

祁连山—六盘山地震带中强地震活动特点及震前异常特征

柴炽章, 马禾青, 金春华

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

摘要 将祁连山—六盘山地震带分为东、中、西三段, 以分段的方式研究了该带中强地震的迁移特点, 并对各段地震活动进行了统计研究, 得到各段的迁移规律和各段中强地震震前异常特征。

关键词 祁连山—六盘山地震带; 分段; 异常

中图分类号 P315.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-0844(2003)04-0354-05

0 引言

祁连山—六盘山地震带(图1)东起陕西宝鸡, 西止甘肃的昌马, 长约1 200 km, 呈北西向展布在青藏块体的东北缘区^[1]。该地震带由一系列 NNW、NW 以及 NNW 向第四纪活动十分强烈的断裂构成^[2~3], 主要表现为挤压逆冲和左旋走滑运动, 历史上发生过10多次7级以上强震或大震。仅20世纪以来, 就先后发生了1920年海原8.5级、1927年古浪8级和1932年昌马7.6级3次大震。其频度之高, 强度之大, 在中国大陆实属少见。近年来, 该带中强地震活动频繁。地震工作者从不同角度对该带已做了不少的工作^[4~6]。本文对该带1950年以来的5级以上地震和1970年以来的2.8级以上地震样本进行了整体和分区统计, 以研究该带中强地震的活动规律及震前异常特征, 得到的结果将有益于今后对祁连山—六盘山地震带中强地震的预测。

1 祁连山—六盘山地震带中强地震活动特征

1.1 地震迁移图像

分别以 NNW 走向的庄浪河断裂和榆木山断裂为界, 将祁连山—六盘山地震带分为东、中和西三段(图1)。1950年以来祁连山—六盘山地震带先后发生了25次5级以上地震(不含余震), 其中5.0~5.4级17次, 5.5~5.9级5次, 6.0~6.4级3次(表1)。上述25次地震中, 有6次发生在东段, 6次发生在中段, 另有13次发生在西段。图2展示了该带1950年以来的5级以上地震震中迁移情况。从中可以看出以下几个特点:

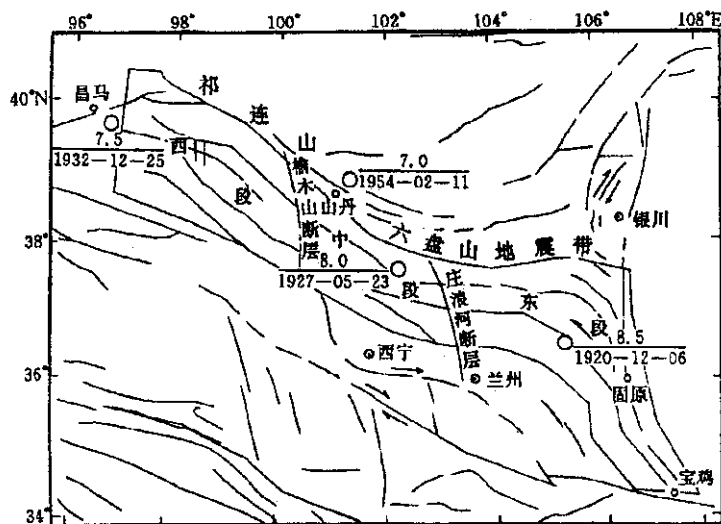


图1 祁连山—六盘山地震带及其分区示意

Fig. 1 Sketch of Qilian Mt. - Liupan Mt. earthquake belt and its divisional areas.

表 1 祁连山—六盘山地震带 1950 年以来 $M \geq 5.0$ 地震目录

时间	纬度(N)	经度(E)	地点	震级/ M	所处段落
1955-05-04	38.00°	101.00°	甘肃民乐	5.0	中段
1957-03-23	38.00°	98.50°	青海天峻	5.0	西段
1958-11-30	38.10°	100.10°	青海祁连	5.1	西段
1959-01-31	36.30°	105.80°	宁夏海原	5.0	东段
1959-01-31	37.00°	104.00°	甘肃景泰	5.3	东段
1962-08-01	39.20°	98.60°	甘肃肃南	5.4	西段
1970-12-03	35.93°	105.58°	宁夏西吉	5.5	东段
1975-01-04	38.80°	97.60°	青海天峻	5.3	西段
1980-04-18	37.86°	99.13°	青海天峻	5.2	西段
1982-04-14	36.71°	105.63°	宁夏海原	5.5	东段
1984-01-06	37.96°	102.17°	甘肃武威	5.3	中段
1984-02-17	37.74°	100.74°	青海祁连	5.3	西段
1986-08-26	37.78°	101.63°	青海门源	6.4	中段
1988-11-22	38.57°	99.60°	甘肃肃南	5.2	西段
1990-10-20	37.11°	103.72°	甘肃景泰	6.2	东段
1991-01-02	38.20°	99.90°	青海祁连	5.1	西段
1991-10-01	37.80°	101.40°	甘肃肃南	5.2	中段
1992-01-12	39.70°	98.30°	甘肃嘉峪关	5.4	西段
1992-06-21	38.50°	99.50°	甘肃肃南	5.0	西段
1993-10-26	38.60°	98.70°	青海祁连	6.0	西段
1995-07-22	36.50°	103.00°	甘肃永登	5.8	中段
1996-06-01	37.20°	102.90°	甘肃天祝	5.4	中段
2000-06-06	37.10°	104.00°	甘肃景泰	5.9	东段
2001-07-11	39.20°	98.00°	甘肃肃南	5.3	西段
2002-12-16	39.80°	97.30°	甘肃玉门	5.9	西段

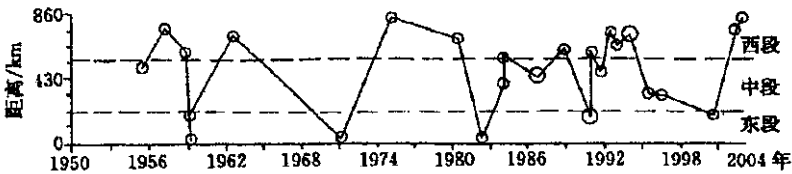


图 2 祁连山—六盘山地震带 $M \geq 5.0$ 地震迁移图

Fig. 2 Migration figure of $M \geq 5.0$ earthquakes occurred on Qilian Mt. - Liupan Mt. earthquake belt.

(1) 在东段的 6 次地震中,除了 1959 年 1 月 31 日在宁夏的海原与西吉交界和甘肃景泰东部同一天连续发生了 2 个 5 级地震外,其它事件均为单发形式.东段事件发生后,多数很快向西段或中段西部迁移.5 次事件(1959 年同一天的两次地震作为一次对待)后,有 4 次直接迁至西段,1 次迁到中段.

(2) 中段地震单发与连发都存在.除了 1996 年天祝 5.4 级地震后向东迁移,于 2000 年在东段西部发生了景泰 5.9 级地震外,其它 5 次事件后的地震迁移主要在西段或本段.

(3) 西段也是单发与连发都存在.迁移活动较复杂.在已经发生过的西段向中、东段的 7 次地震迁移中,有 4 次为仅发生了一次地震后立即迁移,2 次为发生了两次地震后迁移,只有一次为发生了 3 次地震后才迁移.

在东段发生的 6 次事件中,有 4 次是由西段直接迁入,其中宁夏境内发生的 3 次地震均由西段直接迁入.该带最新的地震是 2002 年 12 月 16 日发生在甘肃玉门的 5.9 级地震和 2001 年甘肃肃南 5.3 级地震,即西段已发生了 2 次地震,下一个地震发生在中东段的可能性较大.每次迁移所需的时间从 2 个月到 8 年不等,但以 2 年左右居多,在 7 次迁移中占了 4 次.

1.2 b 值异常

按赵卫明等^①的研究结果,祁连山—六盘山地震带的监测能力从1970年本区有台网以来在考虑最高监控能力的情况下,至少应取至 $M_1 2.7$. 地震带 $M \geq 5.5$ 以上地震发生前 b 值大都出现过中期和中短期异常. 图3是本区1970年以来的 b 值时间扫描曲线. 震级下限 M_0 取2.8, ΔM 为0.2, 时间窗口 W 为12 m, 步长 S 为3 m. 为了能够更清楚地寻找规律,图中除了给出了原始地震数据处理曲线(a),同时还给出了剔除 $M \geq 5.5$ 主震事件的处理曲线(b). 本区1970年以来共发生了8次 $M \geq 5.5$ 地震. 从曲线(b)中看,除了1970年12月3日西吉地震与统计起始时段同步,无法判断震前有无异常;7次中有5次震前的中期和中短期异常都很显著. 中期异常表现为在震前1~2年时段里 b 值显著偏低,一般低于0.68,时间持续1年左右. 中短期异常显示为高 b 值,有3次地震前出现过 b 值大于1的现象. 注意中短期异常必须建立在有中期低值异常的基础上. 但 b 值时间扫描曲线存在虚报和漏报现象.

2 祁连山—六盘山地震带的分段活动特征

对祁连山—六盘山地震带的东、中、西三段分别进行地震资料统计. 频次统计的震级下限 M_0 取2.8; 时间窗口 W 为12 m, 步长 S 为6 m. 缺震统计的震级下限 M_0 取2.8, 时间窗口为12 m, 步长为3 m. 结果显示各段有不同特征.

2.1 东段活动特征

祁连山—六盘山地震带东段1970年以来的地震资料(删除余震),显示了以下几个特征:

(1) 除了1970年西吉地震(处在统计开始时段),其它3次地震震前都有比较清楚的低频次中期异常. 从图4(a)中看,1970年以来东段共出现过5次低频次异常,其中对应了1982年海原5.5级地震,1990年景泰6.2级地震和2000年景泰5.9级地震. 另外利用1965~1970年期间的宁夏地震目录,则可得到1970年西吉地震的中期频次低值异常也是很典型的^②. 地震频次的低值异常在东段的映震率达到60%以上,而且没有漏报事件.

(2) 与频次时间扫描曲线类似,本段中强地震发生前的缺震时间扫描曲线也反映出清楚的中期异常. 图4(b)显示,从1971年开始到2001年底本段共出现过5次缺震异常,分别是1980年,1983~1984年,1984~1985年,1988~1989年和1996~1997年. 其中3次均在异常恢复过程中发生了 $M \geq 5.5$ 地震.

(3) 从1950年以来地震发生的时间分析,东段5级以上地震发生总体上有10年左右的复发规律. 表1显示,本段1949年以来共发生了6次5~6级中强地震,除了1959年1月31日在海原和景泰同一天发生了2次5级地震外,其它事件间隔分别为11.8年、11.3年、8.5年和9.7年,平均间隔为10.3年.

2.2 中段活动特征

祁连山—六盘山地震带中段1970年以来的地震资料统计显示了如下特征:

(1) 从图5(a)得到,1970年以来在中段发生过的5次5级以上地震中,震前频次时间扫描曲线均出

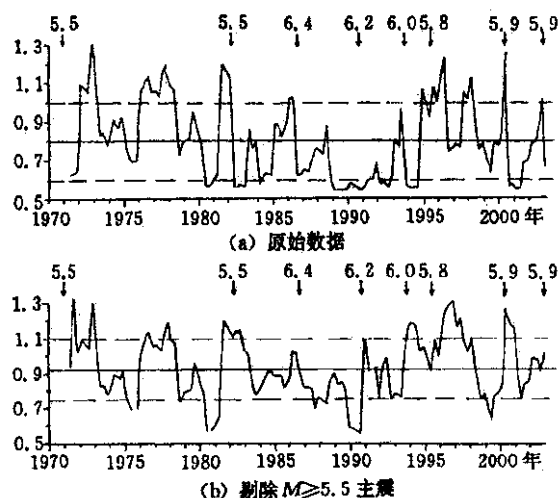


图3 祁连山—六盘山地震带 b 值曲线

Fig. 3 B value curves of Qilian Mt. —Liupan Mt. earthquake belt.

① 赵卫明,等. 国家“十五”科技攻关计划子专题(2001BA601B01-03-04)研究报告. 2003.

② 宁夏回族自治区地震局. 宁夏回族自治区1998年度地震趋势研究报告. 1997.

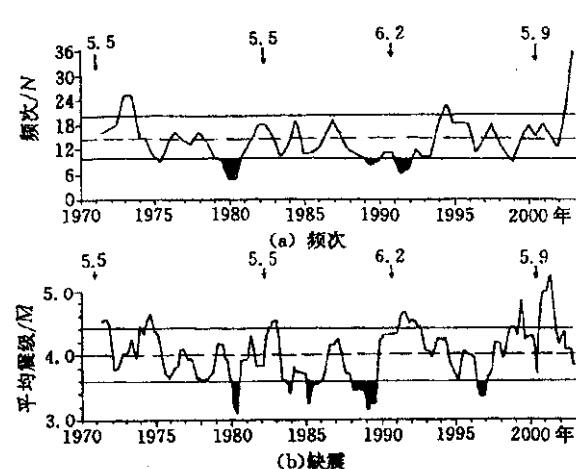


图4 祁连山—六盘山地震带东段频次和缺震曲线

Fig. 4 Curves of frequency and earthquake absent in the east section of Qilian Mt. —Liupan Mt. earthquake belt.

的4次于异常结束后的1~2年均地震与之对应,最后一次异常持续时间最长,有2年多,于2001年中结束,之后发生了2次相应地震。

3 结语

(1) 将祁连山—六盘山地震带分为东、中和西三段进行讨论,得到了该地震带1950年以来中强地震的活动特点和迁移规律。另外 b 值时间扫描曲线显示,约70% 5.5级以上地震发生前会出现 b 值异常。

(2) 对祁连山—六盘山地震带分段进行地震资料统计得到:东段5级以上地震发生总体上存在10年左右的复发规律,地震频次和缺震曲线异常的映震率均达60%以上,无漏报事件;中段5级以上地震发生前均出现过地震频次异常,80%的5级以上地震发生前出现过缺震异常;西段缺震曲线异常的映震率则为67%。

(3) 根据本文的工作结果,今后在对祁连山—六盘山地震带的中强地震进行预测时,可先根据迁移规律来初步判定未来中强地震发生的部位,然后再根据地震资料统计结果来给出未来地震发生的中短期预测。若同期出现祁连山—六盘山地震带的 b 值异常,则未来地震震级可能大于5.5。笔者所进行过的预报实践为:在2001年7月11日甘肃肃南裕固族自治县5.3级地震发生后,根据迁移规律认为下一次5级以上地震还应该发生在西段,但由于当时认为地震资料统计结果没有明显异常,因此认为未来中短期发震的可能性不大。现在再反思,发现西段缺震曲线最后一次异常持续的时间,为最长的一次,而所对应的震级偏小,短期内再发生一次中强地震是完全可能的。此次预测留下了遗憾。

现过中期异常,其中3次为低值异常,2次为高值异常。低值异常出现在震前1~2年,而1994~1997年出现的高值异常则对应了1995年7月22日甘肃永登5.8级地震和1996年6月1日甘肃天祝5.4级地震,异常于震后恢复。

(2) 中段的缺震时间扫描曲线(图5(b))显示,1970年以来先后出现过7个显著低值时段,其中前2个时段出现在上世纪70年代,整个中段没有5级以上地震。上世纪80年代以来的后5个低值时段中,前4个结束后2年内发生了5级多地震,中期低值异常比较突出。

2.3 西段活动特征

祁连山—六盘山地震带西段1970年以来的地震资料统计结果如下:

图6为西段缺震时间扫描曲线(震级下限 M_0 3.0)。从中可以看出1970年以来共出现了6次显著的低值异常。其中第一次出现在资料起始之前,因而过程不完整,异常结束后1~2年也无相应地震发生。另外5次中

的4次于异常结束后的1~2年均有地震与之对应,最后一次异常持续时间最长,有2年多,于2001年中结束,之后发生了2次相应地震。

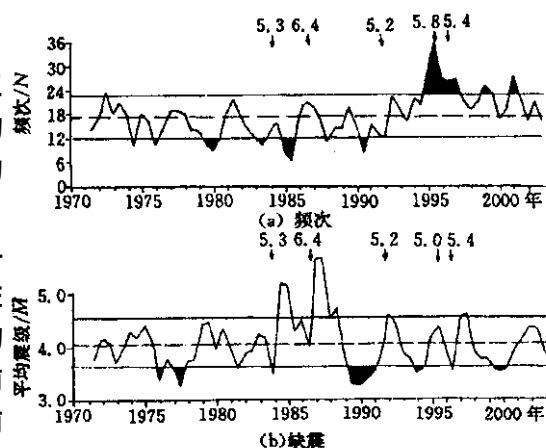


图5 祁连山—六盘山地震带中段频次和缺震曲线

Fig. 5 Curves of frequency and of earthquake absent in the middle section of Qilian Mt. —Liupan Mt. earthquake belt.

(4) 根据地震迁移规律可得未来祁连山—六盘山地震带最有可能发生中强地震的部位在中段. 另外, 中段频次时间扫描曲线分别于 1998 ~ 1999 年和 2000 ~ 2001 年出现了两次高值异常, 异常已恢复一年多. 本段第 6 个缺震低值异常出现在 1999 年 2 月 ~ 2000 年 3 月, 目前异常结束已经 2 年多. 综上所述可以认为, 未来 1 ~ 2 年祁连山—六盘山地震带中段有可能发生 5.0 级以上地震, 值得特别关注. 地震迁移图像和地震资料统计结果显示: 祁连山—六盘山地震带东段和西段未来 1 ~ 2 年发生 5.0 级以上地震的可能性则较小.

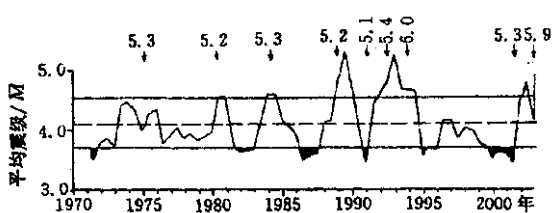


图 6 祁连山—六盘山地震带西段缺震曲线

Fig. 6 Curve of earthquake absent in the west section of Qilian Mt.—Liupan Mt. earthquake belt.

[参考文献]

- [1] 国家地震局《中国岩石圈动力学地图集》编委会. 中国岩石圈动力学地图集[Z]. 北京: 中国地图出版社, 1989.
- [2] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [3] 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [4] 刘小凤, 刘百箴, 杨立明. 祁连山中段三维构造物理模型及其在地震预报中的应用[J]. 西北地震学报, 2000, 22(2): 110—117.
- [5] 王永成, 刘百箴. 祁连山中段断裂的地震危险性分析[J]. 西北地震学报, 2001, 23(4): 330—337.
- [6] 程建武, 杨立明, 王振亚. 祁连山地震带地震活动性增强现象研究[J]. 西北地震学报, 2002, 24(4): 330—334.

FEATURES OF MODERATE-STRONG EARTHQUAKE ACTIVITY AND ANOMALOUS FEATURES BEFORE EARTHQUAKES IN QILIAN MT. —LIUPAN MT. EARTHQUAKE BELT

CHAI Chi-zhang, MA He-qing, JIN Chun-hua

(Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Yinchuan 750001, China)

Abstract In this paper, Qilian Mt. — Liupan Mt. earthquake belt is divided into three sections: the east, the middle and the west section. The migration features of moderate-strong earthquakes among sections are studied, and the statistical study on seismicities of every section is done also. So the migration regulations and the anomalous features before moderate-strong earthquakes in three sections of Qilian Mt. — Liupan Mt. earthquake belt are obtained.

Key words Qilian Mt. — Liupan Mt. earthquake belt; Dividing section; Anomaly