

中亚、东亚大陆地震活动特征

时振梁 环文林 卢寿德 鄢家全

(国家地震局地球物理研究所,北京)

摘 要

本文根据广泛分布在中亚、东亚大陆地区 6 级和 6 级以上的地震资料、浅源大地震断层面解结果,以及地质构造方面的资料,讨论了大陆地震活动的区域特征,大陆地震活动和板块构造的关系,以及地震区内大地震活动的发展演化过程。

中亚和东亚大陆处于全球二大地震系之间,西太平洋地震系从本区东缘岛弧一带通过,地中海-喜马拉雅地震系从中亚大陆内部通过。这个地区地震分布广泛,强度大,且绝大部分地区都是浅源地震,有许多重要城市正处在地震活动带上,因此,大陆内部的地震活动对人类更具危险性。

一、大陆地震的区域特征

中、东亚大陆各地区地震活动的强度、频度、震源深度、地质构造和地震断层面解等方面有明显的地区性差别,据此可将本区分为 12 个强震活动区(图 1)。

1. 强震分布

本区共记录到 $M \geq 6$ 级地震 2,738 次,其中大陆内部 924 次,记录到 $M \geq 8$ 级地震 75 次,大陆内部 33 次。各地震区地震活动情况见表 1。

喜马拉雅南缘、青藏高原南部、中部和北部四个地震区大致相互平行,呈近东西转南北的弧形分布。前二地震区的地震强度和频度均很高,它们是地中海-喜马拉雅地震系的一部分;青藏高原中部地震区只记录到一次 8 级地震,但中强地震频繁发生;青藏高原北部地震区地震强烈(如 1920 年海原地震, $M = 8 \frac{1}{2}$),但地震频度比前者低得多;兴都库什、帕米尔-西昆仑地震区的地震多为中源地震,这里还没有记录到 8 级和 8 级以上的地震;天山地震区的强震分布在天山山系南北两侧,地震强度和频度仅次于青藏高原南部地震区和喜马拉雅南缘地震区;阿尔泰地震区在 1931 年和 1957 年先后发生了 8 级大地震,而 6—7 级地震不多;抗爱山地震区在 1905 年连续发生了两次 8 级地震,地震带的形态只能从 8 级大地震形成的破裂带辨认;华北地震区自十一世纪以来共记录到 $8 - 8 \frac{1}{2}$ 级地震 6 次,6、7 级地震百余次,这里的地震强度高,但频度相对较低,强震集中分布在六个带^[1];东南沿海地震区的 4 次 $M \geq 7$ 级地震

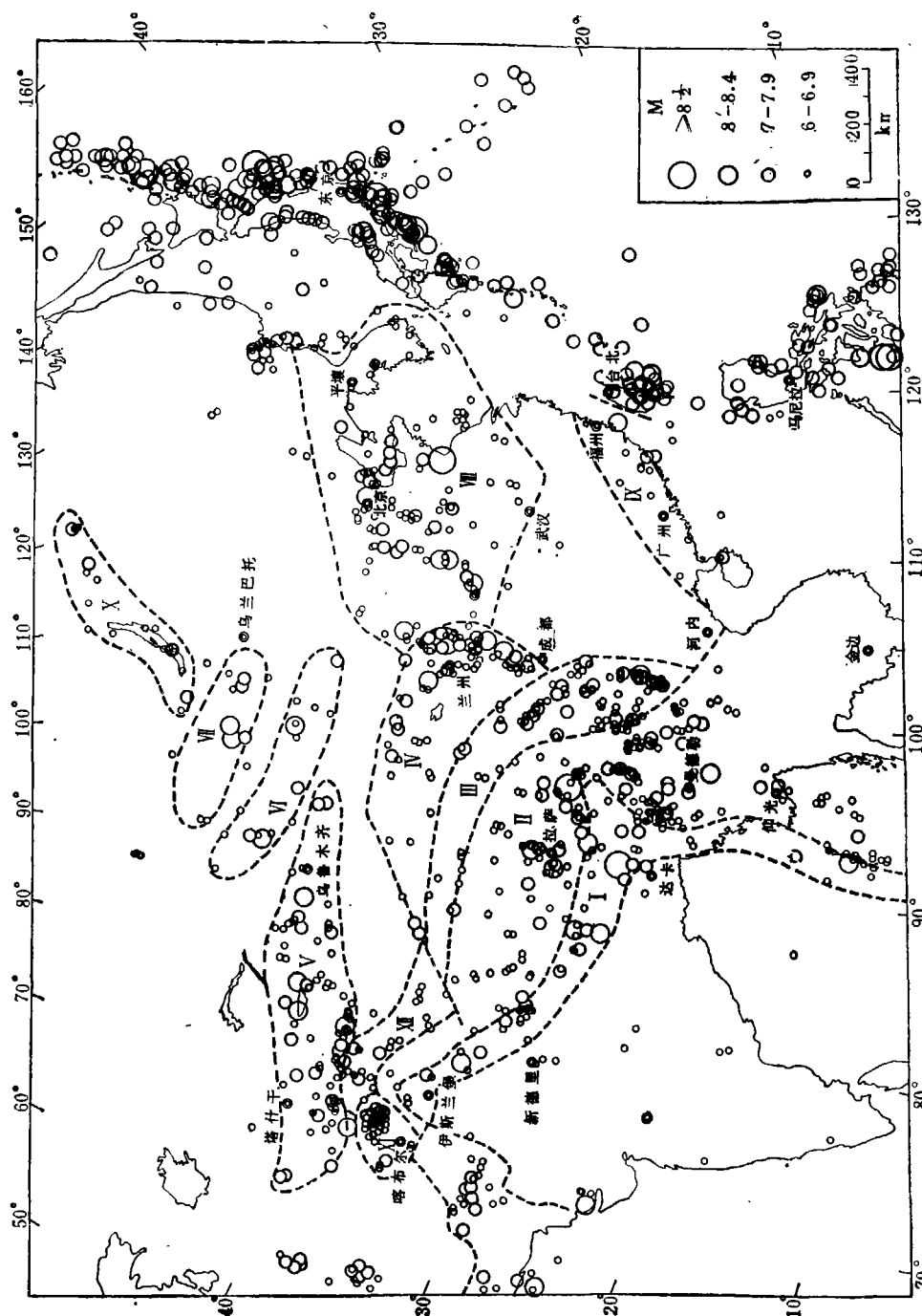


图1 中亚和东亚强震分区图(公元前780—1979年)

I——喜马拉雅南缘地震区; II——青藏高原南部地震区; III——青藏高原中部地震区; IV——青藏高原北部地震区; V——天山地震区;
 VI——阿尔泰山地震区; VII——抗爱山地震区; VIII——华北地震区; IX——东南沿海地震区; X——贝加尔地震区; XI——兴都库什地震
 区; XII——帕米尔—西昆仑地震区。

表 1 中亚、东亚大陆地区各地震区各级地震次数统计表(公元前 780—1979 年)

编 号	地 震 区	地震总数	各 级 地 震 数				资料起始时间
			6—6.9	7—7.9	8—8.4	≥8.5	
1	喜马拉雅山南缘地震区	62	45	12	4	1	1714
2	青藏高原南部地震区	188	159	24	4	1	1264
3	青藏高原中部地震区	117	97	19	1		814
4	青藏高原北部地震区	74	51	19	3	1	公元前 193
5	天山地震区	81	60	16	5		1765
6	阿尔泰地震区	19	14	3	2		1915
7	抗爱山地震区	12	7	3	2		1898
8	华北地震区	120	99	15	5	1	公元前 780
9	东南沿海地震区	16	12	3	1		1067
10	贝加尔地震区	19	15	4			1814
11	兴都库什地震区	97	82	15			1907
12	帕米尔-西昆仑地震区	24	21	3			1895

均在沿海一带,相邻的内陆和海峡大地震不多;贝加尔地震区的地震频繁,但强度不很高,历史上还没有发生过 8 级以上的地震。

2. 震源深度

在中亚和东亚大陆内部,除由岛弧延伸过来的深震和大陆板块汇聚带上的中源地震外^[2],广大地域均为地壳内的浅源地震,根据中国地震台网地震观测报告和国际地震中心 (ISC) 1966—1980 年所测定的震源深度资料,各地震区的浅源地震震源深度分布具有以下特点。

喜马拉雅南缘、青藏高原南部和天山地震区震源深度可达 40—70 公里;青藏高原北部、阿尔泰、抗爱山和贝加尔地震区均有较多的 31—45 公里深的地震;然而,青藏高原中部地震区的川滇一带,近年来发生的一些大地震,震源深度均在 20 公里以内;华北地震区的震源深度较浅,均在 25 公里以内;东南沿海地震区的地震都很浅,一般在 10 公里左右。地震震源深度分布似乎和当地的地壳厚度有关,东亚地区的地壳厚度约为 30—45 公里,震源深度在 25 公里以内,而中亚地区的地壳厚度在 45—70 公里,震源深度也随之加深。在板块汇聚带则有中深源地震分布。

3. 地质构造

中亚和东亚大陆是由古陆台到年轻褶皱带组成的构造复合体,区内活动断裂纵横,有最新地质时期形成的,也有继承老构造重新活动的大断裂,断裂的规模、形态、性质随地而异,大致可分为四大构造体系:

(1) **东西向古生代构造体系**^[3] 对本区地震活动具一定控制作用,如燕山-阴山褶皱带和秦岭-大别山褶皱带把东亚大陆分隔为东北、华北、华南三个地震活动性各不相同的区域。中亚的天山、阿尔泰、抗爱山近东西向褶皱带受到中、新生代构造运动影响再度复活,地震沿东西向构造格架活动。

(2) **青藏高原弧形构造系**^[3] 从喜马拉雅南缘地震区到青藏高原北部地震区是由新生代褶皱带直到古生代褶皱带组成的构造复合体。由于受到印度板块碰撞的影响,形成了一系列与印度河-雅鲁藏布江板块缝合带大致平行的弧形构造,地震分布随弧形构造转折,弧顶附

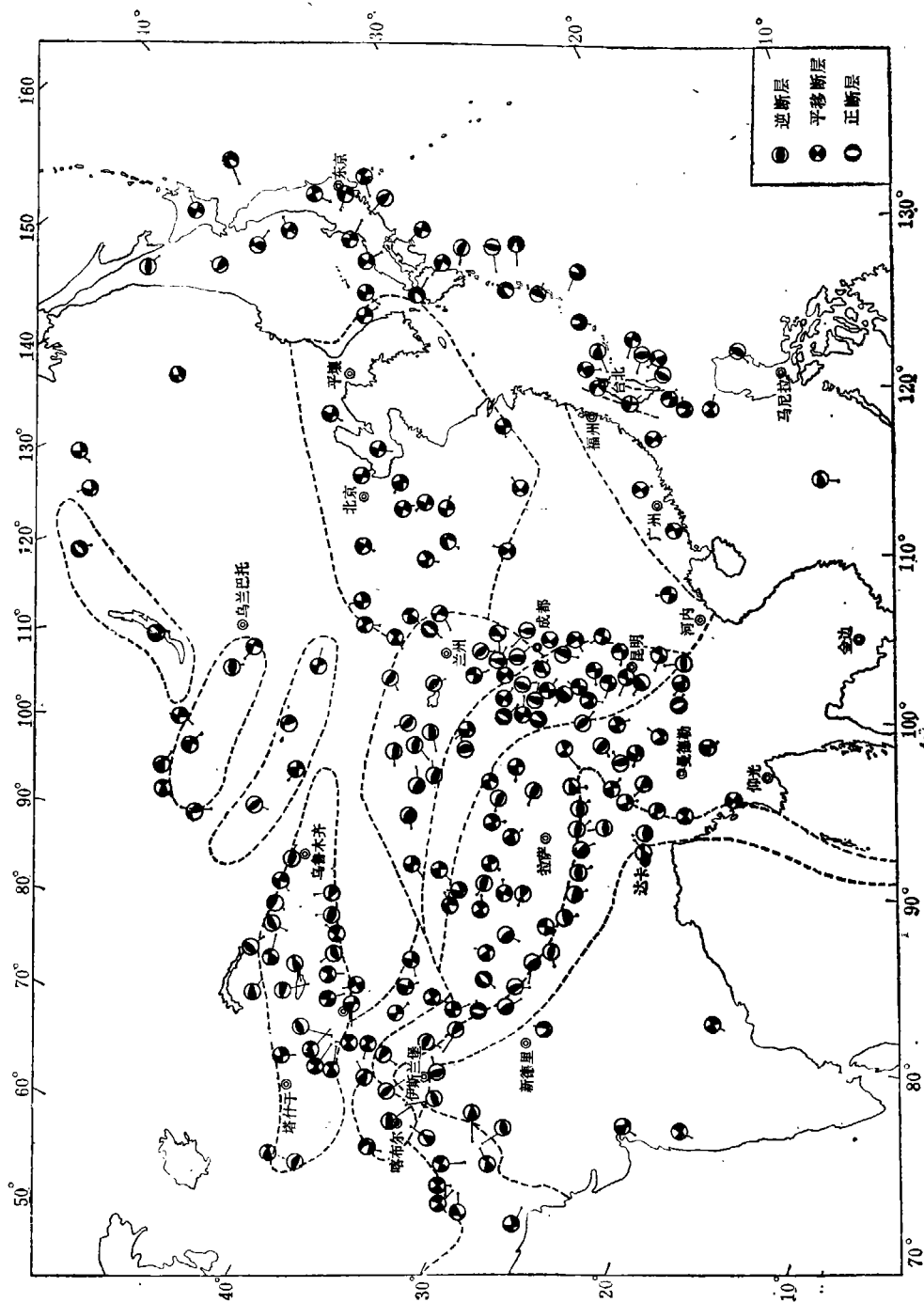


图 2 中亚和东亚地区地震断层解面分布图

近的地震活动最强烈。

(3) **东亚北东-北北东向构造系**^[3] 华北地震区是以前寒武岩系为基底的古陆台区,中、新生代经历了多次构造变动,特别是晚第三纪—第四纪的构造运动,形成一系列北东—北北东向右旋斜列式地堑或断裂带,这些构造带也是现代强震活动带^[4]。东南沿海的地震活动与沿海的北东—北东东向构造活动有关。

(4) **贝加尔裂谷系** 贝加尔地震区是在西伯利亚地台上发展起来的裂谷带,第四纪断层活动强烈,大地震均分布在裂谷带内。

4. 地震断层错动性质

作者统一处理了本区 264 个浅源大地震的断层面解(图 2),这些结果和大地测量以及地震地质资料都说明地震断层的错动性质具有明显的区域特征。

喜马拉雅南缘地震区的喜马拉雅南坡几乎都是逆掩断层活动,那加山-阿拉干山地段是逆冲兼右旋走滑性质;青藏高原南部地震区的弧顶部分多为逆断层活动,发生在弧顶的 1950 年墨脱-察隅 8.6 级地震是带有右旋走滑分量的逆断层^[5],南段为具有逆冲分量的右旋走滑断层,西段是带有逆冲分量的左旋走滑断层或逆断层;青藏高原中部地震区多为左旋走滑性质;青藏高原北部地震区则以高角度逆冲断层为主,1920 年海原 $8\frac{1}{2}$ 级大地震同六盘山一带的逆断层活动有关;天山、阿尔泰和抗爱山地震区的地震多与山前逆冲兼走滑性质的断裂活动有关;华北地震区近年来发生的一系列大地震,多数为北东—北北东向右旋走滑或兼正断层分量的右旋走滑断层活动,个别地震为与之共轭的北西西向左旋走滑断层活动;东南沿海地震区是以北东走向兼逆冲分量的右旋走滑断层活动为主;贝加尔地震区是亚洲大陆内部的现代裂谷带,这里的地震断层面解都是张性的正断层^[6]。

二、大陆地震活动与板块运动

1. 地震活动的重复周期

亚洲悠久的历史地震资料显示了地震区内的地震活动随时间分布是不均匀的,有的时段相对平静、有的时段显著活动,而且两种活动状态周期性地重复着。

青藏高原上各地震区地震活动的重复周期各不相同(图 3)。板块汇聚带两侧的青藏高原南部地震区和喜马拉雅南缘地震区,自 1897 年以来,大约经历了 1897—1916, 1934—1956 两个活动阶段,其间的 1917—1933, 1957—1975 年为相对平静阶段,活动阶段或平静阶段的重复周期约 35—40 年。青藏高原中部地震区的地震活动随时间有自南向北迁移的趋势,其平静阶段和活动阶段仍显示出周期性,自 1500 年以来,大约经历了五次活动期,其重复周期约为 100 年左右。青藏高原北部地震区地震活动重复周期约 300—350 年。

自东北日本、西南日本到华北地震区,同样显示了不同的地震活动重复周期。东北日本自 1840 年以来大约重复出现了四次显著活动阶段,其地震活动的重复周期约 35—40 年。西南日本自 18 世纪以来可划分出三次显著活动阶段,重复周期约 100 年^[7]。华北地震区自公元 1000 年以来经历了 1209—1368, 1500—1739, 1830—现今的三次活动阶段,显示了该区约为 300—370 年的重复周期。

台湾东部、台湾西部和东南沿海地震区的地震活动也存在不同的重复周期,它们分别为

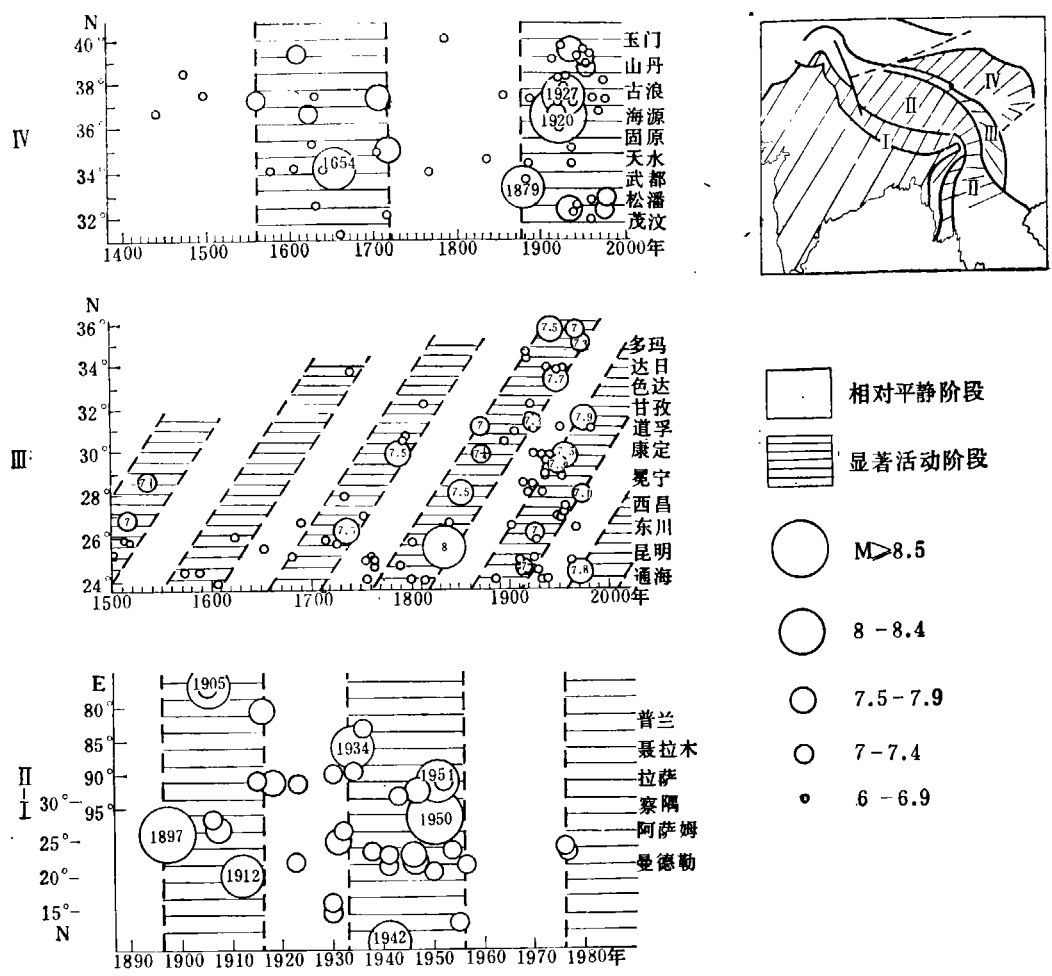


图 3 青藏高原各地震区浅源大地震时、空分布图(分区编号同图 1)

30 年左右, 100 年左右和 300 年左右。

以上事实说明, 板块汇聚带附近的地震区, 地震活动的重复周期短, 一般只有 30—40 年, 与茂木清夫的结果相似^[8]。而离开板块边界向大陆内部, 地震活动的重复周期由 100 年左右到 300—400 年有规律地逐渐增长。地震活动重复周期从板块边界向大陆内部连续递增的分布图象, 支持了大陆内部地震活动与板块运动有着密切联系的观点。

2. 地震活动的 b 值分布

描述震级-频度关系曲线 ($\lg N = a - bM$) 的 b 值大小, 代表着各个地震区地震活动性的不同。茂木认为, 它可能和当地的介质性质与应力状态有关。图 4 为各地震区的震级-频度关系曲线和 b 值分布。A 组为喜马拉雅南缘地震区、青藏高原南部、中部和北部地震区的 b 值曲线。b 值分别为 0.72, 0.91, 0.76, 0.60; B 组为兴都库什、天山和阿尔泰山地震区的 b 值曲线, b 值分别为 0.87, 0.68, 0.46; C 组为台湾东部、台湾西部和东南沿海的 b 值分布, 它们分别为 0.86, 0.68, 0.57; 华北地震区的 b 值为 0.62, 贝加尔地震区的 b 值为 0.60。b 值的区域性变化特征, 显示了地壳的应力状态有从板块边界向大陆内部连续递减的分布图象。

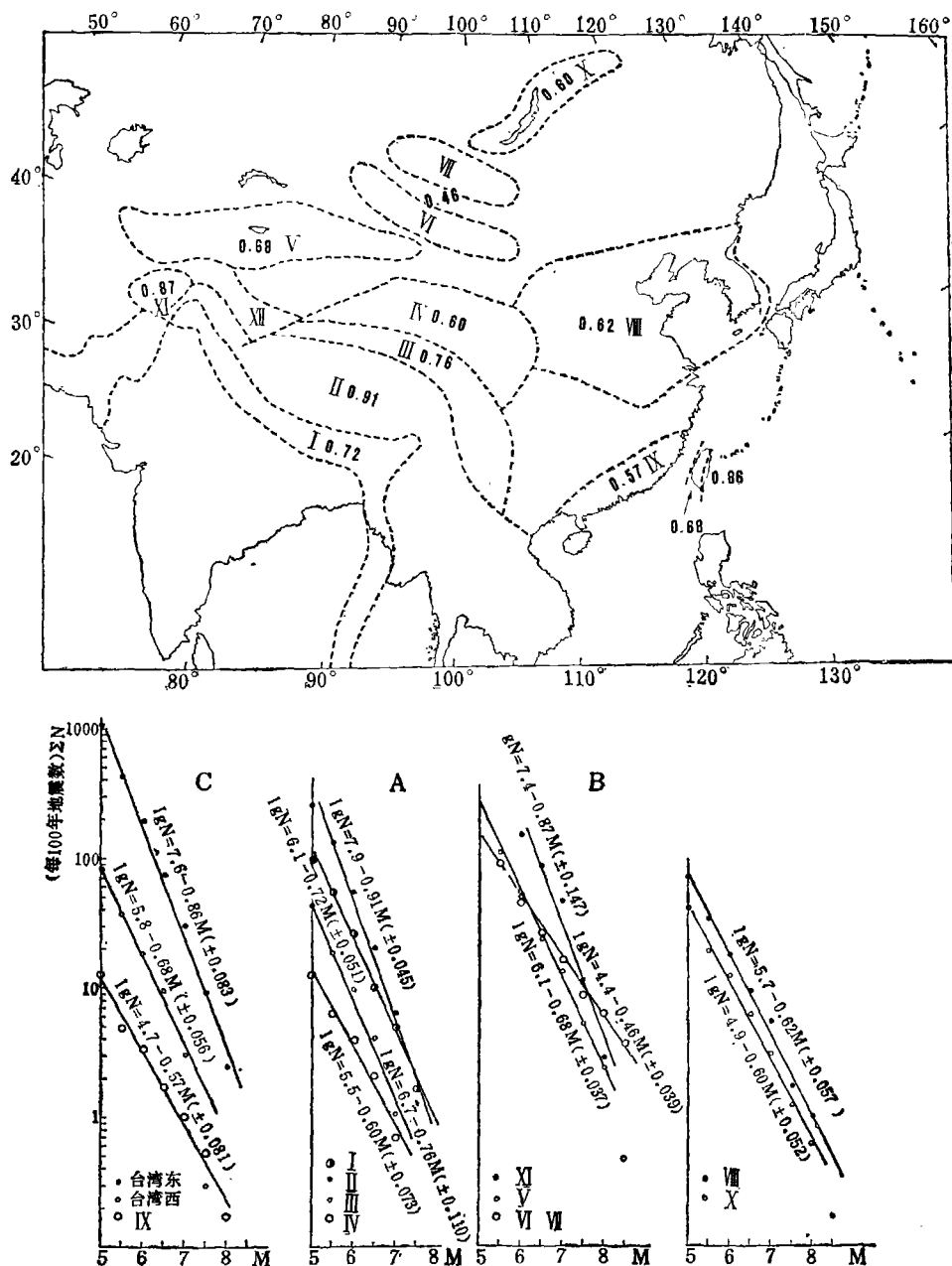


图4 中亚和东亚各地震区 b 值分布图(分区编号同图1)

3. 现代构造应力场

由地震断层面解得到的主应力轴分布表明,中亚、东亚地区有两大应力系统(图5)。其一是中亚地区的近南北—北北东方向的水平挤压应力场。从印度陆台经喜马拉雅山、青藏高原、天山、阿尔泰山直到抗爱山,纵长约 4,000 公里的广大地域,主压应力轴多数是近水平的,其轴向几乎都是近南北到北东方向,只有青藏高原东部边缘地带,从北至南,主压应力轴有规律地

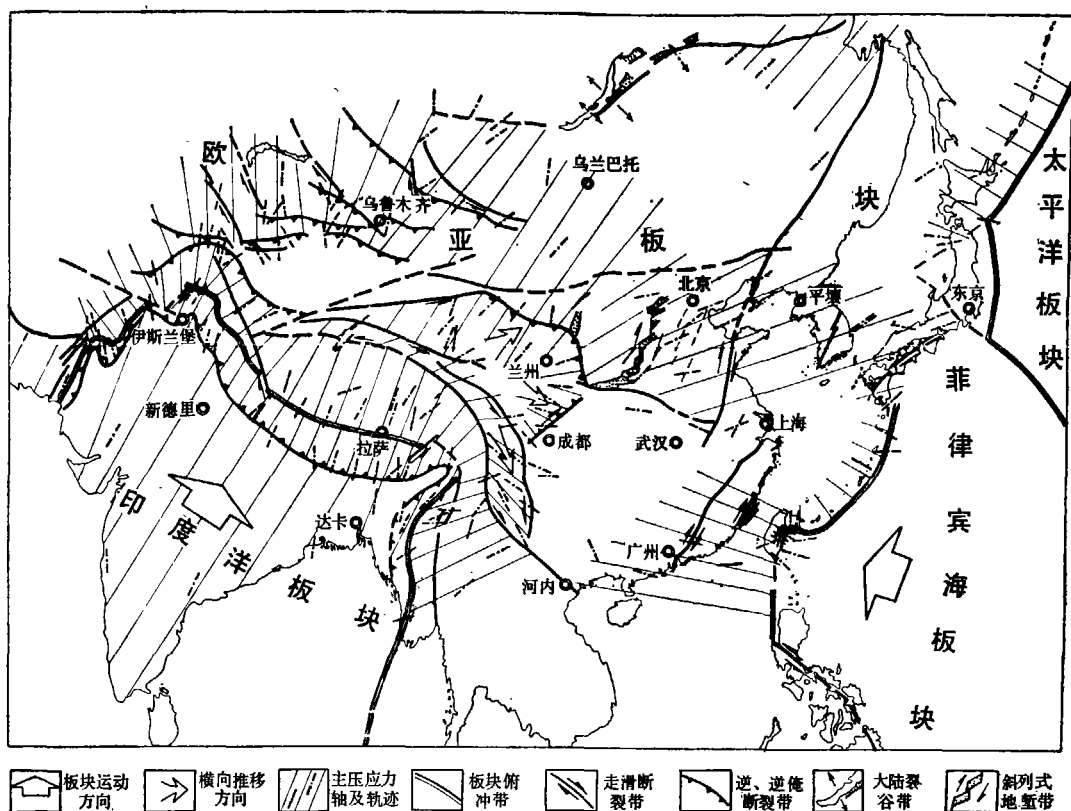


图5 中亚和东亚构造应力场和构造形变场分布图

自北东东逐渐转变为南东方向。

另一应力系统是亚洲东部大面积的近东西方向水平压应力场。其中华南、华北略有差别。从台湾东部、琉球群岛到东南沿海地震区的主压应力轴均是北西西向；从西南日本、朝鲜半岛到华北地区均为北东东方向。

除上述两大应力系统外，贝加尔地震区的主压应力轴近于直立，主张应力轴是近水平的北西方向。

在如此广大范围内主压应力轴方向的一致性表明，地壳局部地区的构造力是不可能造成的，它必定和这两大应力系统相适应的地球深部构造运动有关，很可能和岩石圈板块构造运动有密切关系。

三、强震活动的演化过程

虽然中亚、东亚大陆各地震区地震活动重复周期的长短不同，但地震活动都经历了从相对平静到显著活动阶段的演化过程，即能量积累和释放的过程，称为一次地震活动期。

以本区发生过 $8 \frac{1}{2}$ 级地震的三个地震区为例，选用地震频度随时间分布曲线，地震时、空分布图，应变积累和释放曲线^[1]来探讨这些特大地震与区内地震活动的关系。

图6显示了青藏高原南部地震区和喜马拉雅南缘地震区的演化过程。1918—1956年是

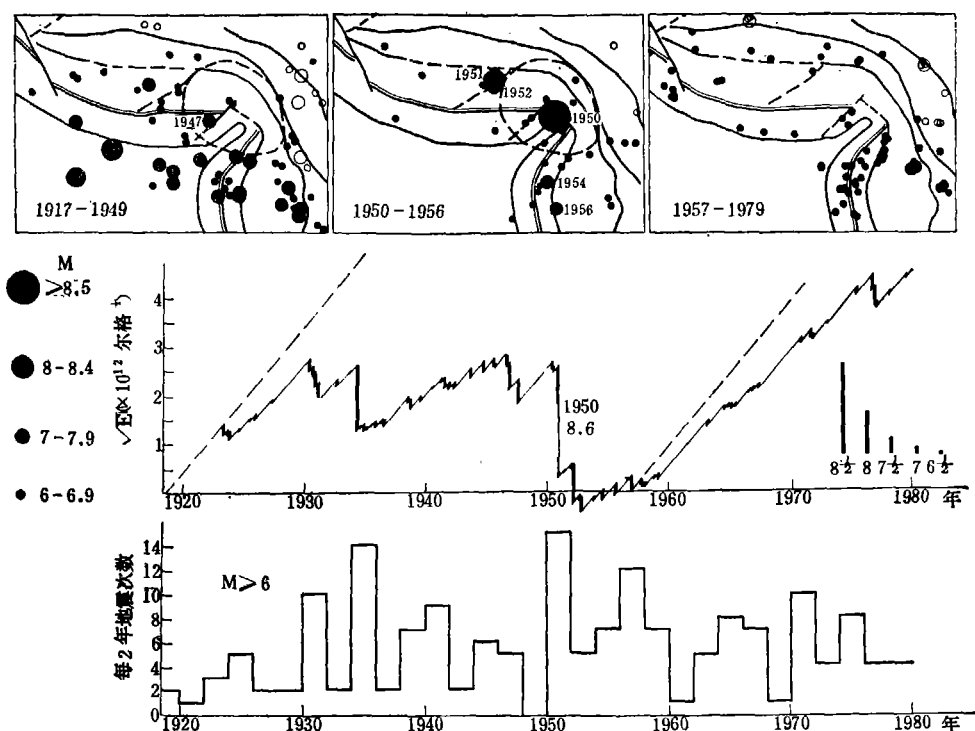


图6 青藏高原南部和喜马拉雅南缘地震区地震活动演化过程

该区最完整的一次地震活动期。1918年到1929年为相对平静阶段,1930年后,地震活动的频度逐渐增加,强度逐渐增强。1930—1947年间发生了8.3级地震1次,6— $7\frac{3}{4}$ 级地震57次,这些地震分布在该区的西部和南部,而在弧顶地段形成空区。1947年在空区内发生了 $7\frac{3}{4}$ 级地震,此后整个地震区的地震频度迅速下降到最低点。三年后在空区内发生了1950年8.6级的墨脱-察隅大地震,1951年又发生了当雄8级大地震。此后地震活动逐渐衰减,结束了这一活动期。

青藏高原北部地震区,从1719年到现在是该区最新的一次地震活动期。1719—1836年为相对平静阶段,只发生二次6级地震,1837—1888年间地震频度增加,强度增大,并在弧顶地段形成空区。1889—1919年,全区地震活动相对平静,1920年在围空区内发生了该区最大的海原 $8\frac{1}{2}$ 级地震,紧接着又发生了1927年古浪8级地震和一系列7级地震,而后,地震频度和强度随之逐渐衰减。

图7为华北地震区的地震活动演化过程。1369—1739年是该区最完整的一个地震活动期,1369—1483年为平静阶段,没有记录到6级以上地震。1484—1626年,地震频度逐渐增加,强震不断发生,而在山东半岛一带却异常平静,形成空区。1627—1667年40年内,地震频度又显著下降,于1668年在空区内发生了华北地震区有史记载以来最大的 $8\frac{1}{2}$ 级大地震,接

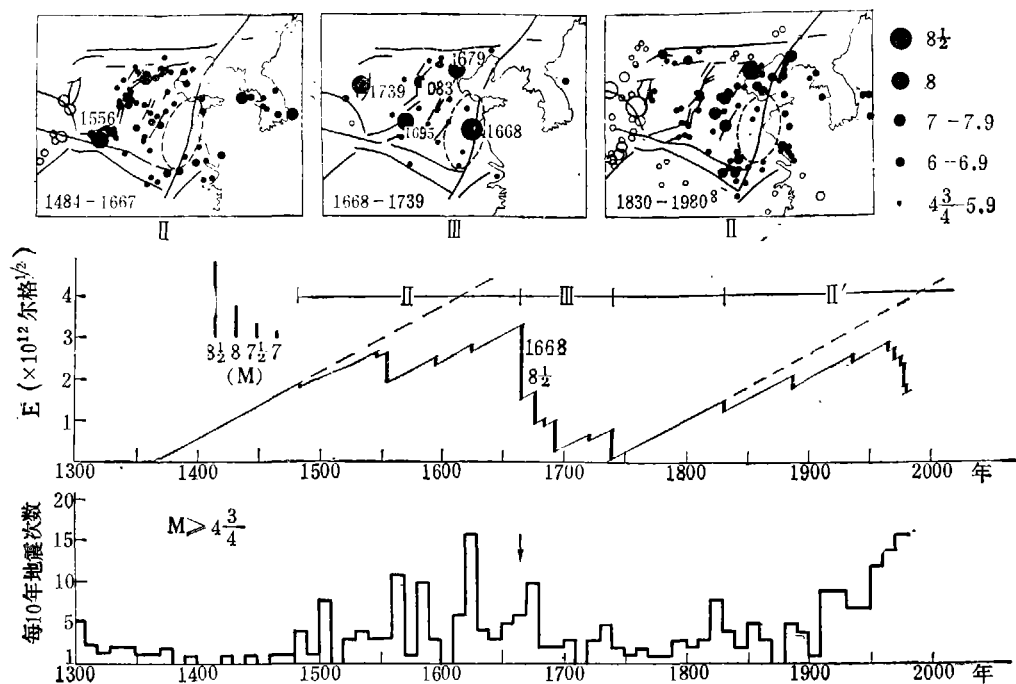


图 7 华北地震区地震活动演化过程

着又发生了 1679 年三河、平谷 8 级大地震, 1695 年山西临汾 8 级地震和 1739 年银川 8 级地震, 随之结束了这次活动期。

上述事例表明, 这些地震区内地震活动均有一个共同的演化过程: 相对平静阶段→大震前的前震活动阶段→临大震前夕的相对平静→大震活动阶段→余震活动阶段。可见, 一个地震区内的地震活动是相互联系的, 大地震是大范围、长时期孕育、发展的结果。

参 考 文 献

- [1] 时振梁、环文林等, 地球物理学报, **17**(1974), 1: 1—13.
- [2] 环文林、汪素云等, 地球物理学报, **23**(1980), 3: 269—280.
- [3] 黄汲清、任纪舜等, 地质学报 **51**(1977), 2: 117—135.
- [4] 环文林、时振梁等, 地质科学 1982, 2: 179—190.
- [5] 鄢家全、时振梁等, 地球物理学报, **24**(1981)4: 285—293.
- [6] Golonetsky, S. I., et al., *Tectonophysics*, **45** (1978), 1: 71—85.
- [7] Masataka Ando, *ibid.*, **25** (1975), 1—2: 69—85.
- [8] Kiyoo Mogi, *ibid.*, **22** (1974), 3—4: 225—228.