

甘肃地区地震活动特征

张 诚

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文研究了甘肃及邻近地区最近一个平静期的地震活动特征。主要讨论了: 1) 小震、中强震是围绕在本世纪历史强震震中区分布在断裂带上或交汇地区及弧形构造的顶部, 震源绝大多数分布在地壳中10—30公里的范围; 2) 1966—1979年甘肃地区小震、中强震的频度和活动强度曲线的峰值与滇川青地区 $M_s \geq 6.5$ 级强震有同步性。对比年、季、月的频度曲线可以提取外区强震发生前的前兆信息, 并指出分区频度曲线对应外区强震在时空方面的不均匀性; 3) 由青藏高原构造运动所控制的滇川青与甘肃地区的地震迁移特点, 表现为南强北弱和南北强震呼应两种类型。并且, 总是甘肃地区处于平静阶段时, 滇川青地区处于活动高潮阶段。

据我国强地震简目^[1]记载, 1956—1979年, 我国大陆(除吉林深震区)共发生6.0—6.9级地震88次, 7.0—7.9级地震15次, 其间, 青藏高原东部(滇川地区)和东北部(青海地区)发生6.0—6.9级地震29次, 7.0—7.9级地震6次, 华北地区发生6.0—6.9级地震8次, 7.1—7.4级地震4次, 7.8级1次。这两个地区是大陆上近年来地震活动最强烈的地区。1956—1965年, 全国大陆共发生6.0—6.8级地震25次, 7.0级地震1次, 地震活动水平较低。1966年、1970年, 华北平原和青藏高原东部相继进入地震活动高潮。在青藏高原边缘和华北地区, 6级以上的地震分别留出了一些相对平静的地区, 西部是甘肃、祁连山和六盘山地区, 这些地区历史上都发生过强烈地震, 在本世纪二十一五十年代处于活动高潮。1955年以来, 平静了25年, 没有发生 $M_s \geq 6$ 级地震。本文所讨论的甘肃地区的地震活动, 在时间上处于二十世纪我国地震活动的最近一个高潮期, 在空间上位于青藏高原的东北边缘(包括邻省的部分地区, 见图1), 是大陆内部主要断块挤压的地区^[2]。地震活动的总趋势是: 小震、中强震时起时伏, 与滇川青地区的强震发生相对应。文中拟对全区和四个分区从地震分布、地震频度、活动强度、b值和地震迁移等方面, 讨论相对平静期的地震活动特征, 以及与外区强震的活动关系。

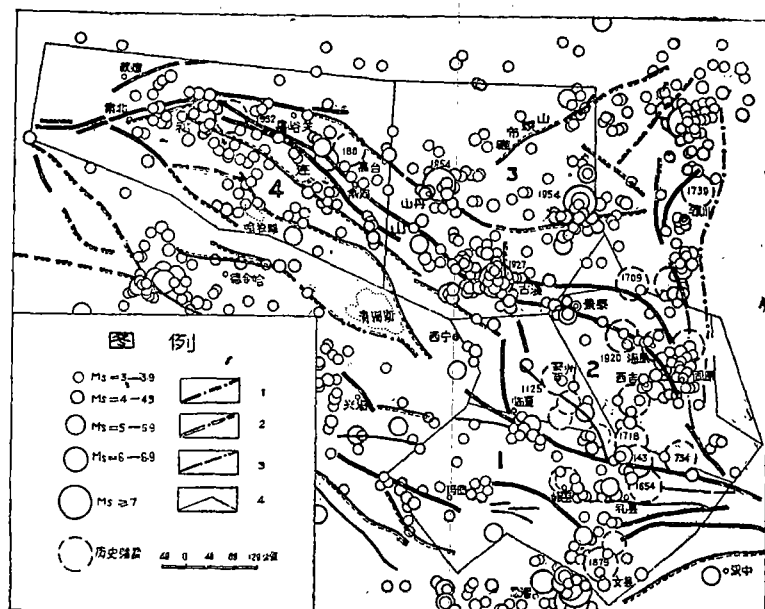


图1 1954—1979年甘肃及邻近地区震中分布图 ($M_s \geq 3$)

1. 深大断裂带 2. 活动性深大断裂带 3. 一般断裂带 4. 分区边界线

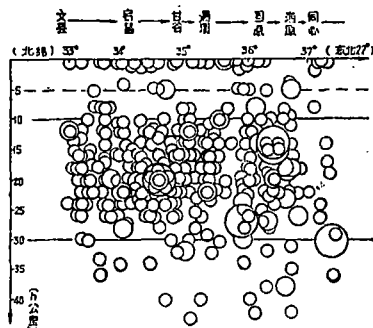
一、地震分布

1. 小震分布与断裂带的关系 从图1可以看出, 1954年以后, 3—5.7级地震的分布与断裂带有密切关系, 绝大多数地震发生在断裂带上或其转弯、交汇地区。在1区(武都—天水—临夏—玛曲地区), 地震主要发生在武都—礼县—天水一线历史强震以西地区。武都、文县、宕昌弧形构造顶部地震较密。从武都经宕昌、岷县到临夏, 1970年以来显示出一条北西向地震带, 它横穿西秦岭多条东西向断裂带, 这条带的两端和中间历史上也发生过强地震。另外, 在礼县、甘谷、陇西之间的地区地震也较多。在2区(固原—景泰地区), 地震密集于西吉、海源、固原地区。南、西华山—六盘山断裂带和固原—青铜峡断裂带在那里复合。1957—1972年, 3—5.5级地震沿泾源—海源北西向断裂带分布, 1973—1979年, 3—4.4级地震沿陇西—固原—同心方向的断裂带分布, 至今, 该区仍未发生大于5.5级的地震。在3区(古浪—山丹—雅布赖地区), 深断裂带围限的古浪、武威、门源地区地震最多。其次是民勤东侧地区、山丹地区地震集中成团, 且都位于北山深大断裂带上。在4区(肃南—肃北地区), 地震展布在祁连山各断裂带上, 向西止于阿尔金山断裂带与祁连山断裂带交汇的地区。北山断裂带上地震较少。

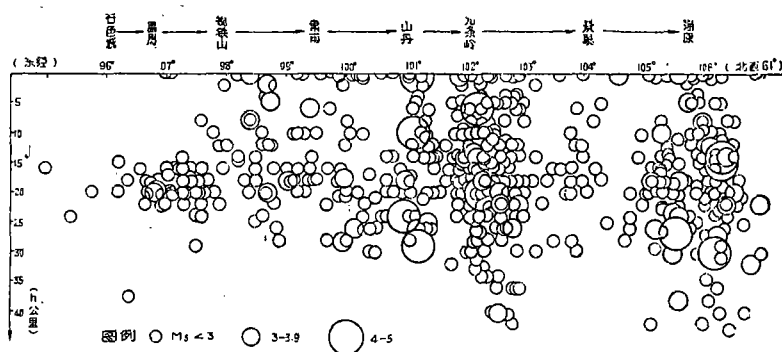
2. 小震、中强震围绕强震震中分布 小震、中强震主要是围绕着本世纪历史强震震中分布, 而且向一定方向延展。如1920年海源8.5级震中区, 小震向东南方向延展。1927年古浪8级震中区, 小震分布于该震中以西地区。1954年山丹7.4级和民勤7级地震, 小震是围聚在大震震中区。但是, 雅布赖山区近年小震增多。深大断裂带上的许多强地震, 往往发生在余震或通常的小地震延展带的端部。因此, 上述的小震活跃延展区, 都可能是下次活动

高潮期发生强震的部位。

3. 震源分布在地壳中 图2 a、b是甘肃地区的震源剖面图, 相应的震中分布见图2 C。震源深度绝大多数是用 $\bar{P}$ 波初至时刻的迭代法^[8]计算的, 选取结果时, 附加了条件, 残差 ≤ 0.6 , 波速 $V_P = 5.70-6.20$ 公里/秒, 发震时刻与走时表^[4]结果的最大偏差为 ± 2.3 秒, 震中位置经纬度与交切法结果的最大偏差为 $\pm 0.3^\circ$ 。这样选取的深度, 对于震中附近有台站的情况, 可以准确到 ± 5 公里。考虑到资料较多, 深度分布的优势结果是可信的。图2 a是文县—同心北东 22° 走向剖面图, 主要是1区和2区东部的地震。图2 b是固原—古浪—昌马北西 61° 走向剖面图, 是2、3、4区的地震。从全图看出, 甘肃地区的震源都分布在地壳中, 目前还未发现莫霍界面下有震源。1—5公里层中间几乎没有地震, 绝大多数地震分布在10—30公里的深度。在九条岭、西海固地区, 地震分布在5—40公里的深度。这说明甘肃地区的深大断裂带延伸到地壳的下部。



(a) 文县—同心北东 22° 走向剖面



(b) 固原—古浪—昌马北西 61° 走向剖面

图2 甘肃地区震源深度剖面图

二、外区强震前后, 甘肃地区地震频度的变化

图3 a给出了青藏高原和华北地区6级以上地震的年频度曲线。又据甘肃省的地震观测资料¹⁾, 图3 b、c给出了甘肃地区 $M_s \geq 2$ 级的年、季、月三种地震频度曲线, 图3 d—g给出了四个分区的年和季地震频度曲线。曲线上部标出了相应时期滇川青和华北地区发生的强地震, 表1给出了相对频度值($\geq 8\%$)。分析这些曲线和相对频度值, 可以明显地看出, 不管是全省还是四个分区曲线的频峰都与外区的强震发生有关, 并且可以找到某些前兆信息。王泽皋^[5]、张诚^[8]曾指出区域小震频次对外区强震的反应, 下面将分析分区频峰反

1) 《甘肃地震》(1954—1979年仪器观测资料), 兰州地震研究所编, 1979年。

应的不均匀性及频峰出现在强震前的时间。

1. 年频度曲线的峰值对应滇川青地区的强震活动 1967年炉霍6.8级地震, 1970—1972年云南通海等强震, 1973—1974年四川炉霍等强震发生过程, 甘肃地区的地震频峰最为突出, 相对频度值都高于8% (见表1)。恰好, 在这段时间内华北地区无强震发生 (图3b), 其频峰与滇川青地区 $M_s \geq 6.5$ 级强震发生的一致性比较明显。还需指出, 1976年5—8月滇川发生了龙陵、松潘—平武大地震, 华北发生了唐山大地震, 两地区同时处于活动高潮, 甘肃的小震频度偏低。在1区的年、季频度曲线上, 在2、3、4区的季曲线上, 仍相对地显出清楚的峰值 (图3d—g)。河北红山台也观测到同类现象, 1976年7月唐山大地震前约一年半, 该台的频度曲线无突出的峰值〔6〕。

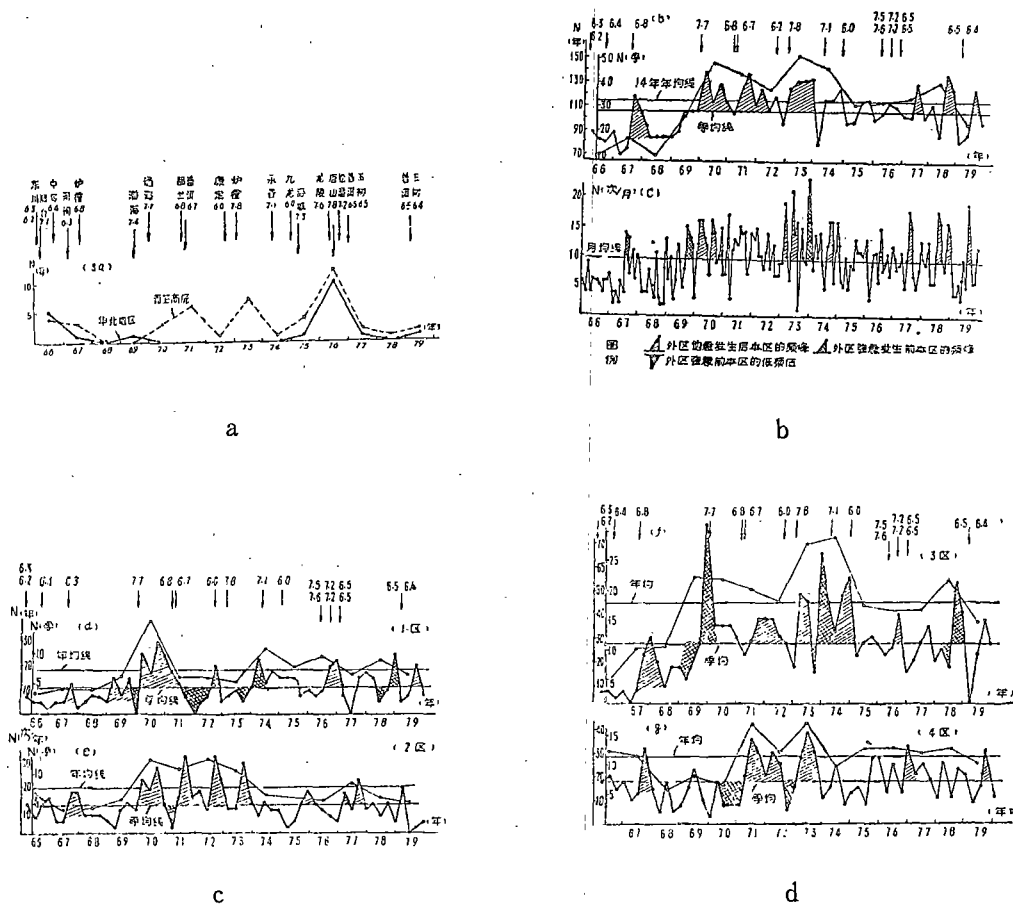


图 3

2. 分区频度曲线峰值对应外区强震的时空差异 由分区频度图和相对频度值可以看出, 分区频峰对各次强震反应不同。1区, 70年、74年云南地震时峰值较高, 76年松潘—平武地震时, 峰值也较其他分区突出。71年普洱和都兰地震时, 频度较低。2区, 70—73年滇川青地震时, 频峰都显著, 但74、76年大震时, 频度偏低。3区, 70—74年滇川青地震时, 频峰明显, 76年较低。4区, 70、74年滇川地震时频度低, 71、73年地震时, 频峰突出。上述情况反映出, 虽然各分区的频峰都对应外区强震, 但随时间和地区而有差异。因而, 只由某个

小区窗口观察小震频峰与强震的关系是困难的，需要由全区和分区的多种频度曲线进行综合分析。

表 1 1996—1979年甘肃地区地震相对频度

$\Delta N(\%)$ / 年 地 区	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	平均年频次
全 省		29	20	8	34	25				15		114.4
1		119				52		35		24		17.8
2		64	43	64	38				32			18.9
3	24	21	12		55	62			21			44.5
4			50		50		10	10		10		28.1

表中仅取 $\geq 8\%$ 的值，66—68年 ΔN 皆小于8%。

相对频度值： $\Delta N(\%) = (\text{年频次} - \text{平均年频次}) \div \text{平均年频次}$ 。

3. 频峰出现在外区强震前的提前时间 由年频曲线看，70年元月通海地震前，3区于69年出现频峰，提前约1年。79年3月普洱、玉树地震前，1、3区于78年出现峰值。其他地震从年曲线只能看出震当年出现峰值。从年频曲线能提取震前的峰值较少。由季频曲线看，发震前出现的频峰数目增加，如70年通海地震前一季度，3区出现峰值；73年炉霍震前两季度，1、2区出现峰值；74年5月永善地震，79年3月普洱和玉树地震，1、3区提前1—2个季度出现峰值。从季曲线可以提取频峰提前时间为1—2个季度。从全省月频曲线看，67、70、71、74、76年地震前1—5个月内都出现较高频峰。由上述情况可知，提取震前频峰信息与统计时间尺度有关，当资料数量满足时，采用小时间尺度，可以提取短期频峰信息。一般以年、季、月曲线相结合为宜。

4. 强震发生前出现频度低值 由季频曲线看出，频峰出现之前，先出现频度较低值，许多强震相应的频峰前有低频现象。如70年3区和1区，71年2区和4区，73年1—4区，74年1—3区，79年1—3区都出现低频。这些低频反映了大震发生前呈现的相对平静现象。

上述的对应外区大地震的小震频峰信息，是由全省和分区的小震活动统计的结果，相应的震中分布区域较大，小震与强震又同源于青藏板块，理应是板块整体活动的结果，区域小震频峰与外区强震之间的对应现象也是必然的。

三、外区强震前后，甘肃地区地震活动强度的变化

全区 $M_s \geq 2$ 级地震年能量随时间的变化，与青藏高原地震能量的变化基本同步。外区强震后，甘肃地区才发生中强震，能量频峰有的滞后（图4a、b）。地震活动强度曲线也与能量曲线变化一致。这里，以活动强度（一万平方公里面积上每年的频次与能量之积NE）曲线（图4b—f）和相对能量值（表2）进行讨论。67、70—71、73—75、78—79年能量较高，76年显出反例，能量较低（图4b）。另外，从分区曲线峰值和相对能量值看出，各区对应外区强震也是不均匀的，不是一一对应关系。67年只有2区的峰值和相对能量较高，70年1、2区，71年3、4区，73年2、3、4区，74年1、3区等峰值和相对能量都高。正象频峰对应强震的不均匀性一样，各分区能量频峰的出现也有差异。

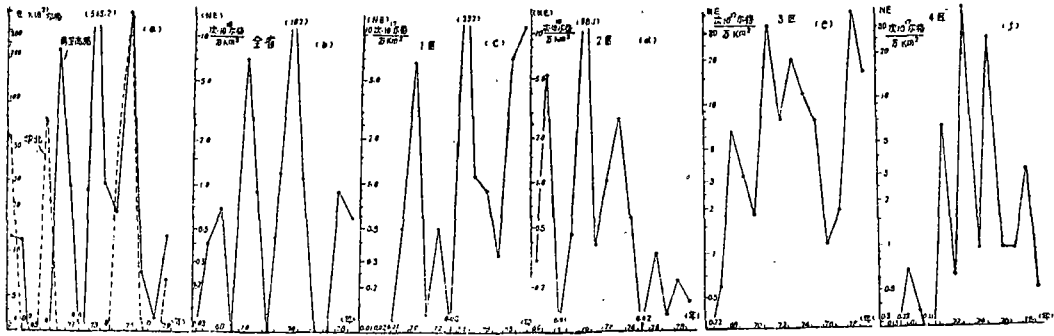


图 4

表 2 1967—1969年甘肃地区地震相对能量

$\Delta E(\%)$ 地 区	年	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
1		-	-	-	51	-	-	-	99	-	-	-	72	88
2		90	-	-	99	-	+	70	+	-	-	-	-	-
3		-	72	+	-	89	+	73	55	60	-	-	89	82
4		-	-	-	-	75	-	96	-	95	-	-	51	-

表中仅取 $\geq 50\%$ 的值，+号为大于 $E_{基}$ 值，-号为小于 $E_{基}$ 值。

相对能量： $\Delta E(\%) = (E_{年} - E_{基}) \div E_{基}$ 。

$E_{基} = 0.1 \times 10^{19}$ 尔格 ($M_s = 4.2$)

四、平 静 阶 段 的 b 值

我们用最大似然法计算了年b值曲线，选取震级的下限为 $M_s \geq 2.0$ 级。计算全省b值，还使用最小二乘法，每年地震为68—147次，其中10年都在百次以上。从1966—1979年以两种方法算得平均值为0.88。最大似然法的结果偏小，66、67两年的b值较高，从68年以后相对降低，变化比较平稳，68—69年波动在0.68—0.87之间。四个分区的年b值点93%都大于0.62，其中有四个值为0.49—0.57，没有一个低值持续一年以上的的时间。近10年，国内多次强震前的b值都有变化，1976年7月唐山大地震，10年的累计b值为0.88，震前下降阶段为0.5，最低值为0.45，持续两年多〔7〕。1975年元月海城大地震，1974年5月永善大地震，1976年5月龙陵大地震，8月松潘—平武大地震等，震前低b值约为0.5。甘肃地区的b值与上述强震前的低b值比较，可算是正常值。

五、地 震 迁 移

1. 相对平静期的迁移特点 1970年以来，滇川青地区强震后，向甘肃地区迁移的震例有5次，迁移路线（图5b），震级由南向北到甘肃地区减弱为5级左右。截至目前，青藏高原上最靠东北的强震，仍限于松潘、都兰、霍布逊湖、茫崖一线及其以南地区（图5a）。1955—1979年，祁连山及甘肃地区5—5.7级地震共24次，其中8次是山丹、民勤大地震的

余震。特别是1966年以后, 只有四次5—5.6级地震(甘肃省没有)。这一相对平静期内, 地震由滇川青向甘肃地区迁移的特点, 归结为南强北弱〔6〕是合理的。

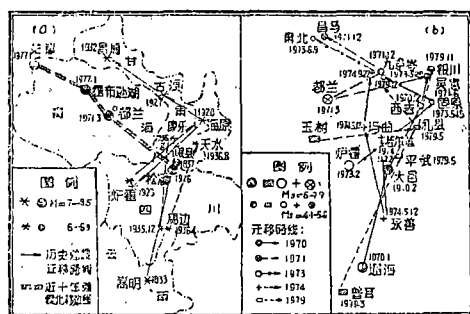


图5 滇川青与甘肃地区地震迁移图

2. 历史上的相对平静期 甘肃及邻近地区(包括中卫、中宁), 自1440年以后有过16个相对平静期〔1〕, 短者9年, 长者66年。其中14个平静期对应滇川青地区有强震, 占平静期总次数的88%。11个平静期对应华北地区有强震, 占69%。只有一个平静期是全国都平静, 即1765—1785年间, 全国没有6级以上地震。因此, 可以说, 甘肃地区处于平静时期, 西南和华北地区多属强震活动期。到1979年3月云南普洱发生6.8级地震, 青海玉树发生6.4级地震, 西南地区强震仍在活跃, 甘肃地区的平静期仍将持续。

3. 与外区历史强震的同步性 与南强北弱的活动特点相对照, 滇川青与甘肃地区同时处于强震高潮, 南北呼应, 迁移的路线见图5a所示。呼应时间限于5年以内, 自14世纪末以来, 两地区共有过13次强震呼应期〔1〕, 每期滇川青6级以上地震参与活动的占100%, 华北地区占62%。这说明甘肃地区的强震与滇川青地区的强震活动具有优势的同步性。

六、结 论

1. 甘肃及邻近地区25年来处于地震活动的相对平静阶段, 中强震极少, 小震有所起伏。小震主要围绕本世纪历史强震区发生, 震中多分布在断裂带上或其交汇, 转弯部位, 震源主要分布在10—30公里的深处地壳中。部分地区小震向一定方向延展, 延展的部位可能是下一次活动高潮期发生强震的地方。

2. 在甘肃地区地震活动相对平静的阶段中, 南北地震带的地震迁移表现为南强北弱。在此阶段中, 甘肃地区的 $M_s \geq 2$ 级地震频度曲线、活动强度曲线的峰值, 仍显示出小震中强震活动与滇川青地区的强震相对应。南强北弱及历史强震的南北呼应, 是滇川青地区与甘肃地区地震迁移的两类表现, 它受青藏高原构造活动所控制, 反映了青藏高原在不同时期活动的特点。

3. 外区强震前, 甘肃地区 $M_s \geq 2$ 级地震的频度曲线峰值, 在全区和分区曲线上, 在年、季、月曲线上, 反应是不相同的, 不是一一对应, 综合分析各类曲线, 可以提取强震发生前1—5个月的频峰信息。必须指出, 频峰出现后, 还须分析地震活动的其它标志〔6〕, 以判断是本区还是外区将要发生强震。由于构造活动及区域应力场的复杂性, 各分区曲线反应不

均匀,企图开某个地区小窗口,不一定能提取频峰前兆信息。

4. 1968—1979年,甘肃地区的地震 b 值为0.68—0.87,与国内多次强震前的低 b 值(0.45—0.50)相比是正常的。

甘肃地区平静阶段与滇川青或华北地区强震活动紧密对应,近一、二年滇川青和华北地区强震仍不断发生,至78年青藏高原最靠东北的强震仍限于四川松潘、青海都兰、霍布逊湖、茫崖一线及其以南地区,因而,甘肃地区今后几年内仍可能处于相对平静期。

(本文1981年2月16日收到)

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地球物理研究所,中国强地震简目,1976年12月。
- [2] 邓起东等,中国构造应力场特征及其板块构造运动的关系,地震地质,第1卷,第1期,1979。
- [3] 冯德益等,利用 p 波到时确定近地震震源参数的一种迭代解法……,西北地震学报,第1卷,第2期,1979。
- [4] 兰州地震大队,甘肃及邻近地区近地震波走时表,1977年。
- [5] 王泽皋,邢台余震的频度增高及以后发生的华北强震,地震学报,第1卷,第2期,1979。
- [6] 张诚等,西海固地区地震活动的某些特征,西北地震学报,第2卷,第2期,1980。
- [7] 李全林等, b 值时空扫描,地球物理学报,第21卷,第2期,1978。

THE CHARACTERISTICS OF SEISMIC ACTIVITY IN GANSU REGION

Zhang Cheng

(The Seismological Institute of Lanzhou)

Abstract

The characteristics of seismic activity in Gansu province and its neighbourhood during the recent relatively quiet period have been studied in this paper. The synchronism of the peak values in the curves of frequency and seismicity strength of the small and moderate earthquakes in Gansu region during the period of 1966—1979 with the occurrences of earthquakes of magnitude $M_s \geq 6.5$ in Yunnan, Sichuan and Qinghai provinces has been mainly discussed.