级以上大震总数以及a、b值等都是是一致的。由此可见, 较小地区的不平衡在较大地区得到平衡, 显示了震级越大的地震在时空场中具有相应较大尺度的意义。
- 由表5可见, 就大华北区而言, 现今仍处于自1830年以来的强震活跃期之中。

图8c 1920年海原8.5级大震前后(1879—1932)地震分布

比较表2和表5可见, 虽然它们仍处于以 $[10^3]$ 年尺度高层次的活动期内, 但以 $[10^2]$ 年尺度划分的活动幕却随地区而异, 这种情形很普遍, 对地震活动的分析, 愈到低层次。即考虑的地区愈小, 时间愈短, 周期的划分就愈多, 随地而异的现象就越突出。这种情形表明, 虽然还没有找到划分层次的标准, 而这种客观性应确实存在。正如恩格斯指出的, “纯粹的量的分割是有一个极限的, 到了这个极限它就转化为质的差别”^[6]。如果在划分地震活动层次时能找到一种相对性较强的层次, 无疑是极有意义的。下面讨论的“地震幕”就是一种尝试。

表5 近五百年来华北地区地震活动期各级地震频次

N	M								
		5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
第一活动期	平静期1370—1549	13	7	4	3	2			
	活跃期1550—1739	41	29	16	6	5	3	5	1
第二活动期	平静期1740—1829	8	5	3	1	1			
	活跃期1830—(2030)	69	39	16	12	6	4	4	1

2. 海源巨震在区域性强震集合中的意义——地震幕

图8是1654年天水8级、1739年平罗8级和1920年海原8.5级巨震前后几十年内南北带北段的强震活动图象。显示了每次巨震前后, 南北带北段整体都处于活动高潮。所谓地震幕就是指以巨震为主导的区域性的强震集合。综合我国大陆地区近四百年来(方志时期以来强震遗漏较少)十八个八级巨震(1654、1668、1679、1695、1739、1920、1927、1931、1950、1951)前后八十年、半径七百公里范围内的地震活动图象。表明^[7]地震幕具有下述时空特征:

- (1) 空间上跨有半径为5度(约550公里)的尺度, 特别是在 $5^\circ \pm 0.5^\circ$ 环圈内有优势分布。
- (2) 时间上有百年尺度(前后约50年), 特别是震后三十年内有优势分布。

因此我们把以巨震为中心, 时间尺度为百年、空间尺度为5度范围内的强震集合称为“地震幕”。显然, 这是一个具有时空“边界”的相对独立的层次单元, 至少在我国大陆基本上不随地而异。

高级的层次, 如 $[10^3]$ 年尺度的活动期可以看成是一系列空间相邻(并有相交)时间相继(并有相叠)的“地震幕”所组成, 亦即地震幕是组成高级层次的基本要素。此外, 纵观我国八级大震图象可见, 幕间期是强震相对平静的时期, 而幕间区则是比较稳定的地块。

然而, 地震幕也有它的不确定性, 例如多大震级算作“巨震”? 一般取八级以上, 也可以取7.5级以上。茂木清夫认为八级地震有它特殊的性质, 并命名为“巨大地震”^[8]。许绍燮等人提出7.5级以上地震为“高震级”, 并发现我国23对高震级地震的相隔距离有五百公里的优势^[9], 这恰与地震幕的5度边界一致恐非偶然。其次, 在板内地区象海原和郯城8.5级巨震可能具有比一般巨震地震幕更

高一级的层次,如前所述,其时间至少几百年,空间则超过千公里。

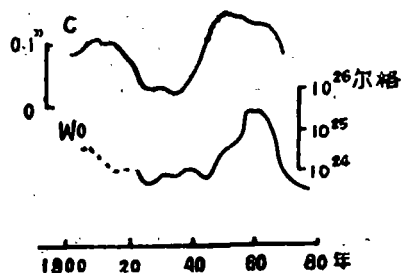


图 9a 钱德勒摆动C与大震最小应变能降 W_0

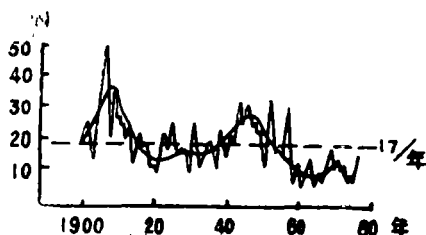


图 9b 浅源地震逐年频次

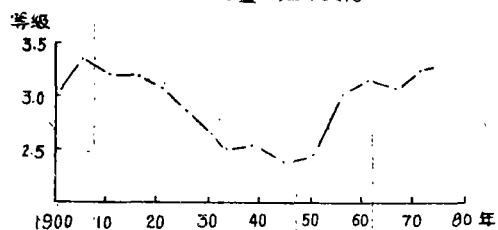
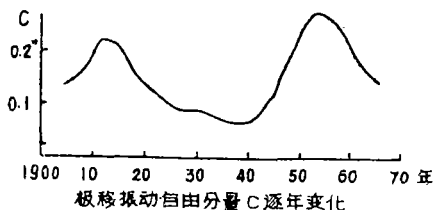


图 9c 全球气温等级五年均值随时间变化

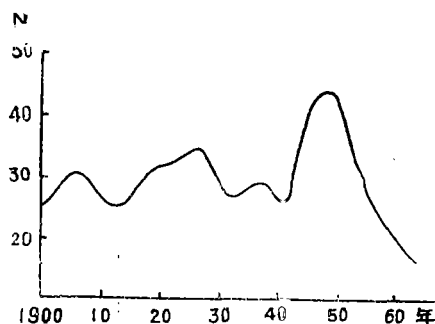


图 9d 全球火山喷发次数逐年分布

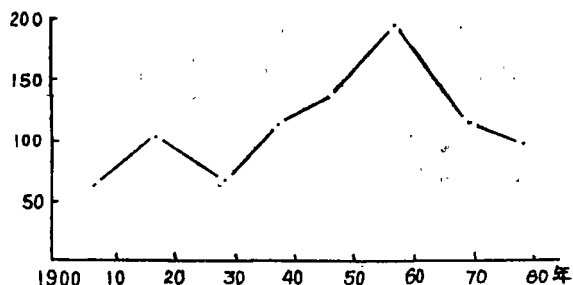


图 9e 太阳活动高年黑子数随时间变化

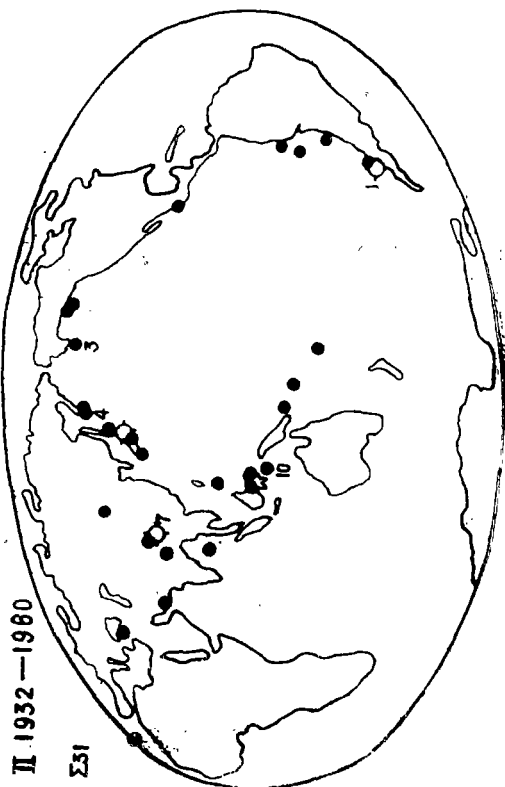
四、地震大形势的讨论

1. 高层次背景

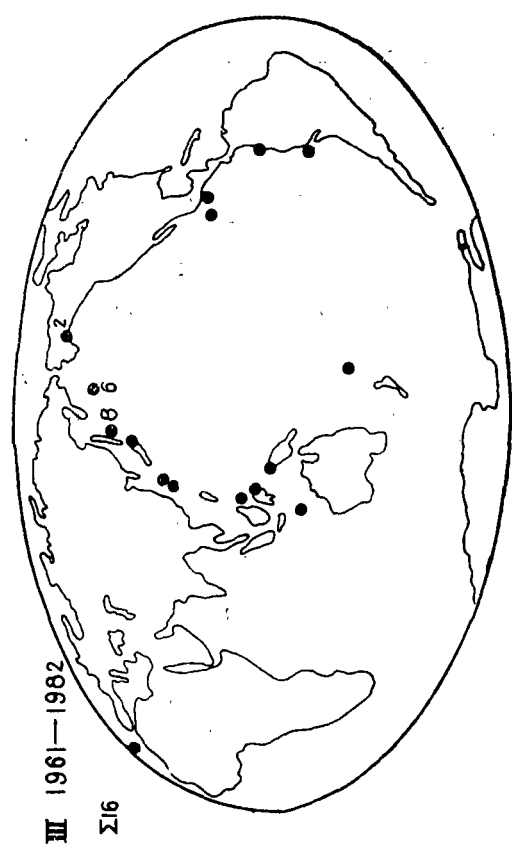
图 9 给出了全球地震能量和频次;地球自由章动振幅和周期;全球火山活动;全球气温、磁层等逐年变化曲线^[10-12]。由图可见,本世纪以来一些地球物理场在本世纪初和中期(即 1910 和 1950



10 (a)



10 (b)



10 (c)

各期地震频次表

	8.0—8.4	≥8.5
I 1904—1931	31	2
II 1932—1960	28	3
III 1961—1982	16	0

● M: 8.0—8.4

○ M: ≥ 8.5

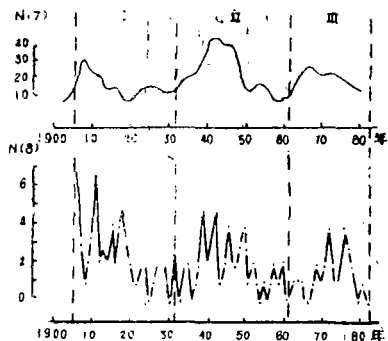


图10d 本世纪以来全球地震频次的三次高频振动反相应地区分布 [N(M) 为M级以上地震频次]

国海原、察隅和唐山地震幕的大区域背景。而现今亚洲大陆八级大震尚属空白，西北太平洋海沟八级大震相对活跃，故仍注意我国华北地区强震的继续活动。

2. 地震幕

决定或影响南北带北段地震活动主要有海原 (1920)、阿尔泰 (1957)、炉霍 (1973) 和唐山 (1976) 等地震幕，其中起决定作用的海原地震幕已于五十年代基本结束。本区以南仍处于1973年炉霍地震幕之中，1976年松潘平武7.2级地震属于该地震幕。本区西北的阿拉善地区处于1957年戈壁阿尔泰地震幕的后期，1976年巴音木仁6.2级地震和1979年五原6级地震属于该地震幕。有迹象表明，巴音木仁—五原地区可能正在酝酿新的地震幕。

显然，图1所示的1976年松平武7.2级地震前后，6级以上强震跳过武都—银川带不是偶然的，正是由于该带经历了海原地震幕的直接结果。

3. 低层次现状

南北带北段强震活动已持续平静三十多年。历史情况表明，幕间期持续约几十年。在幕间期中中强地震仍有起伏，最大震级为5—6级。相对活跃时段约10年。如1959—1971年十二年间为中强震的活动时段，本区共发生五级以上地震约15次。其后，1972—1978年，尽管华北和西南处于大震高潮，可是本地区没有发生4.5级以上地震。自1979年以来，已发生5级以上地震2次，如果这意味着进入新的中强震活动段，则将持续到八十年代末 (图11a, b)。

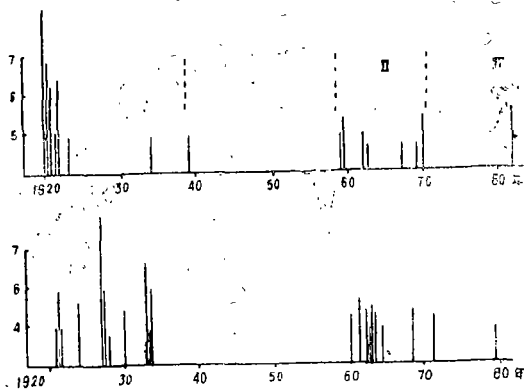


图11a 海原大震极震区M—t

图11b 宁夏—甘肃东部地区M—t

年前后) 有两个较明显的峰值，与全球地震能量和频次相对应。它们的同步性可能反映了内在的统一性，现今处于最低值以后的回升转折期，若今后以较快的速率上升，那么对中蒙大陆地区的地震活动可能有影响，至少前两次即本世纪初和中叶的情况值得参考。

图10是本世纪以来全球地震频次 ($M \geq 7$) 的三大高频振动及其相应的地区分布。比较图9和图10可见，前两期是本世纪的主要活动期，第三期即自1961年以来活动水平大为降低，这可能与1960年智利大震释放了大部份能量有关。根据前述层次性分析，对全球而言，这三期起伏是一种“高频”成份，并具有全球某些地球物理场高频成份的背景。而高频往往反映了局部性成份。如三次高频振动的相应地区依次是亚洲大陆、智利海沟 (其次是喜马拉雅—印尼地震带) 和西北太平洋海沟。可把它们看成是我

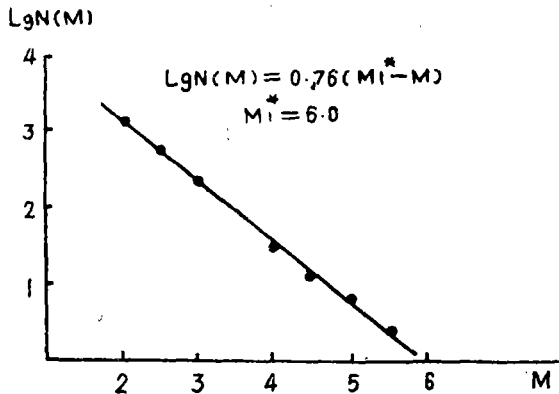


图11c 1970—1981年甘肃地区地震累计频次与震级关系图

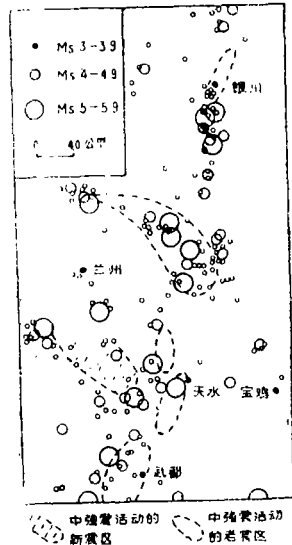


图11d 1954—1982年南北地震带武都—银川段中强地震分布图

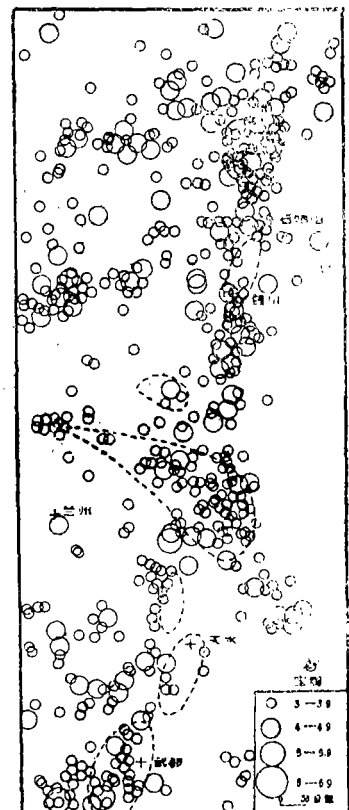
近二十多年来本区中强地震主要分布在近三百年来巨震极震区的边缘以及和政—礼县的新震区,如图11(d)所示,估计在未来一段时间内这种格局不会改变。

小结上述,本区现今处于第四活动期内海原地震幕之后的幕间期中等强度地震相对活动时段。预计未来五年内本区内部最大地震为6级(图11c),地点仍可能在水、武都、银川、古浪、海原、松潘等老震区的南北缘以及和政—礼县新震区。由于炉霍地震幕和阿尔泰地震幕的活动,还应注意茂汶——南坪和磴口——五原地区可能发生的强震对我区的影响。

若全球和中蒙大陆地区地震大形势转折发展迅速,那么由于本区及邻近地区特殊性,即属于板内地震最大释放区,则不能排除邻近地区(距海原300—500公里之外)在本世纪末进入地震幕的可能。

五、存在的问题

层次性分析方法应用于地震预报尚属尝试,不少问题有待研究。如时间尺度是无限的,但空间尺度对地学问题总是有限的,充其量不过全球尺度。地震活动的强度也是有限的。这样看来,地震活动起伏的时间尺度是否可能有限度,即存在某一个最大尺度,这是一个问题。其它地学现象如全球性气候的超长期变化是否有限度也有问题。又如,层次性划分的客观性会受到对事物认识的局限,地震活动层次的客观性是有表现的,如在空间分布和时间序列上比较清楚,而强度则比较模糊,可以说不确定性的主要因素是对震级本身认识不清楚。从物理上分析,不同震级意味着不同尺度的破裂,而破裂过程似乎与尺度无关,即从微破裂到

图12 南北地震带武都—银川段1970—1980年震中分布 (M_L ≥ 3.0)

8—9级巨震大破裂似乎只有量的差异而无质的区别,因之不难理解何以对不同震级的地震活动难以找到分等划级的客观标准或依据。尽管如此,层次性分析方法仍是综合预报的有力工具。它有助于从千变万化的地震活动图象中理出头绪,有助于对区域震势认识的丰富和深化。近几年来,我们试将其应用于年度或更长期的地震大形势分析中已初见成效。所作的判断与实际基本符合、避免了虚报、抑制了地震谣言,并有助于分析处理近年多起成批异常震情事件以及对我区中强地震作出估计或觉察。在考虑前兆资料和环境因子时,实际上也是按不同层次来进行分析。因之进一步应用、研究和完善该方法是有必要的。

- 1 郭增建等, 1974, 地壳块体周围地震发生的迁移呼应现象。(油印本)
- 2 韩渭滨等, 1979, 四川省中期预报初步总结, 四川地震战线, 1—3期。
- 3 李海华等, 1980, 甘肃地区震场的初步分析, 1980年甘肃省商会材料。
- 4 高旭、马宗晋 1981, 地震大形势与地震综合预报(油印本)

参 考 文 献

- [1] 马宗晋、郑大林, 1981, 中蒙大陆中轴构造带及其地震活动, 地震研究, 4卷4期
- [2] 梅世蓉, 1960, 中国的地震活动性, 地球物理学报, 9卷1期
- [3] Matuzawa, T., 1964, Study of earthquakes. UNO Shoten Tokyo, Japan, 213p.
- [4] Тамразян Г.П., 1962, О периодичности сейсмической активности в течение последних полутора двух тысяч летий, Изв. АН СССР, Сер. геоф., №1.
- [5] J. P. Poirer, 1980, Historical Seismicity in the Near and Middle East North Africa and Spain From Arabic Documents B.S.S.A., 70, 6, 2185—2201
- [6] 恩格斯, 自然辩证法, 马克思恩格斯选集三卷486页, 人民出版社、1972年版。
- [7] 李海华等, 1982, 甘肃地区震势场的综合分析、西北地震学报, 4卷3期
- [8] 茂木清夫, 1976, 巨大地震论, 数理科学, NO158
- [9] 许绍燮, 沈佩文, 1980, 地震与地壳屈曲, 地震战线, NO1
- [10] 金森博雄, 1977, The Energy Release in Great Earthquakes Journal of Geophysical Research, Vol82, NO20, P2981—87
- [11] 高旭、刘滨兴, 1981, 全球地震活动与宇宙环境的关系, 地震, 3期
- [12] В. И. Влодавеу, Труды Второго Всесоюзного Вулканологического Совещания, 8—17, Сентябрь 1964.