

宋美琴, 李斌, 吕芳, 王秀文, 梁向军. 2011. 山西及周边地区地震类型分区特征. 地震学报, 33(5): 691-696.  
Song Meiqin, Li Bin, Lü Fang, Wang Xiuwen, Liang Xiangjun. 2011. A study on sub-region division of earthquake types in Shanxi and its surrounding regions. *Acta Seismologica Sinica*, 33(5): 691-696.

## 山西及周边地区地震类型分区特征<sup>\*</sup>

宋美琴<sup>†</sup> 李 斌 吕 芳 王秀文 梁向军

(中国太原 030021 山西省地震局)

关键词 历史地震 地震类型 地震分区 山西及周边地区

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2011.05.013 中图分类号: P315.5 文献标识码: A

### A study on sub-region division of earthquake types in Shanxi and its surrounding regions

Song Meiqin<sup>†</sup> Li Bin Lü Fang Wang Xiuwen Liang Xiangjun

(Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, China)

**Key words:** historical earthquake; earthquake type; sub-region division; Shanxi and its surrounding region

中国大陆中强地震余震序列的研究(王华林, 周翠英, 1997; 刁守中等, 2002; 蒋海昆等, 2006)表明, 中强地震序列类型空间分布具有统计意义上较明显的区域性特征. 即某些区域中强地震以某种类型的序列活动为主, 另一些区域又以另外类型的序列活动为主, 固定区域的序列类型保持相对的稳定性. 事实上, 序列类型空间分布与区域构造运动形式有关. 主余型序列能够在各类形式的构造运动中产生, 特别是先存断层内部闭锁单元或障碍体的破裂, 或新生的相互分离的断裂段的破裂等, 大多产生主余型序列; 多震型序列往往与其轭构造或多组构造交汇相联系; 简单断层端部的进一步扩展则一般产生孤立型地震(蒋海昆等, 2006). 序列类型空间分布与区域深部介质环境也有一定关系, 上地壳高速区或高、低速过渡带可能以主余型序列活动为主, 上地壳低速区则可能有较多的多震型地震发生. 另外, 序列类型与该区域是否有历史大震活动也有一定关系(蒋海昆等, 2006). 部分地区的研究结果(周翠英等, 2001; 万永芳等, 2008; 皇甫岗, 秦嘉政, 2007; 田建明等, 2004)表明, 中小地震序列类型空间分布同样具有一定的区域特征.

山西断陷带是华北地区中强震频发的区域之一. 自有记录以来, 山西  $M_s \geq 3.5$  地震平均 1.7 次/年. 从 2009 年 3 月 28 日原平  $M_s 4.2$  地震后, 山西断陷带相继发生了 2010 年 1 月 24 日河津  $M_s 4.8$ , 2010 年 4 月 4 日大同-阳高  $M_s 4.5$ , 2010 年 4 月 6 日洪洞  $M_s 3.7$ , 以及 2010 年 6 月 5 日阳曲  $M_s 4.7$  地震.  $M_s \geq 3.5$  地震显著活跃, 使得序列类型判定工作显得尤为重要.

依据山西及周边地区  $M_s \geq 3.5$  地震的序列特点、山西不同区域应力场的差异和震后趋势早期判定工作的特殊需要进行分类, 并对地震类型、地理分布特征和构造环境进行分析探讨, 提取山西及其周边地区地震类型分区特征, 为山西省震后早期趋势快速判定提供参考依据.

## 1 山西及其周边地区现代断裂格局

山西及其周边地区包括山西断陷带的大部分区域. 而断陷带是鄂尔多斯块体东缘一条不连续的右旋

\* 基金项目 山西省科技攻关项目(20100311129-2)、中国地震局星火计划(xh1005)和中国地震局监测预报司工作项目“震后早期趋势快速判定预案”联合资助.

收稿日期 2010-05-28 收到初稿, 2010-11-28 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: smq28@126.com

剪切拉张带，总体呈北北东走向。其力源主要来自青藏断块 NE 和 NEE 向挤压和西太平洋板块俯冲带。这一挤压力直接作用在鄂尔多斯块体西南边界上，成为控制鄂尔多斯周缘共扼剪切破裂带形成的直接动力源。在这种区域构造应力场的作用下，山西隆起的轴部在晚第三纪发生地壳拉张而形成初始断陷盆地。同时，由于深部物质上涌产生的垂直作用力，晚新生代以来鄂尔多斯块体发生整体抬升(邓起东，程绍平，1999)。受鄂尔多斯块体整体抬升和其逆时针转动的共同控制(王庆良等，2002；范俊喜等，2003)，位于鄂尔多斯块体东缘的山西地震带的 NNE 向断裂和盆地，如口泉断裂、六棱山西麓断裂、五台山西麓断裂、系舟山西麓断裂、霍山山前断裂及其控制的大同、原平和临汾盆地等均为右旋正走滑断裂及地堑型盆地。山西地震带是华北地区的一条强震活动带，与强震活动有关的断裂多为北北东—北东走向的高角度正断层，根据历史地震资料记载和野外宏观调查，有几次地震其等震线长轴走向与各自所在盆地走向基本一致，也与当地主要构造线分布一致(刘巍等，1993)。现代中强震震源机制解结果与野外调查给出的断层错动方向及其力学性质基本一致，表明山西中强地震受控于区域活动断裂(图 1)。

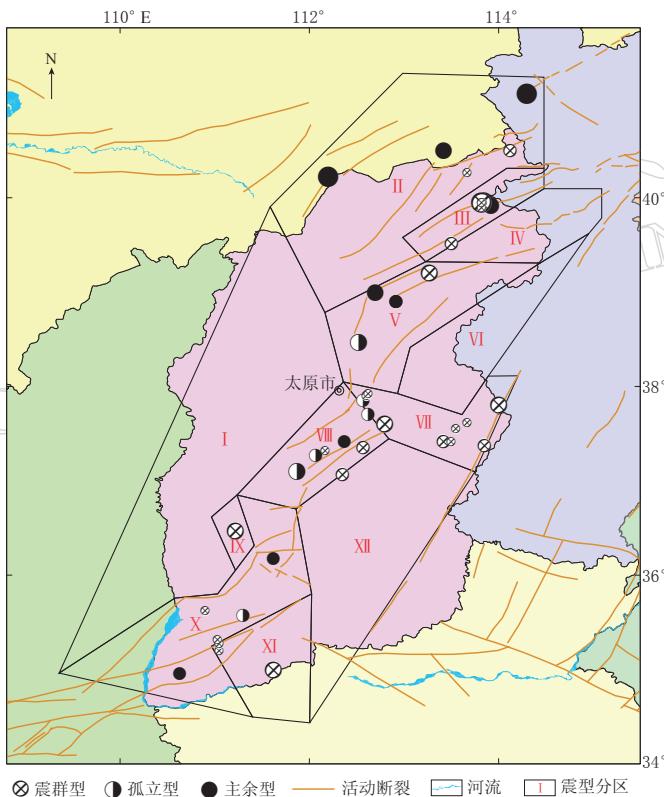


图 1 山西及其周边地区地震类型分区及震中分布图(1952 年 1 月—2009 年 3 月,  $M_s \geq 3.5$ )

Fig. 1 Division of sub-regions and epicenters of earthquake types in Shanxi and its surrounding regions

## 2 资料

### 2.1 资料选取

选取山西及周边地区有地震仪器记录以来(1952 年 1 月—2009 年 3 月)  $M_s \geq 3.5$  ( $M_L \geq 4.0$ ) 地震 91 次(不含余震、前震和震群、双震中的  $M_s \geq 3.5$  地震)。其中  $M_s 3.5—3.9$  地震 45 次,  $4.0 \leq M_s \leq 4.9$  地震 30 次,  $5.0 \leq M_s \leq 5.9$  地震 13 次,  $M_s \geq 6.0$  地震 3 次(图 1)。所使用的地震目录取自《中国地震目录》<sup>①</sup>和

<sup>①</sup> 《中国地震目录》(1970.01—2009.03). 中国地震局分析预报中心、中国地震台网中心编制.

《山西及邻近地区地震目录》<sup>①</sup>. 在收集序列小震目录时, 还参考了相关地震信息记载(武烈等, 1993, 1997; 张肇诚, 1990, 2000; 陈棋福, 2003).

## 2.2 资料的可靠性和相对完整性分析

山西地震监测工作始于 1952 年崞县  $M_S \geq 5.5$  地震的现场考察, 布设临时流动地震台监测余震活动。1953—1969 年, 山西地震台站较少, 主要依靠外围地区监测一些较大的地震。1970 年后, 因地震台网的建立和完善, 以及 1998 年开始的数字化技术改造, 使得山西地震观测的精度逐步提高, 全省可以监测  $M_L \geq 2.5$  地震, 台距 50 km 左右的区域可监测区域内  $M_L \geq 1.5$  地震(山西省地震局, 2006). 经过 40 余年的持续运行, 积累了丰富的余震数据。本文使用的 91 次  $M \geq 3.5$  地震可以作为山西及其周边地区地震类型研究的基础资料。

## 3 地震类型划分原则及分类结果

### 3.1 划分原则

参考现代地震序列分类标准(吴开统等, 1990), 并适当考虑余震的频次, 作为本研究的地震类型划分原则。

### 3.2 地震类型分类结果

表 1 山西及其周边地区各种类型地震比例

Table 1 Percentage of earthquakes with different sequence types in Shanxi and its surrounding regions

区域	震级下限	主余震型 (前震-主震型)	双震/多震型	孤立型	总样本数
山西及其周边地区	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	100% (14)	0	14
(1952 年 1 月—2009 年 3 月)	$M_S \geq 4.0$	36% (10)	42% (12)	21% (6)	28
	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	28% (4)	44% (6)	27% (4)	14
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	36% (4)	45% (5)	18% (2)	11
	$6.0 \leq M_S \leq 6.9$	67% (2)	33% (1)	0	3

针对选定的 91 次地震进行了系统的梳理和余震目录的收集、整理。对于仅有一次主震记录( $M_S \geq 3.5$ ), 无余震记录或余震记录少于 6 次的, 认为不满足序列类型判定的样本数, 划归为不可确定地震类型类; 其余的按照地震序列分类标准(吴开统等, 1990)来确定地震类型, 划归为可确定地震类型类; 其中对震群的判定标准, 根据山西境内地震活动情况, 依据有关震群的定义(陆远忠等, 1984), 同时借鉴部分研究成果(武烈等, 1997)进行了适当修改。

经过逐次地震的清理, 91 次地震中有 49 次地震不可确定地震类型, 有 42 次地震可确定地震类型。统计特征均基于 42 次可确定类型地震总结得出。在这 42 次地震中,  $M_S \geq 5.0$  地震的主要型、震群型所占比例均为 43%, 孤立型地震为 14%;  $4.0 \leq M_S \leq 4.9$  地震中震群型所占比例最高, 主余型、孤立型地震次数接近;  $M_S \leq 3.9$  地震则全部为震群型。

### 3.3 山西及其周边地区地震序列类型分区边界的确定

一次破坏性地震或显著地震发生的短时间内, 由于只有该次地震时、空、强三要素, 尚没有地震序列目录等必要数据, 难以利用序列本身的特点、余震活动情况或直接利用判断序列类型的量化标准等方法进行序列趋势判断, 只能根据该地区已发生的地震序列类型来进行早期趋势判断。如何利用已掌握的地震资料, 在破坏性地震或显著地震发生后, 通过其所在区域的震型分布特点来快速初判是目前应对地震趋势的有效途径。因此, 分区原则尤为关键。本研究本着以下原则进行分区: ① 各区域内的序列类型尽可能相同; ② 综合考虑地震类型地理分布特征、地震区带划分成果、地质构造分区成果; ③ 边界划分考

<sup>①</sup> 《山西及邻近地区地震目录》(1970.01—2009.03). 山西省地震局编制。

虑断层展布、断层分段活动性等因素，边界公用互连，以免有地点遗漏；④ 小区顶点尽可能少，以便于计算机操作。考虑上述基本原则并兼顾区域背景地震活动特点，震源机制所反映出的局部应力场差异，以及震情跟踪工作需求等因素的基础上，将山西及其周边分为 12 个区(图 1)，各分区地震类型统计结果见表 2(鉴于山西不可确定地震类型的地震数比可确定类型地震数多，表中附带列出了各分区的不可确定地震类型的地震统计结果，供震后快速判定工作参考)。

表 2 山西及周边地区各分区地震序列类型统计表

Table 2 Statistics of earthquake sequence types in Shanxi and its surrounding regions

区域	震级区间	主余震型 (前-主-余震)	双震/ 多震型	孤立型	总样本数 (可确定地 震类型)	备注 (不可确定 地震类型)
西部吕梁地区 (Ⅰ区)	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	0
	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	0	0	0	1
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	0	0	0	0
晋蒙冀交界及大同 地区(Ⅱ区)	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	100%(1)	0	1	4
	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	100%(1)	0	1	3
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	100%(1)	0	0	1	1
大同-阳高地区 (Ⅲ区)	$6.0 \leq M_S \leq 6.9$	100%(2)	0	0	2	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	100%(3)	0	3	0
	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	100%(1)	0	1	3
蔚县-灵丘 地区(Ⅳ区)	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	100%(2)	0	0	2	0
	$6.0 \leq M_S \leq 6.9$	0	100%(1)	0	1	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	2
忻定盆地地区 (Ⅴ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	0	0	0	1
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	0	0	0	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	4
河北涞源-山西 寿阳地区(Ⅵ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	100%(1)	0	0	1	0
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	33%(1)	33%(1)	33%(1)	3	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	1
山西石岭关-和 顺地区(Ⅶ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	67%(2)	33%(1)	3	1
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	100%(2)	0	2	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	100%(1)	0	1	6
山西太原盆地 地区(Ⅷ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	20%(1)	40%(2)	40%(2)	5	3
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	0	100%(1)	1	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	0
山西蒲县地区 (Ⅸ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	0	0	0	0
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	100%(1)	0	1	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	0
山西临汾-运城 地区(Ⅹ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	67%(2)	0	33%(1)	3	2
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	0	0	0	1
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	4
山西西部垣曲- 平陆地区(Ⅺ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	0	0	0	1
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	100%(1)	0	1	0
	$3.5 \leq M_S \leq 3.9$	0	0	0	0	1
山西左权-晋城 地区(Ⅻ区)	$4.0 \leq M_S \leq 4.9$	0	0	0	0	1
	$5.0 \leq M_S \leq 5.9$	0	0	0	0	0

## 4 讨论和结论

地震类型分区特征有利于后续地震趋势判定。如前所述，综合考虑地震序列特点和震源机制、构造分区等研究结果，将山西及其周边地区按地震类型优势分布分为12个区(图1)。各区的特点如下：

**西部吕梁地区(I区)**。以吕梁山区为主，主要包括内蒙清水河、陕西黄龙、宜川、山西五寨、岢岚等20几个县区，区域所处属太行山断块隆起区。有仪器记录以来仅发生了1993年9月11日五寨 $M_s$  4.8地震，且为不可确定地震类型的地震。

**北三省交界及大同地区(II区)**。为山西、内蒙、河北三省交界地区。在新构造活动分区上，该区位于一级构造区——汾渭断裂带的北段。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震13次。其中5次可确定地震类型。地震类型表现为，3次 $M_s \geq 5.0$ 地震全为主余型；2次 $M_s < 5.0$ 地震为震群型。

**大同-阳高地区(III区)**。涉及大同盆地东缘，主要活动断裂为六棱山断裂和恒山北麓断裂北段。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震10次，其中7次可确定地震类型。地震类型表现为， $M_s \geq 6.0$ 地震为震群型；晚期强余震( $5.0 \leq M_s \leq 5.9$ )则为主余型； $3.5 \leq M_s \leq 4.9$ 地震全部为震群型。

**河北蔚县—山西灵丘地区(IV区)**。为山西、河北交界地区，涉及山西灵丘、广灵和河北蔚县等地。在新构造活动分区上，该区位于一级构造区——汾渭断裂带的北段。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震3次，均为不可确定地震类型。

**忻定盆地地区(V区)**。为一级构造区——汾渭断裂带的中北段，区域涉及该带的忻定断裂盆地。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震8次，其中4次可确定地震类型。地震类型表现为，3次 $M_s \geq 5.0$ 地震主余型、震群型、孤立型各1次；1次 $M_s \leq 4.0$ 地震为主余型。

**河北涞源—山西寿阳一带地区(VI区)**。为太行山隆起区的一部分，无大活动断裂。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震1次，为不可确定地震类型。

**山西石岭关—和顺地区(VII区)**。涉及山西断陷带石岭关隆起、太行山隆起区的一部分。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震12次，其中10次可确定地震类型。地震类型表现为， $M_s \geq 3.5$ 地震以双震型(震群型)为主，仅有一次为孤立型。

**山西太原盆地地区(VIII区)**。为一级构造区——汾渭断裂带的中段，区域涉及该带的太原断陷盆地。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震16次，其中7次可确定地震类型。地震类型表现为，1次 $M_s \geq 5.0$ 地震为孤立型；5次 $4.0 \leq M_s \leq 4.9$ 地震中有2次为震群型，2次为孤立型，1次为主余型；1次 $3.5 \leq M_s \leq 3.9$ 地震为震群型。

**山西蒲县地区(IX区)**。以吕梁山区为主，主要包括山西蒲县和临汾市区的一部分。区域所处吕梁山断块隆起区。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震1次，为1967年蒲县5.0地震，为双震型。

**山西临汾—运城地区(X区)**。位于汾渭断裂带的南段，涉及临汾断陷盆地、运城断陷盆地、渭河断陷盆地和灵宝断陷盆地等区域。该区历史上曾发生过3次7级以上强震，分别为1501年陕西安康7级地震，1303年山西洪洞8级地震和1695年山西临汾7.5级地震，是山西断陷带震害最重的地区。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震18次，其中7次可确定地震类型。地震类型表现为，3次 $4.0 \leq M_s \leq 4.9$ 地震中2次为主余型，1次为孤立型；4次 $3.5 \leq M_s \leq 3.9$ 地震为震群型。

**山西西部垣曲—平陆地区(XI区)**。位于汾渭断裂带运城断陷盆地的东侧，属于太行山隆起区。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震6次，其中1次可确定地震类型，为 $M_s \geq 5.0$ 地震，为震群型。

**山西左权—晋城地区(XII区)**。该区位于太行山断块隆起区，位于汾渭断裂带与华北平原裂陷盆地之间。有仪器记录以来共发生 $M_s \geq 3.5$ 地震2次，均为不可确定地震类型。

$M_s \geq 3.5$ 地震序列地理分布特征研究表明，山西及其周边地区具有统计意义上的较明显的地震类型分区特征。上述研究结果可以作为山西及其周边地区震后早期趋势判定的参考依据。

## 参 考 文 献

陈棋福. 2003. 中国震例(1997—1999)[M]. 北京：地震出版社：373—399.

- 邓起东, 程绍平. 1999. 鄂尔多斯块体新生代构造活动和动力学的讨论[J]. 地质力学学报, 5(3): 13-21.
- 刁守中, 周翠英, 华爱军, 侯海峰. 2002. 历史地震序列类型的划分及其应用刍议[J]. 地震, 18(2): 305-310.
- 范俊喜, 马瑾, 甘为军. 2003. 鄂尔多斯地块运动的整体性与不同方向边界活动的交替性[J]. 中国科学:D辑, 33(S1): 119-128.
- 皇甫岗, 秦嘉政. 2007. 云南地震类型分区特征研究[J]. 地震学报, 29(2): 142-150.
- 蒋海昆, 李永莉, 曲延军, 华爱军, 代磊, 郑建常, 侯海峰. 2006. 中国大陆中强地震序列类型的空间分布特征[J]. 地震学报, 28(4): 389-398.
- 刘巍, 赵新平, 安卫平, 张开健. 1993. 山西地区的地壳应力场[J]. 山西地震, 74(3): 3-11.
- 陆远忠, 宋俊高, 戴维乐. 1984. 一个判断震情的指标震群的U值[J]. 地震学报, 6(增刊): 495-508.
- 山西省地震局. 2006. 山西省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社: 14.
- 田建明, 徐徐, 谢华章, 杨云, 丁政. 2004. 江苏及南黄海地区历史地震类型分布特征[J]. 26(4): 432-439.
- 万永芳, 叶东华, 陈大庆. 2008. 广东新丰江地区地震研究[J]. 华南地震, 28(2): 59-66.
- 王华林, 周翠英. 1997. 中国大陆及邻区地震序列类型的分区特征和震源环境讨论[J]. 地震, 17(1): 34-42.
- 王庆良, 王文萍, 崔笃信, 朱桂芝, 梁伟锋. 2002. 青藏块体东北缘现今地壳运动[J]. 大地测量与地球动力学, 22(4): 12-16.
- 吴开统, 焦远碧, 吕培苓, 王志东. 1990. 地震序列概论[M]. 北京: 北京大学出版社: 97-114.
- 武烈, 贾宝卿, 赵学普. 1993. 山西地震[M]. 北京: 地震出版社: 177-207.
- 武烈, 吸永清, 田勇, 陈淑贞, 张美仙, 王继. 1997. 山西震群[M]. 太原: 山西科学技术出版社: 5-6.
- 张肇诚. 1990. 中国震例(1976—1980)[M]. 北京: 地震出版社: 342-356.
- 张肇诚. 2000. 中国震例(1989—1991)[M]. 北京: 地震出版社: 87-348.
- 周翠英, 侯海峰, 华爱军, 刁守中, 刘希强. 2001. 山东及其近海区地震序列类型地理分布特征[J]. 华北地震科学, 19(3): 15-27.