

阴山（呼和浩特—五原）地震带 地震活动性研究

孙加林

（内蒙古自治区地震局）

摘 要

本文从阴山带地震活动的周期性、与邻近块体地震活动相关性、阴山带中强地震东西成对性、迁移性、破裂机制一致性及中小地震孕育过程中地震活动规律的相似性等方面，论证了阴山带地震活动性，并对未来地震趋势提出判断意见。

关键词 阴山 地震带 地震活动性

前 言

华北块体的北部边界是著名的阴山—燕山构造带。其中阴山构造带全线在内蒙古境内，历史和近代发生过一些强震和中强地震，故称为阴山地震带，又因1929年曾发生呼和浩特西6.0级地震，1934年曾发生五原6.4级地震，阴山地震带也称呼和浩特—五原地震带。该带1976年以来，先后发生和林格尔6.3、巴音木仁6.2、五原6.0、丰镇5.8、磴口5.2级等5次中强地震及十几次4级多地震（图1）。中强地震成丛发生是极危险的标

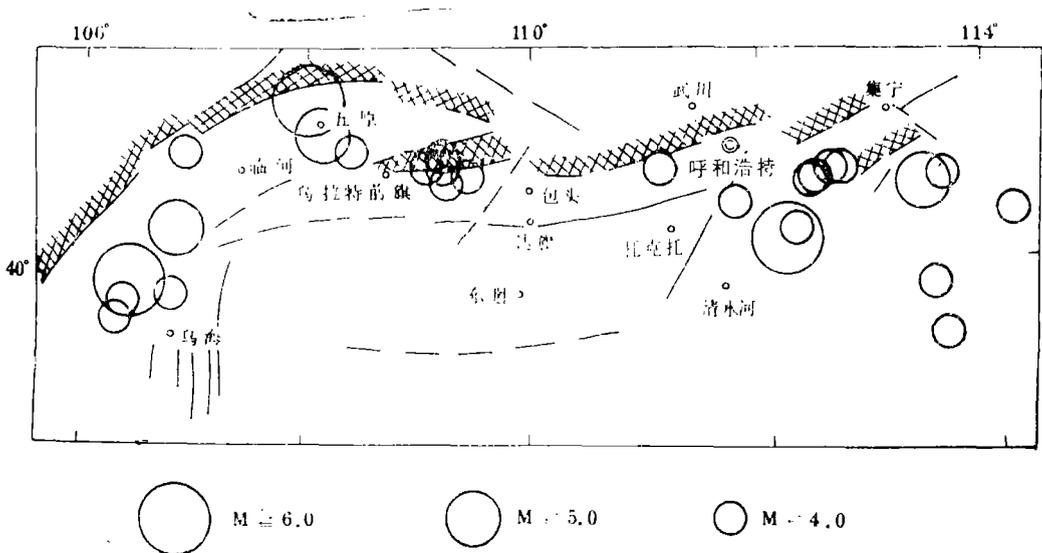


图1 阴山带1976年以来 $M_s \geq 4.0$ 级地震分布

志,在未来若干年,阴山带存在发生强烈地震的可能性已引起人们极大关注。

阴山构造带是一条复杂的构造带,它包括由西到东的狼山、色尔腾山、乌拉山、大青山、蛮汉山等隆起带,和其山前的一系列深大断裂以及临河、白彦花、呼包、岱海等断陷盆地,还有各盆地的南缘断裂。具体地理范围为北纬 39° — 41.5° ,东经 106° — $113^{\circ}30'$ 。阴山构造带是华北块体北部边界的西半段,因此它的地震活动从总体上是华北地震区的一部分,受华北地区强震活动所左右,但又有其自身活动的特殊性。

一、阴山地震带地震活动的周期性

阴山构造带处于鄂尔多斯块体的北部边缘。历史上块体的东、西、南三面均有强震频繁发生,有记载以来,其北部边缘地震活动明显缺记漏记。公元前7年河套大地震“坏城廓、凡杀415人”;公元849年天德(五原)、振伍(和林格尔)、河西(杭锦旗)大地震“坏军城庐舍,压死数千人”。这两次地震地点目前虽无法更准确论证,但国内不少学者倾向认为是河套盆地的两次强震^[1,2]。尤其849年天德、振伍大地震,可能发生在土默特右旗一带,震级在 $7\frac{1}{2}$ —8。笔者在文献〔1〕中认为阴山带强震活动具有周期长、频度低、强度大的特点,因资料所限,阴山带的地震活动的百年长周期无法准确推测。

1900年以来,阴山带共发生 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震19次,其中前7次地震是查阅有关资料^[3],经核实确定的。由 $M_s \geq 4$ 级地震的M—T时序图(图2)可见,地震在时间轴上明显存在两个相对集中时域,即1898—1934年和1959—1983年。在第一个相对集中段,发生了1929年呼和浩特西6.0和1934年五原 $6\frac{1}{4}$ 级地震;在第二个相对集中段发生了1976年和林格尔6.3、巴音木仁6.2、1979年五原6.0、1981年丰镇5.8级等地震。两个相对集中段前者为36年,后者为24年,其间隔为25年。

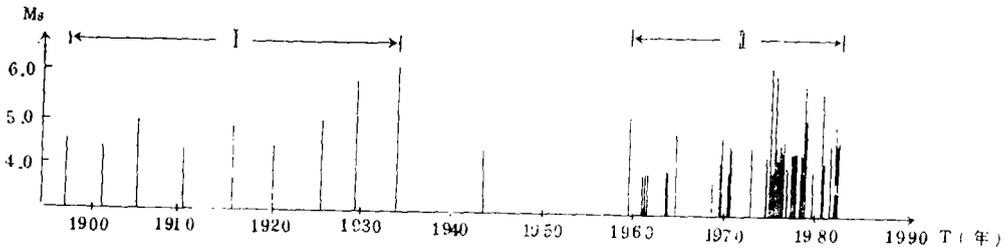


图2 阴山带($M_s > 4$)地震活动M—T序列图

考虑本世纪以来,阴山带的地震活动均在1815年开始的华北地区第四个地震活跃期之内,因此上述两次中强地震集中活动,可称为阴山带的两次地震活跃幕。从1929年呼和浩特西6.0级地震到1976年和林格尔6.3级地震相隔47年;从1934年五原 $6\frac{1}{4}$ 级地震到1979年五原6.0级地震相隔为45年。由此可认为阴山带的地震活动幕似有近50年的活动周期。这对我们预测阴山带地震活动趋势是有重要意义的。上述两个地震活跃幕是整个地震活动期中的第几个活跃幕,因资料所限不得而知。另外,从阴山带 $M_s \geq 4$ 级地震M

M—T图和应变释放曲线（图3）还可以看出 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震似存在5年左右的时间间隔。

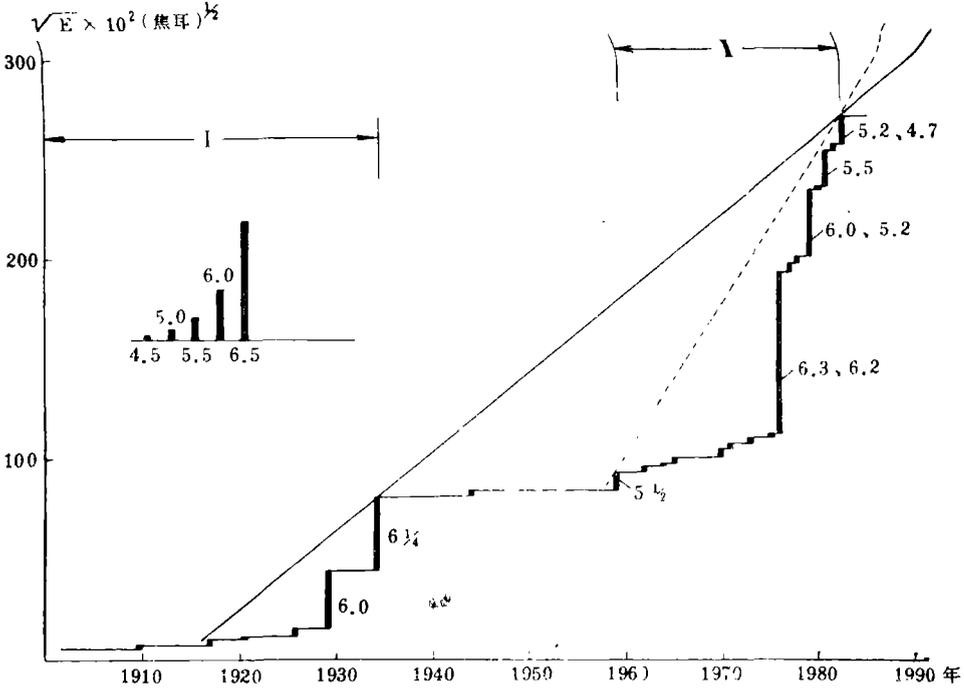


图3 阴山构造带应变能释放曲线

二、与相邻块体地震活动的相关性

阴山构造带为华北块体的西北边界，西与阿拉善块体相邻，北靠蒙古块体。近百年来地震资料证明，阴山带的地震活动与华北块体、阿拉善块体的地震活动明显相关。研究大华北地区地震活动认识到，华北东部海域地震及西部六盘山地区地震与华北块体内部地震活动起止时间不同步，略滞后一段时间，因此研究相关性问题的，仅取华北小块体（图4）。图4给出华北小块体和阿拉善块体1900年以来6级以上地震的空间分布；图5给出华北、阿拉善块体强震活动和阴山带5级以上地震的M—T时序图。经研究认识到，1900年以来，两块体各自经历了两个活跃时段。1914—1934年，阿拉善块体南缘先后发生了巴里坤 $7\frac{1}{2}$ 、海原 $8\frac{1}{2}$ 、古浪8、昌马 $7\frac{1}{2}$ 级等大地震以及富蕴8级大地震，在此间段，华北地区处于平静状态，仅在渤海海域发生一次 $6\frac{1}{2}$ 级地震；1937—1948年，阿拉善块体地震活动相对平静，无6级地震发生，而在华北块体却相继发生菏泽7.1、丹东 $6\frac{3}{4}$ 、威海6.0、滦县 $6\frac{1}{4}$ 级地震，以及在通辽地区还发生两次6级地震；1951—1960年，阿拉善块体出现第二次地震活跃，在其内部和北部边界相继发生阿右旗 $7\frac{1}{4}$ （原称山丹）、阿左旗（原称民勒）7.0和中蒙边界7.1级地震，此外蒙古还发生了8级大地震，而华北地区无6级以上地震发生；1966—1979年，华北地区地震活动出现本世纪以来第二

次活跃时段，先后发生邢台6.8、7.2、河间6.3、渤海7.4、海城7.3、和林格尔6.3、唐山7.8级等一系列强烈地震，而同时段，阿拉善块体内无6级地震发生。1983年以来华北块体再次出现平静，几乎无5级地震发生，1986年在甘青交界的门源发生6.7级地震，蒙古境内相继发生两次6级地震，阿拉善块体已开始活动。由此表明，阿拉善块体强震活动与华北块体强震活动存在活跃与平静交替出现的特点。

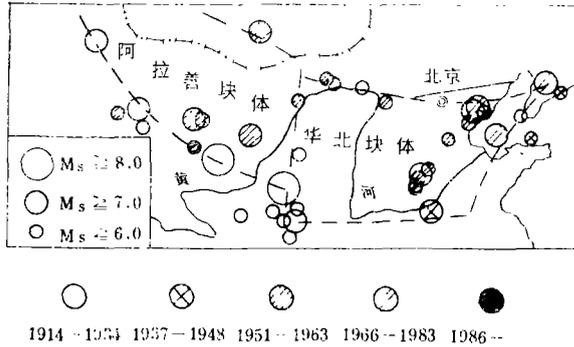


图4 阿拉善块体、华北块体的范围及1960年以来强震活动分布图。

由图4、图5清楚看到阴山带5级以上地震活动与阿拉善块体和华北块体强震活动有着十分密切的关系。1929年呼和浩特西6.0级、1934年五原6.0级地震是在阿拉善块体第一次活跃时段发生的几次8级大地震之后发生的，阿拉善块体接连发生的强震均集中在块体南缘边界，即河西走廊地震带；当1951—1960年阿拉善块体在中北部第二次活跃时，阴山带并无中强地震相伴随；1976—1983年阴山带相继发生一系列中强地震，呈现有资料以来的空前活跃，在此稍前的1966—1979年华北地区出现以唐山大地震为代表的5次7级以上强震的应变能大释放；而华北地区1937—1948年第一活跃时，阴山带却表现异常的平静状态。由此分析，阴山带地震活动有以下两个特点：

〈1〉阿拉善块体与华北块体活动存在彼此交替进行的特点，而阴山带地处两块体的中间衔接部位，它的中强地震活动在时间上是介于两块体强震活跃时段之间，具有在空间上、时间上过渡性质的特征。

〈2〉阴山带地震活动与阿拉善块体、华北块体强震活动密切相关，更确切的说 是与阿拉善块体南边界河西走廊带，与华北块体的河北平原带，郟庐带北段及燕山带的强震活动密切相关。

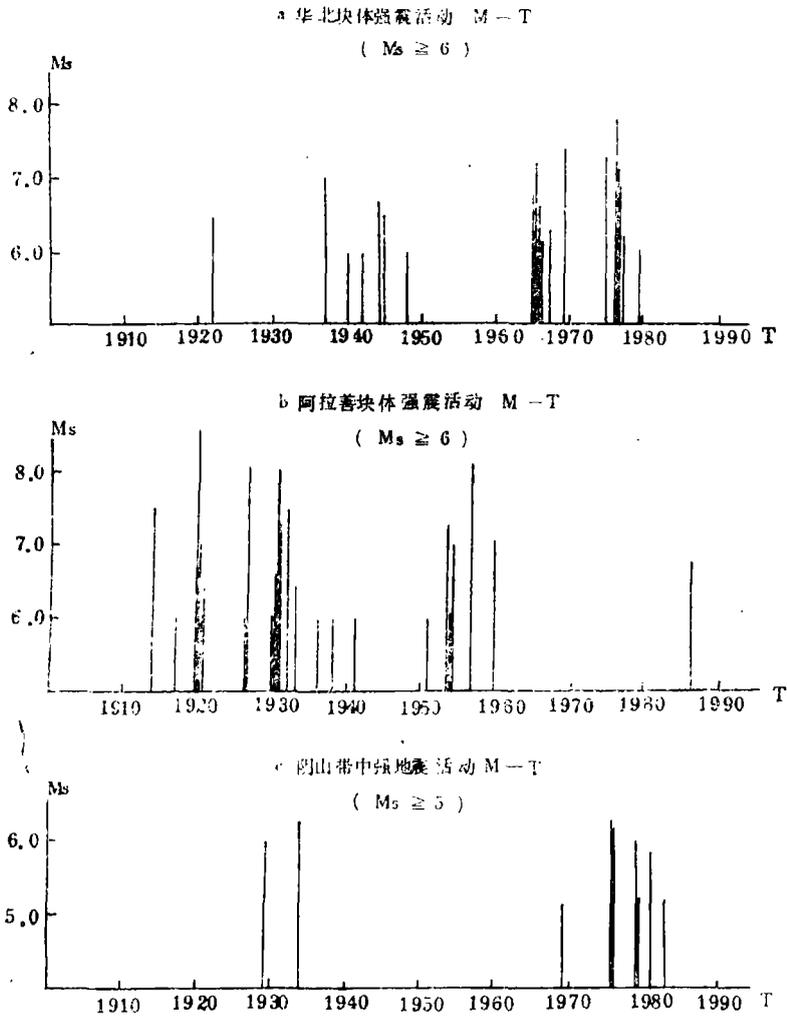


图5 华北块体,阿拉善块体与阴山地震活动时序图

三、阴山带中强地震东西成对性

本世纪以来,阴山带仪器记录4级以上地震有10次,这10次地震存在以北东向包头断裂(东经 110°)为界东西两段成对发生或东西跳跃发生的现象(图6),即:

西段

东段

1934.1五原 $6\frac{1}{4}$ ($108^\circ 17'$)——1929.1呼和西 6.0 ($111^\circ 40'$)

1970.11大余太 4.8 ($109^\circ 25'$)——1971.8卓资山 4.7 ($112^\circ 10'$)

1976.9巴音木仁 6.2 ($106^\circ 27'$)——1976.4和林格尔 6.3 ($112^\circ 14'$)

1979.8五原 6.0 ($108^\circ 14'$)——1981.8丰镇 5.8 ($113^\circ 30'$)

1983.1磴口 5.2 ($107^\circ 01'$)——1983.4张家口 4.7 ($114^\circ 15'$)

若仔细分析新收集校核的1929年以前的几次中强地震资料,也具有上述特征:

1902年磴口 $4\sim 5$ 级——1906年呼和浩特 $4\sim 5$ 级

1917年包头安北5级——1910年和林格尔4~5级

1926年包头西5级——1921年清水河4~5级

此外，阴山带中强地震活动与同纬度的燕山带强震活动还存在着呼应牵动发生的特征，如1976年在阴山—燕山带长达1000km的中、东、西三个地段相继发生的和林格尔6.3、唐山7.8、巴音木仁6.2级地震。它们各自的强余震及前兆震（群）在几年时间里存在较严格的呼应牵动发生的现象（图7）〔4〕。

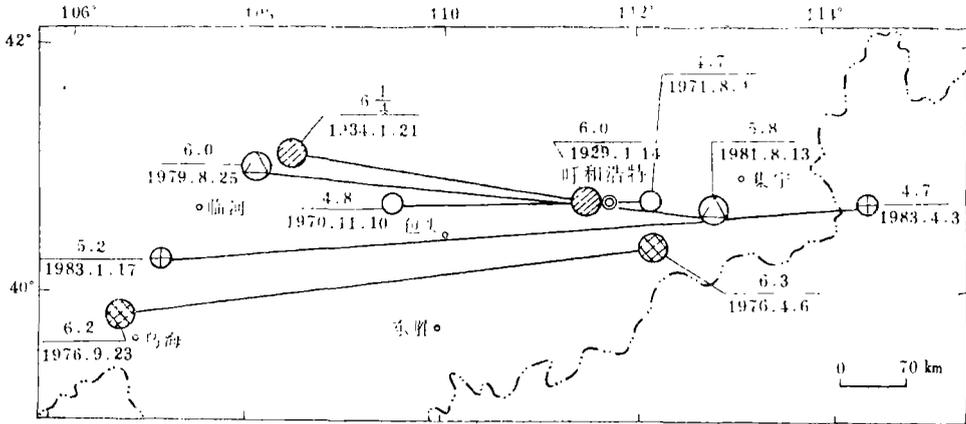


图6 阴山带中强地震 $M_s > 4.3/4$ 东西对跳发生示意图

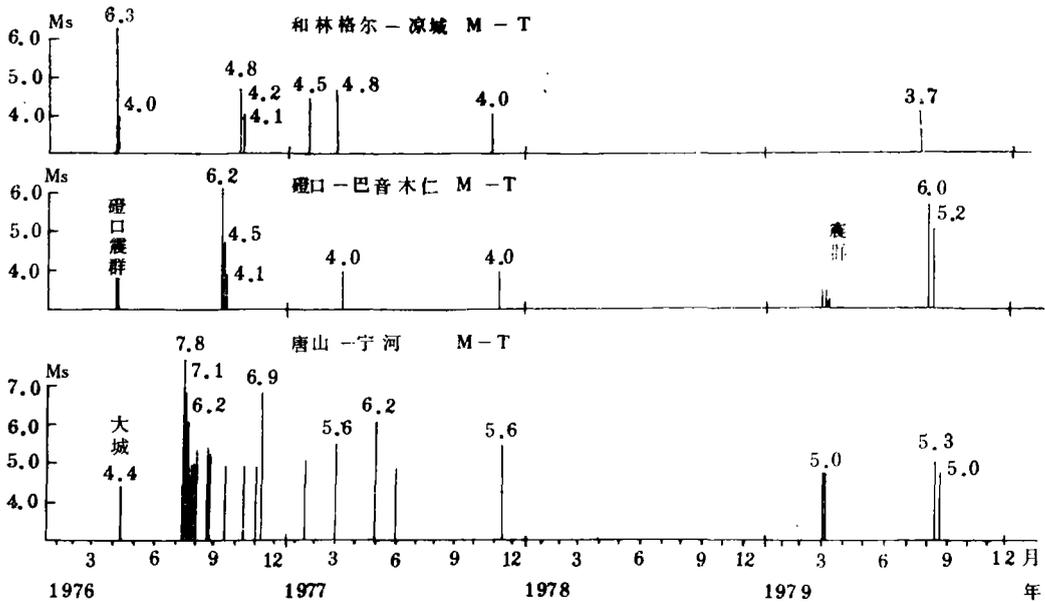


图7 1976—1977年阴山—燕山地震带三个地段上地震呼应牵动发生对比图

四、阴山带地震活动迁移性

阴山带中强地震存在以包头断裂为界东西两端对跳发生特征, 而以东和以西各地段的 4.5 级以上地震存在沿北东向构造线迁移发生的特征。如在东部, 1976.4 和林格尔 6.3 → 1977.3 凉城 4.5 → 1981.8 丰镇 5.8 → 1983.4 张家口 4.7, 并各次地震发生均存在诱发地震为前兆^[4]; 在西部, 1976.9 巴音木仁 6.2 → 1978.1 狼山沙海 4.5 → 1979.8 五原 6.0 → 1983.1 磴口 5.2 级地震(图 8)。

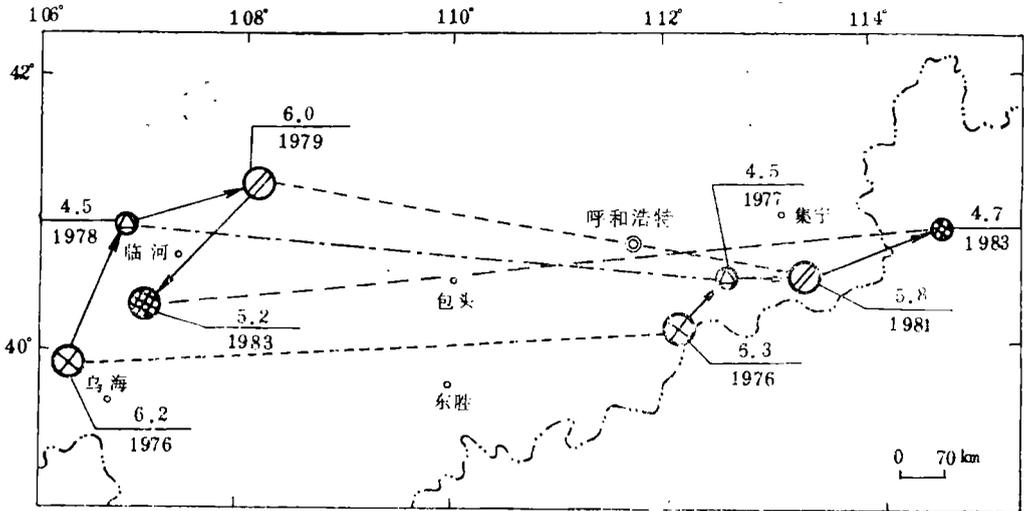


图 8 阴山带两端地震迁移发生特征示意图

五、中强地震破裂机制的一致性

1976 年在阴山带先后发生和林格尔 6.3、巴音木仁 6.2 级地震, 它们分别发生在临河盆地的西南边缘和呼包盆地的东南边缘, 即鄂尔多斯块体的西北角和东北角。该两次地震与唐山 7.8 级大地震同属华北地区同一活跃幕中的一组地震, 并彼此呼应牵动发生。更为重要的是和林格尔地震、巴音木仁地震与唐山地震有着惊人的相同破裂机制, 即均在华北北东东向主压应力和北北西向主张应力场作用下, 沿着北北东方向以走滑为主的右旋错动(图 9)^[4]。

1929 年呼和浩特西 6.0、1934 年五原 6 $\frac{1}{4}$ 级地震, 分别发生在呼包盆地、临河盆地的北部边缘(与 1976 年和林格尔地震、巴音木仁地震空间位置明显不同)。据有关资料^[5], 1929 年呼和浩特西地震的宏观烈度等震线长轴方向为北西(图 10), 笔者根据文献[5]中提供的断层上下盘房屋倒塌方向, 分析认为该震是沿北西向左旋反扭错动。1934 年五原 6 $\frac{1}{4}$ 级地震未能取得宏观资料, 但地震调查者¹⁾指出沿北西方向烈度衰减缓慢,

1) 刘德简、刘月和等同志参加实地考察, 1974。

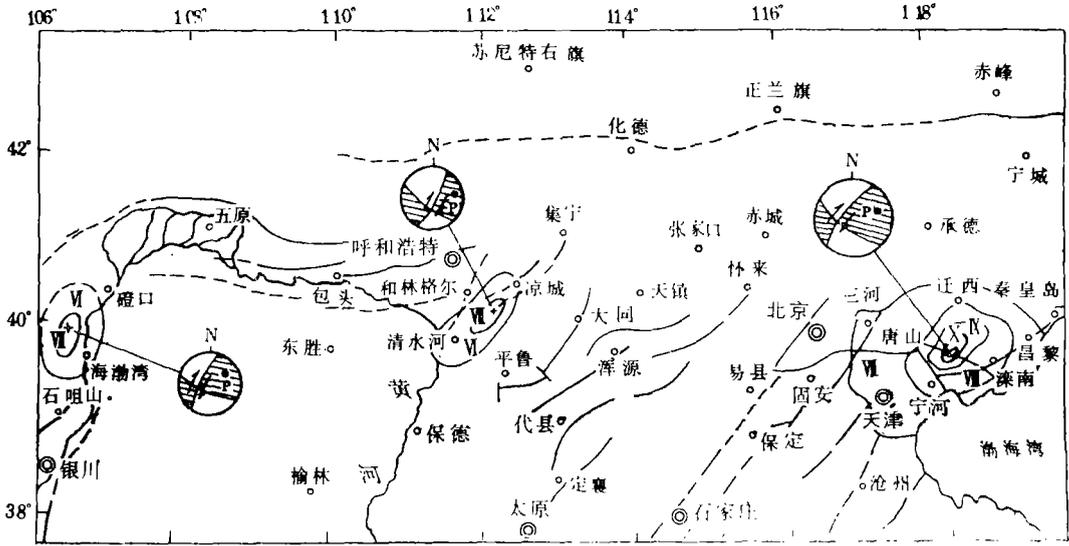


图9 唐山、和林格尔、巴音木仁地震震源机制解与烈度图

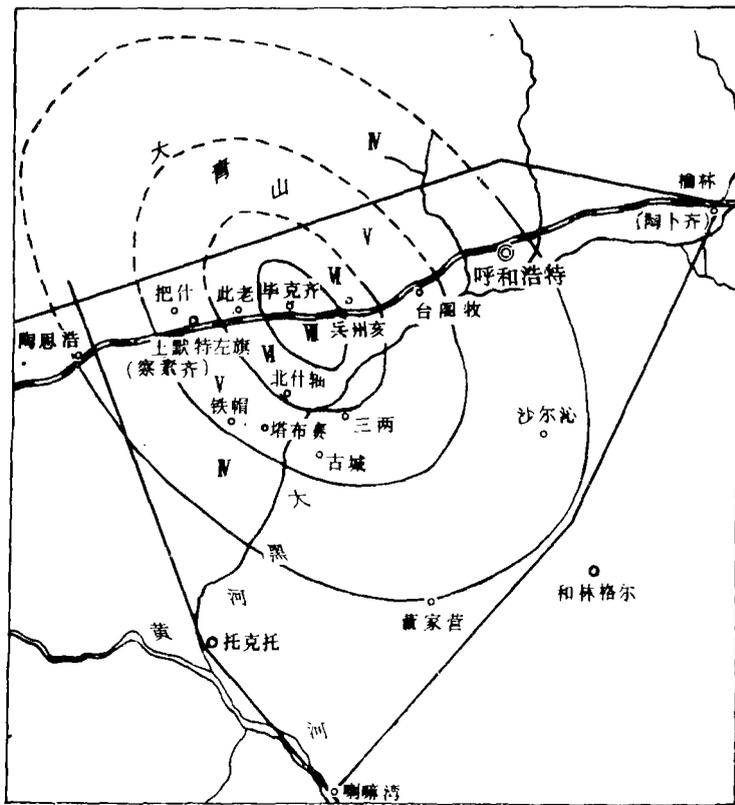


图10 1929年毕克齐地震等震线图

这也是有参考价值的。这两次地震是与阿拉善块体南缘海原大地震、古浪大地震同期地震⁶，并均在北北东向主压应力场作用下沿北西向反扭错动，这绝非巧合，而是存在构造上的联系和机制上的一致性。P·Taponneier等人在《中国的活动断层和构造》一文中指出：“包头和呼和浩特以北的东西向断层显示出有些左旋的走向滑动”⁷。

由上说明，阴山山前临河盆地、呼包盆地的北缘地震和南缘地震存在较大差异。北缘地震与阿拉善块体南边界的海原、古浪大地震，有相同破裂方式，表现出一致性，即北西向断层发生左旋错动；南缘地震与华北地区的唐山、邢台等大地震有相同破裂方式，表现出一致性，即北北东向断层发生右旋错动，并且在时间上其有同步性。

六、阴山带中强地震孕育过程中，中小地震活动规律的相似性

自1973年建立内蒙古地区地震观测台网以来，在阴山带先后发生和林格尔等5次中强地震，这个台网提供了较丰富的震前震后中小地震资料，经十几年地震预报实践和近年清理攻关研究^{8、1}，认识到阴山带中强地震前中小地震震兆有如下特征：

1、震前10年到震前3年，在未来中强地震周围40—80km出现中等地震(M_L4 左右)增强活动并形成空区或空段，空区长轴与未来中强地震破裂方向一致；

2、震前3年到震前1年，中小地震出现活跃，并形成前兆性空区，测震学指标，如 b 、 η 、 V_P/V_S 、小震调制比等出现异常，小震P波初动出现优势分布，符号矛盾比下降；

3、震前1年到震前3个月，前兆空区内出现小震活动，出现小震条带分布，其方向与未来中强地震震源机制解的节线方向一致；阴山构造带小震月频度出现几次峰值；在震源区边缘发生前兆性地震(M_s4 左右)和前兆性震群($h < 1$ 、 $b > 0.7$)；阴山带应力窗口(包头西)出现小震异常活动；

4、临震前无明显震兆反应，均无临震前震序列。

七、阴山带应力窗口的特殊效应

阴山山前的临河和呼包两个盆地间的衔接处是一个特殊的构造部位—白彦花断陷盆地(包头西)，该盆地的北和南分别被乌拉山山前断裂和鄂尔多斯块体北缘断裂切割，南北宽15—20km，相对临河盆地，呼包盆地很似一个亚铃的手柄处，是一个应力敏感部位。当阴山带出现中强地震孕育或应力场增强变化时，该部位中小地震出现异常活动，并伴随4级中等地震发生。图11给出包头地震台1969年有微震记录以来的小震月频度曲线($\Delta=100\text{km}$)。由图可看到和林格尔、巴音木仁、五原、丰镇、磴口等地震前9—12个月，均出现小震峰值，并超过2倍均方差；图12给出白彦花盆地($\psi_N 40^\circ 25' - 40^\circ 45'$ 、 $\lambda_E 109^\circ 10' - 109^\circ 30'$) $M_s \geq 2$ 级地震的M—T图，可见在上述几次地震前均出现2—3级地震密集活动，并伴随4级地震发生。2—3级地震密集活动正是图11中小震月频度出现峰

1) 内蒙古自治区地震局，地震综合预报清理攻关研究总报告，1985。

值之后。白彦花盆地小震异常活动为监视阴山带中强地震的发生有着较高可信度。因此可称为阴山带应力窗口⁽⁹⁾。

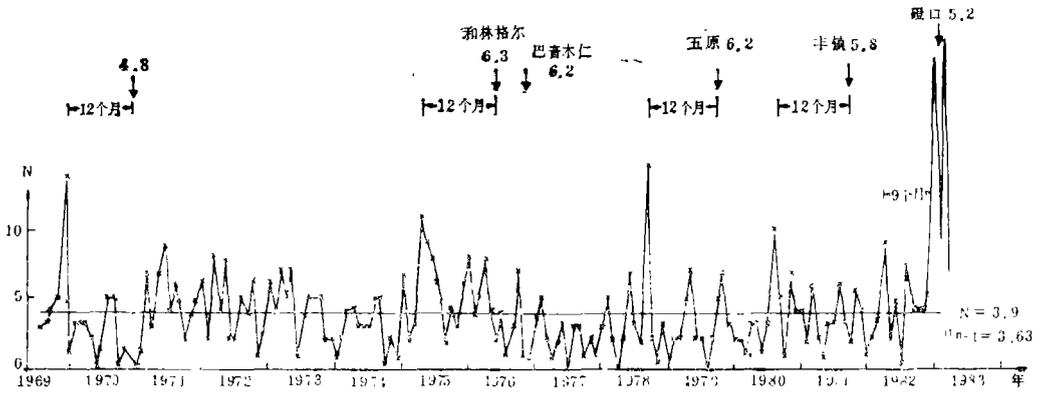


图11 包头台记录6—100km小震月频度与阴山带中强地震

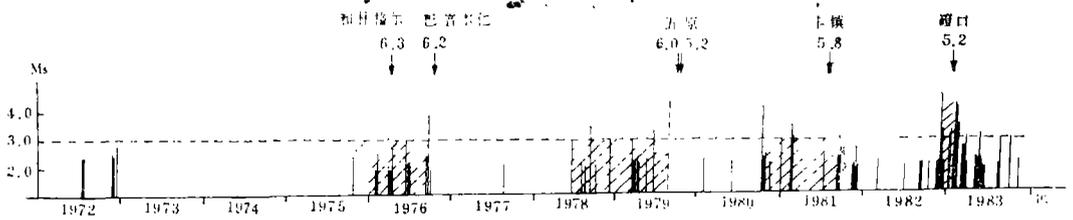


图12 乌拉特前旗—包头间小震 (Ms> 2.0活动与阴山带中强地震关系窗口效应)

八、阴山带未来地震趋势估计

根据阴山带历史大地震的考证和本世纪以来中强地震频繁发生，已充分证明阴山地震带是当今较强的活动地震带。今后10—20年阴山地震带地震活动是转入相对平静，还是将出现新的活跃？

1、自1923年有仪器记录的65年，内蒙古地区共发生5级以上地震44次，其中6.0—7.5级地震10次。这些地震虽然散布在东起呼伦贝尔草原，西到阿拉善盆地广大地域，但散中有序，存在明显的区域性、周期性。如，1923—1934年的11年间，地震活动主要集中在阴山构造带和东部大兴安岭隆起带的中段，共发生5级以上地震7次，其中Ms≥6级的地震两次（在阴山带）；1940—1942年的两年多时间内，地震活动集中在松辽盆地西南边缘的开鲁断块，发生两次6级地震；1952—1963年11年间，地震活动集中在西部的阿拉善地区及中蒙边界一带，发生5级以上地震18次，其中阿拉善南部有两次7级地震；1976—1983年8年间地震活动又重复1923—1934年的特征，地震在阴山构造带和大兴安岭隆起带前中段同步活动，并且发震地点也类似重复，发生5级以上地震9次，其中在阴山带发生3次6级地震；1983—现在，地震活动转移到阿拉善地区和中蒙边界一带，现在已发生5次5级地震。1983年，我们对上述特征已有认识，故指出阴山带地震活动将

正常衰减下去, 未来5—10年, 地震活动将转移到西部阿拉善及中蒙边界, 东部将在通辽—宁城地区出现中强地震活动。现已过去6年时间, 此认识得到初步验证, 在阿拉善南部发生两次5级地震(与之接壤的甘肃已发生6.7级地震), 在中蒙边界发生3次5级地震(包括阿巴戈、苏尼特旗地震); 在通辽附近发生两次4 $\frac{2}{3}$ 级地震, 而全区其他地区未发生4级地震。

依据上述地震活动区域性、周期性的认识, 从现在起今后10—20年, 阴山带将重复出现活跃。

2、一次强烈地震的孕育需要几十至百年, 大量震例证明强震发生前, 均要经历一个中等、中强地震增强活动过程。阴山构造带1929—1934年, 1976—1983年两次中强地震成丛发生, 为未来7级左右强震发生提供了必要的准备;

3、华北地区地震活动存在300年周期, 它的第三个活跃期(1484—1730年)的强震($M_s \geq 6$)活动主要集中在汾渭带, 山西带和燕山带的一部分, 呈“S”型分布, 发生8级地震3个、7级以上地震3个, 此外在郟庐带中段发生郟城8 $\frac{1}{2}$ 级特大地震。而华北地区第四个活跃期(1815—现在)强震活动整体向东迁移, 主要分布在北东走向的河北平原带及南北向的东部海域, 发生7级以上地震8次, 无8级地震, 最大地震为唐山7.8级, 释放的总应变能相当第三个活跃期的1/6, 活跃时间174年, 相对第三个活跃期尚少73年。

一个重要的问题是, 华北地区第三个地震活动期的后期, 在其活动主体地区以外的西南边缘, 即六盘山地震带出现6—7级地震活动, 当华北地区第三个活跃期结束之后, 1739年在平罗—银川发生8级大地震。华北地区第四个活跃期强震活动主体地区在河北平原带及东部海域, 当1976年唐山大地震发生后, 表明河北平原带应变能大释放业已完成, 在此时段, 阴山构造带相继出现一系列6级左右中强地震, 这是否表明华北地区地震活动已开辟一个新的地震活动区。李钦祖在文献〔11〕中也提出相同观点。这种空间上的转移很类似第三个活动期的情况, 阴山带将成为华北地区未来强烈地震孕育的重要地段。

4、1976年—1983年阴山带的中强地震活跃之前, 其4级地震活动实际是从1959年开始(图2), 作1959年以来阴山构造带 $M_s \geq 3.5$ 级地震的震级—频度拟合曲线, 得 $b = 0.612$, $a = 4.19$, 依据该曲线 b 值外推, 明显缺一个7级地震和数个中强地震。

5、在1976年以来的阴山带 $M_s \geq 4$ 级地震的空间分布上(图1)清楚看到, 在五原至巴音木仁之间的狼山山前断裂, 在呼和浩特至包头的大青山山前断裂, 在乌拉特前旗至五原的三个地段分别存在长度不等的4级地震的空段, 从地质构造角度分析, 这三个地段恰属阴山构造带具有发生强震的构造条件的地段。这三个地段是未来10—20年阴山构造带的三个主要强震危险区。

(1989年10月10日收到初稿)

参 考 文 献

- [1] 孙加林, 鄂尔多斯块体北部边缘发生强震的危险性, 西北地震学报, 增刊, 1985.
- [2] 邓超东等, 鄂尔多斯周缘活动断裂系, 地震出版社, 1982.
- [3] 中央地震工作小组办公室, 中国地震目录, 科学出版社, 1965.
- [4] 孙加林, 近年来阴山—燕山地震带地震活动的某些特征, 华北地震科学, 2, 1, 1984.
- [5] 内蒙古自治区地震队, 1929年毕克齐6.0级地震, 地震战线, 6, 1975.
- [6] 兰州地震大队, 宁夏地震队, 1920年12月16日海原大地震, 地球物理学报, 19, 1, 1976.
- [7] P.Tapponeir P.McInar, 中国的活断层和构造, 地震地质译丛, 1, 1, 1979.
- [8] 孙加林, 中强地震前兆的综合判定及预报, 地震, 5, 1985.
- [6] 孙加林, 包头乌拉特前旗震群序列及区域小震活动, 局部应力场特征, 地震, 6, 1979.
- [10] 李善帮, 中国地震, 地震出版社, 1981.
- [11] 李钦祖等, 华北地区大地震的活动特点, 地震科学研究, 2, 1980.

A STUDY OF THE SEISMISITY IN YINGSHAN SEISMIC ZONE (HUHHOT—WUYUAN)

Sun Jialin

(*Seismological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region*)

Abstract

In this paper, the seismic activity of yingshan seismic zone was discussed, and all aspects which could describe the characteristics of the seismic action were researched. The judgement for the future seismicity tendency in this region was made.