

云南中强震序列类型的划分及其空间分布特征^{*}

李永莉, 赵小艳, 秦嘉政

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 依据公元 886 ~ 2009 年云南 $M_s \geq 5.0$ 地震资料, 分析云南地区中强以上地震序列类型早期划分及空间分布特征。结果认为: 云南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震序列以主余型为主, 其次为多震型; 主余型与多震型地震散布于云南省各个地区, 孤立型主要分布于东川、玉溪、盈江等地区。各小区域的地震震型特点为: 滇西北地区与云南地区地震类型比例一致; 小滇西地区 $M_s \geq 6$ 地震以多震型为主; 滇西南、滇东南地区 $M_s \geq 6$ 地震序列中主余型比例高达 90% 与 83%。滇东北地区震群型与孤立型约各占一半, 其中 5 ~ 5.9 级地震序列中孤立型所占比例为全省之最。

关键词: 历史地震; 现代地震; 序列类型; 云南地区

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)03-0255-07

0 引言

中国地处世界两大地震带之间, 地震频度之高、震级之大、受灾之重, 位列世界之首。云南国土面积仅占我国大陆的 4%, 而地震释放的能量却高达全国地震释放能量的 20% (皇甫岗等, 2000; 苏有锦等, 2001)。由于地震的频繁发生, 每当一个中强以上地震发生后, 地震工作者在震后短时间内面临着对中强以上地震(序列)的类型判定及后续活动趋势估计的问题, 这也是近年来地震后受到政府及社会高度关注的问题之一。由于中强以上地震发生后, 早期地震序列尚未充分发育, 常常无法满足地震序列参数计算的样本要求, 增加了对后续震情趋势做出明确判定的难度。

对中国大陆中强地震序列的研究表明(王华林等, 1997; 刁守中等, 2002; 蒋海昆等, 2006a): 中强地震序列类型的空间分布具有在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, 另一些区域又以其它类型的地震序列活动为主, 固定区域的序列类型保持相对的稳定性。地震序列类型空间分

布与区域构造运动形式及区域深部介质环境有一定关系。

目前对地震序列类型的早期判定大多基于有测震仪记录地震资料的中强震序列, 对历史地震资料的分析涉及较少。笔者收集了云南省有文献记载以来的中强以上地震资料, 依据历史地震资料与现代地震序列记录, 研究云南地区中强以上地震序列早期类型及空间分布特征, 为云南地区中强震的震后序列早期趋势判定提供一定的依据。

1 资料与定义

1.1 $M_s \geq 5.0$ 地震序列资料的收集

笔者查阅了《云南省地震史料汇编》(云南省地震史料编辑室, 1988)、《中国地震历史资料汇编》(谢毓寿, 蔡美彪, 1983, 1985, 1986, 1987)、《中国强地震目录》^①、《西南地震简目》(川、滇、黔、藏地震简目编辑组, 1988)等文献, 发现历史上关于地震信息的记载并不少见, 最早的记载可追溯至公元 886 年大理洱源地区的地震记录“龙首龙尾二关三阳城皆崩”。此后至公元 1249 年的近 400 年间, 由数百年之后的嘉靖《南诏野史》、万历《云南通志》追记有保山、大理两地各 2 次地震。

^{*} 收稿日期: 2010-11-25.

基金项目: 云南省基金重点项目“青藏高原东缘强震活动规律与板缘动力学机制(2010CC006)”与云南省十项措施“云南强震活动与板缘动力学机制研究”项目联合资助。

^① 中国地震局监测预报司预报管理处. 1999. 中国强地震目录.

再至公元 1386 年之百余年间, 仅有《元史》、《明史》各记 2 次“云南地震”。明代以前云南地震大量漏载, 而且记述简略。云南文化发展较中原地区滞后, 现仅存两部明代《云南通志》和三部府、州志有地震记述。自明代洪武至万历初之 200 余年(公元 1368 ~ 1573 年), 正史为云南地震记载主要来源, 主要有《明史》、万历《云南通志》与《滇志》等地方志。清康熙初云南修纂方志盛行, 并逐渐成为地震记述的重要载体。清代 260 余年间的地震事件, 云南有《清代地震档案资料》以及《清史稿》等地震详细载录。

云南地区较为详细的有关地震的记载始于唐代, 对地震序列类型差异的描述已可见于文字说明, 如“自寅至申地震十五次”, “地震有声, 民物(屋)摇动, 二次而止”, “旬月常震, 越四年始宁”, “连日再震, 凡五”, “连震数日”, “次日复大震”, “地大震, 四日乃止”, “连震者三”等(谢毓寿等, 1983, 1985, 1986, 1987; 云南省地震史料编辑室, 1988)。到明清时期, 有了更为详细的地震记载, 如 1833 年 9 月 6 日嵩明杨林一带(25°N, 103°E) 8 级地震, 史料记载: “道光十三年癸巳七月二十三日巳刻, 昆明、嵩明、宜良、河阳、寻甸、蒙自、晋宁、江川、阿迷、呈贡等十三州县同时地大震, 坍塌瓦草房八万三四千间, 午未二时又震, 至夜又震数次。八月九月或三四日或五六日又震十余次。”(云南省地震史料编辑室, 1988)。这些记载为我们粗略估计历史地震序列类型提供了相对清晰的基础资料。进入民国尤其是 1930 年之后, 除文字描述外, 部分强地震已有国际地震中心报告(ISS、BISC)记录的资料。1957 ~ 1965 年的地震主要采用了中国地震台网观测报告、中国地震台站临时报告、区域地震目录等资料, 还增加了 1950 ~ 1965 年美国 USGS 记录的资料, 因而对历史地震序列类型更增加了准确性判定的依据。西南地震台网建立于 1965 年后, 1966 年后云南地震已有较完整的仪测地震记录, 能记录云南省大部分地区 $M_L \geq 2.5$ 地震, 因而 1966 ~ 2009 年间发生的地震采用云南省地震遥测台网记录的地震资料。

笔者共收集到 374 次云南历史上中强以上地震的地震资料, 其中公元 886 ~ 1965 年 $M_s \geq 5$ 地震资料 247 次, 1966 ~ 2009 年 $M_s \geq 5$ 地震序列资料 127 次(图 1)。

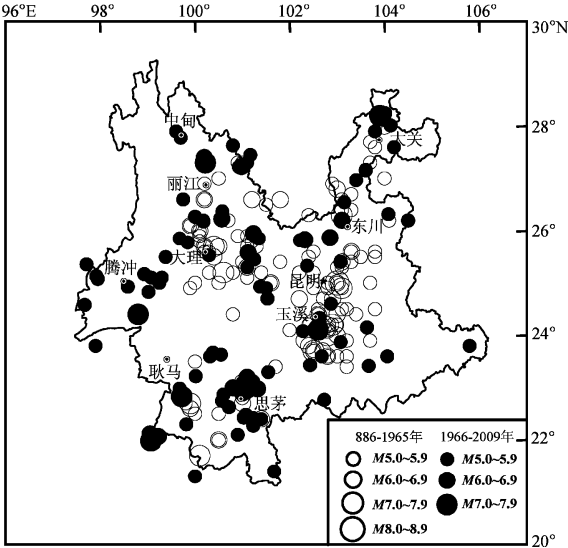


图 1 886 ~ 2009 年云南地区 $M_s \geq 5$ 地震震中分布
Fig. 1 Distribution of the epicenters of $M_s \geq 5.0$ earthquakes from 886 to 2009 in Yunnan area

1.2 序列分类划分

1.2.1 对历史地震序列类型的划分方案

对历史地震序列类型的判定主要依据文献描述的地震宏观现象, 由于地震史料记载基本为定性描述且记载很不完整(邓瑞生, 王彬, 2005), 对历史地震序列进行分类必然存在一定的不确定性, 因此依据前述地震史料记载特点和预测预报中常用的地震序列类型分类标准, 在对地震序列类型进行判定时力求综合考虑历史记载中的上、下文内在联系、时间控制为短期(3 个月)以及主震强度等因素, 将地震序列类型分为 3 类: (1) 孤立型: 史料记载中提出仅为单次地震, 或描述内容较简单、模糊为某日某地地震等字样的地震序列; (2) 主余型: 史料记载中发生多次地震, 且短期内地震强度有所差别的地震序列, 或有历史强地震目录记录能确定地震序列目录的地震(这类地震极少)可以按地震序列目录进行判别; (3) 多震型: 史料记载中短期内有两次以上强烈有感地震或明显能分辨地震次数但强度差别不明显的序列, 有历史强地震记录, 能确定地震序列目录的地震则按强地震序列目录进行判定。

1.2.2 现代地震序列分类定义

中强地震发生后, 人们较为关注的是早期地震序列类型及短期内地震趋势的判定, 蒋海昆等(2006b)以序列主震震级(M_0)与震后 3 个月内

最大余震 (M_1) 之间的震级差 $\Delta M = M_0 - M_1$ 进行序列类型划分, 将地震序列类型划分为孤立型、主余型及多震型三类。划分标准为: ①孤立型: $\Delta M \geq 2.5$ 且余震次数较少; ②主余型: $0.6 \leq \Delta M \leq 2.4$; ③多震型: $\Delta M < 0.6$, 此序列包含了以往研究所划分的双震型及震群型序列。

2 地震序列震型的分类及分布

2.1 序列的分类

依据上述判定标准对云南地区 $M_s \geq 5$ 地震进行早期地震类型判定, 笔者发现公元 886 ~ 1965 年的 247 次 $M_s \geq 5$ 的地震资料 (24 次为余震) 中, 可参与判定的地震有 223 次, 其中有 157 次主余型地震, 占 70%; 55 次多震型, 占 25%; 11 次孤立型, 占 5%。主余型为主要序列类型。

1966 ~ 2009 年云南地区记录到的 $M_s \geq 5$ 地震有 127 次 (24 次为余震), 可判定的独立地震事件

有 103 次, 依据主震与地震序列中最大余震差判定地震序列类型结果为: 69 次主余型地震, 占 67%; 25 次多震型, 占 24%; 9 次孤立型, 占 9%。 $M_s \geq 6$ 地震序列共 24 次: 主余型地震占 79%, 多震型占 21%, 无孤立型; $M_s \geq 7$ 地震序列共 6 次: 主余型地震占 67%, 多震型占 33%, 无孤立型。1966 ~ 2009 年云南地区 $M_s 5 \sim M_s 7$ 地震序列均以主余型序列为主, 其次为多震型, 孤立型最少, 且 $M_s \geq 6$ 地震序列无孤立型。

综合上述结果, 公元 886 ~ 2009 年 $M_s \geq 5$ 地震序列类型划分为: $M_s \geq 5$ 地震序列共 326 次: 主余型地震占 69%, 多震型占 25%, 孤立型占 6%; $M_s \geq 6$ 地震序列共 91 次: 主余型地震占 73%, 多震型占 26%, 孤立型占 1%; $M_s \geq 7$ 地震序列共 20 次: 其中主余型地震占 85%, 多震型占 15%, 无孤立型。云南地区 $M_s 5 \sim M_s 7$ 地震序列均以主余型序列为主, 其次为多震型, 孤立型最少, 且 $M_s \geq 7$ 地震序列无孤立型。

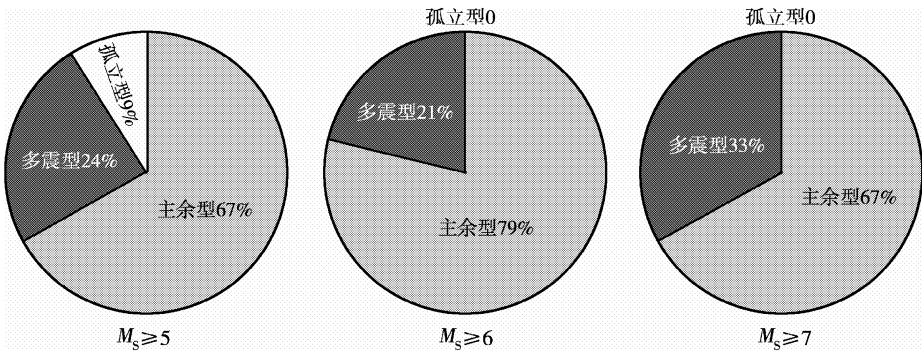


图 2 1966 ~ 2009 年云南地区各震级地震序列类型所占比例

Fig. 2 Proportion of earthquake type with different magnitudes from 1966 to 2009 in Yunnan

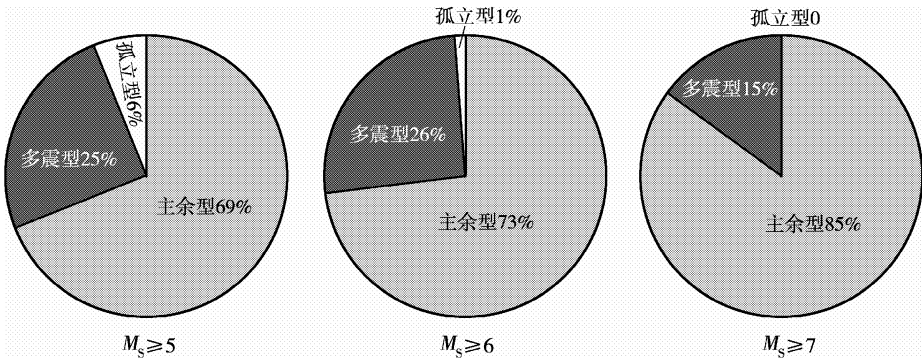


图 3 公元 886 ~ 2009 年云南地区地各震级震序列类型所占比例示意图

Fig. 3 Proportion of earthquake type with different magnitudes from 886 to 2009 in Yunnan

表 1 云南地区各档震级中震型比例

Tab. 1 Proportion of earthquake type on different magnitude interval in Yunnan

震级分档	主余震型		多震型		孤立型		样本数	
	全部	现代	全部	现代	全部	现代	全部	现代
5.0 ~ 5.9	68%	63%	24%	25%	8%	12%	235	79
6.0 ~ 6.9	70%	83%	29%	17%	1%	0	71	18
7.0 ~ 7.9	84%	67%	16%	33%	0	0	19	6
$M_s \geq 7$	85%	67%	15%	33%	0	0	20	6
$M_s \geq 6$	73%	79%	26%	21%	1%	0	91	24
$M_s \geq 5$	69%	67%	25%	24%	6%	9%	326	103

2.2 历史与现代地震序列类型的差异

相对于历史地震可能存在遗漏及不确定因素，现代地震序列较为精确，将云南现代地震序列与历史以来的地震序列类型进行分档对比（表 1），可以看出现代地震序列与历史地震序列均以主余型为主，震群型序列次之，孤立型最少；地震序列各震型的比例基本一致；细微差别在于现代地震序列中 $M_s \geq 7$ 地震序列多震型所占比例相对较高，现代地震序列中 6 ~ 6.9 级地震主余型所占比例相对较高。因此云南省历史及现代地震序列中各类型所占比例的一致性，证明了固定区域地震序列类型保持相对的稳定性论点，同时肯定了本文对序列类型采用划分方法的可行性。

2.3 地震类型空间分布特征

将公元 886 年以来云南地区 $M_s \geq 5$ 地震序列按震型以主震震中为参考位置绘入图 4 中，可见云南地区的中强地震在空间上主要围绕着云南省主要大断裂分布：红河断裂、金沙江断裂、安宁河—小江断裂及怒江—澜沧江断裂等分布，其中主余型与多震型地震散布于云南各个地区，孤立型主要分布于东川地区、玉溪地区、盈江一带等。

考虑历史地震存在的遗漏及不确定因素等问题，笔者单独分析 1966 ~ 2009 年云南地区地震序列类型（图 5），从格局看 1966 ~ 2009 年中强地震与历史以来的分布无明显变化，但各断裂构造之间出现了空段。综合考虑历史大震和近代中强以上地震分布、活动断裂带上的大型几何结构不连续部位等因素，尤其是对于现今地震活动相对密集区之间的稀疏地带，在统计时应尽量不遗漏已发生历史地震的地区。笔者将云南地区进一步划分为 5 个地震活动区域（图 5），统计各个区域历史以来各地震震型比例及空间分布，具体如下：

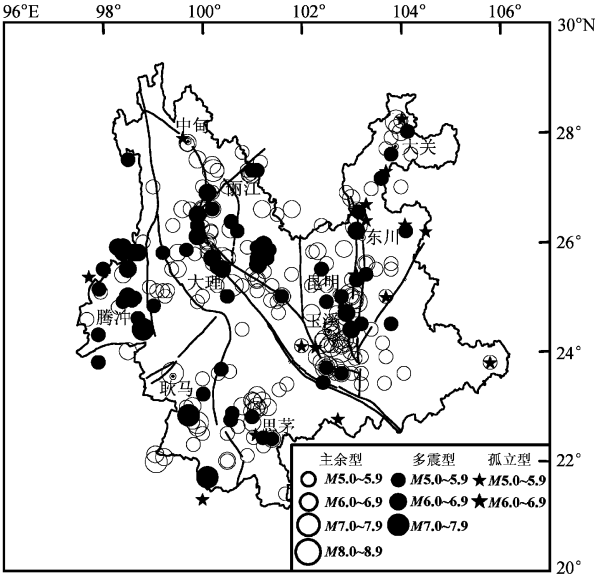


图 4 公元 886 ~ 2009 年云南地区地震震型分布图
Fig. 4 Distribution of earthquake types from 886 to 2009 in Yunnan

（1）滇西北地区：呈不规则四边形分布（区域的 4 个顶点的坐标依次为：28.5°N, 97.5°E; 26°N, 99.7°E; 23.8°N, 101.5°E; 28.5°N, 101.5°E）。该区以北西向的怒江断裂、金沙江断裂、程海断裂为主体构造，以中甸—大理地震带为主。该区可以确定序列类型的 $M_s \geq 5$ 地震共 92 次，其中 68 次主余型序列，占 74%；23 次多震型，占 25%；1 次孤立型序列，占 1%。 $M_s \geq 6$ 地震共 24 次，其中 18 次主余型，占 75%；6 次多震型，占 25%。滇西北地区 $M_s \geq 5.0$ 地震中主余型地震分布于整个区域，多震型主要集中于宁蒗、大理、大姚一带。孤立型地震仅为 1966 年 1 月 31 日中甸 5.1 级地震，该区与云南地区以主余型为主的震型特点一致。

（2）小滇西地区：呈不规则四边形分布（区域的 4 个顶点的坐标依次为：26°N, 97.5°E; 23.8°N, 97.5°E; 23.8°N, 101.5°E; 26°N, 99.7°E）。该区以近南北向的怒江断裂、北西向的澜沧江断裂为主体构造，以腾冲—龙陵地震带为主。该区可以确定序列类型的 $M_s \geq 5$ 地震共 51 次，其中 27 次为主余型序列，占 53%；23 次多震型，占 45%；1 次为孤立型序列，占 2%。 $M_s \geq 6$ 地震共 15 次，其中 5 次主余型地震序列，占 33%；10 次多震型序列，占 67%。小滇西地区 $M_s \geq 5.0$ 地震以主余型与震群型为主，尤其是该区域

$M_s \geq 6$ 的地震类型以多震型为主，所占比例高达 67%。主余型地震散布于整个区域，多震型主要集中于龙陵、施甸、腾冲、盈江一带，按本文以时间间隔 3 个月判定该区域的震群有连续出现多组的震例。孤立型地震仅为 1985 年 9 月 6 日盈江北 5.8 级地震，该区与云南地区以主余震型为主的地震类型不同，是属于多震型集中的地区。

(3) 滇西南地区：呈不规则五边形分布（区域的 5 个顶点的坐标依次为：23.8°N, 98.5°E; 21.2°N, 98.5°E; 21.2°N, 102°E; 22.7°N, 103.3°E; 23.8°N, 101.5°E）。该区以北西向的澜沧江断裂为主体构造，以耿马—澜沧地震带与思茅—普洱地震带为主。该区可以确定序列类型的 $M_s \geq 5$ 地震共 49 次，其中 37 次为主余型，占 76%；9 次为多震型，占 18%；3 次为孤立型，占 6%。 $M_s \geq 6$ 地震共 21 次，其中 19 次为主余型地震序列，占 90%；3 次多震型序列，占 10%。滇西南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震以主余型为主，尤其是该区域 $M_s \geq 6$ 的主余型地震占 90%。主余型地震分布于整个区域，多震型地震主要分布于澜沧、耿马、普洱一带。

(4) 滇东南地区：呈不规则五边形分布（区域的 5 个顶点的坐标依次为：22.7°N, 103.3°E; 22.7°N, 106°E; 25.25°N, 106°E; 25.25°N, 101.5°E; 23.8°N, 101.5°E）。该区以南北向的小江断裂、元谋—绿汁江断裂，北西向的红河断裂、楚雄—建水断裂为主体构造，以小江断裂地震带中南段与楚雄—建水地震带为主。该区可以确定序列类型的 $M_s \geq 5$ 地震共 82 次，其中 62 次为主余型序列，占 76%；14 次多震型，占 17%；6 次为孤立型序列，占 7%。 $M_s \geq 6$ 地震共 23 次，其中 19 次主余型地震序列，占 83%；4 次多震型序列，占 17%。滇东南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震以主余型为主，尤其是该区域 $M_s \geq 6$ 的主余型地震占 83%。主余型地震分布于整个区域，多震型集中于石屏、澄江一带。

(5) 滇东北地区：呈规则长方形分布（区域的 4 个顶点的坐标依次为：25.25°N, 101.5°E; 25.25°N, 105°E; 28.5°N, 105°E; 28.5°N, 101.5°E）。该区以南北向的安宁河—小江断裂、普渡河断裂，北西向的马边—彝良断裂为主体构造，以小江断裂地震带北段与大关—马边地震带为主，该区可以确定序列类型的 $M_s \geq 5$ 地震共 52

次，其中 33 次为主余型序列，占 64%；10 次多震型，占 19%；9 次为孤立型序列，占 17%。 $M_s \geq 6$ 地震共 10 次，其中 7 次为主余型地震序列，占 70%；2 次多震型地震序列，占 20%；1 次为孤立型序列，占 10%。滇东北地区 $M_s \geq 5.0$ 地震以主余型为主，多震型与孤立型基本相当，该区虽然也是属于以主余震型为主的地区之一，但其孤立型地震所占比例与多震型的比例相当。主余型、孤立型地震分布于整个区域，多震型集中于鲁甸、寻甸、东川等地。

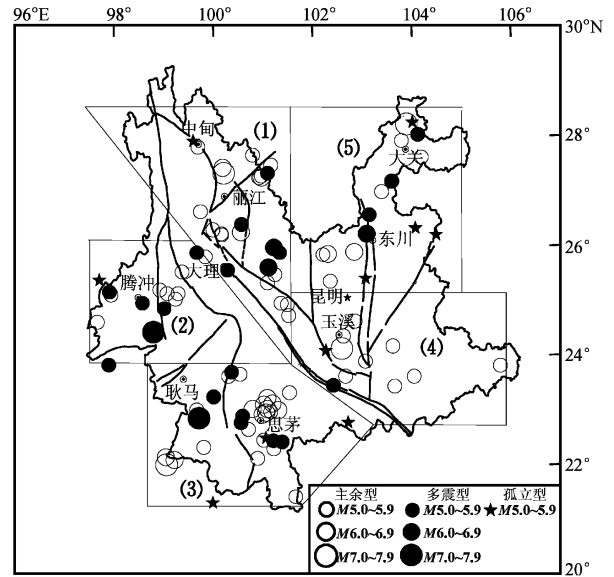


图 5 1966 ~ 2009 年云南地区地震类型分布及分区
Fig. 5 Distribution and division of earthquake types from 1966 to 2009 in Yunnan area

3 地震类型空间分布的成因探讨

云南地区位于青藏高原的东南缘、印度板块与欧亚大陆碰撞的前沿地带，是受印度板块北东向碰撞构造应力影响的区域。区域内深大断裂发育，著名的红河断裂从西北向东南斜贯云南全境将云南分成东北与西南两大部分，西南部分主要有以南北向为主的怒江断裂、澜沧江断裂，东北部分则有以南北向为主的程海断裂、元谋—绿汁江断裂和小江断裂，还有北西向的金沙江断裂以及北东向的丽江—木里断裂、南汀河断裂等（阚荣举，韩源，1992）。由于主余型序列能够在各类形式的构造运动中产生，因此云南地区的主余型

地震无明显的集中区域;多震型序列往往与共轭构造或多组构造交汇相联系,如小滇西地区的腾冲—龙陵地震带由多条次级新生断层组成(虢顺民,2002),呈斜列或共轭展布,共轭构造活动可能是该区多震型地震频繁发生的一个主要因素。

此外,序列类型空间分布与区域深部介质环境也有一定关系。主余型地震大多发生在上地壳高速区或高、低速过渡带内,而多震型地震则多发生在上地壳低速区内。云南地区强震震源深度主要分布在10~20 km的上地壳内,但各分区内的深部介质环境也存在较大差异,如小江地震构造带和金沙江—红河地震构造带上的强震主要发生在上地壳的高速区或高、低速过渡带内,其下的中地壳普遍发育低速层(陈培善等,1990),而小滇西的龙陵地区与滇西南的澜沧—耿马地震带则为上地壳低速区(苏有锦等,1999),因此,滇西北地区、滇东南地区的强震可能以主余型序列活动为主,龙陵地区与澜沧—耿马地区则可能有较多的多震型地震。

4 问题与结论

(1) 本文仅对主震后3个月内的地震序列类型进行分类,但云南地区有部分地震序列超过了3个月,即短期内对地震序列的判定与对全序列的判定出现矛盾。以往的研究将1929~1934年腾冲6级震群视为一组,本文以主震后3个月为限将其划分为多组5、6级多震型;普洱1971年4月18日6.7级与1971年9月14日6.2级地震,以往的研究都将其归为多震型,按本文的判定标准可将其视为两次6级主余型地震序列。因此,本文对地震类型的统计结果仅限于对主震后3个月内早期判定的需要,具有时间的局限性。

(2) 1966年以来云南地区的中强震、强震全序列持续时间超过3个月的仅有3例,占总数的3%,小滇西、滇西南及滇东北地区各有一例5、6级地震序列,但持时未超过6个月,因此若上述3个区域出现5、6级地震序列,应考虑震中周围小范围历史地震特殊性,提出半年内可能的震型修正意见,尽量减少误判。

(3) 表1中仅讨论了云南省历史与现代地震序列类型所占比例的一致性,实际上各分区历史与现代地震序列类型的比例也存在一致性,如:

滇西南地区49次 $M_s \geq 5$ 地震中现代序列有32次:其中22次为主余型,占69%,7次为多震型,占22%,3次为孤立型,占9%。21次 $M_s \geq 6$ 地震序列中现代序列有12次:其中11次为主余型占92%,1次为多震型序列,占2%。与上述的滇西南地区包含历史与现代地震序列的各地震类型所占比例是一致的。其余分区情况也类似,因篇幅所限本文就不一一叙说。

(4) 公元886~1965年云南地区的部分地震历史资料分析中,存在对地震仅有宏观现象的定性文字描述且记载很不完整等许多不确定性,可能会影响地震工作者对地震震中、强度、精度及其地震震型的判定,因此在对今后发生的某次地震序列类型判定时,特别是在对具有小区域特点的地震序列做早期判定时,应侧重于现代地震震型及震区地震地质因素的考虑,历史地震序列分类结果仅为参考,以避免可能的误判。

公元886~2009年云南地区326次 $M_s \geq 5$ 地震的序列类型分类统计及空间分布分析结果为:云南地区5、6、7级地震序列均以主余型为主,其次为多震型,7级以上地震序列无孤立型;主余型与多震型散布于云南省各个地区,孤立型主要分布于东川、玉溪、盈江等地区一带。5个分区内 $M_s \geq 5.0$ 地震的震型比例各有不同的区域特点:滇西北地区与云南地区地震类型比例均以主余型为主,多震型次之,孤立型最少;小滇西地区 $M_s \geq 5.0$ 地震序列的主余型与震群型几乎相当,尤其是该区域 $M_s \geq 6$ 地震以多震型为主,高达67%,震群型地震主要集中于龙陵、施甸、腾冲、盈江一带;滇西南地区、滇东南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震主余型占大多数,尤其是 $M_s \geq 6$ 地震序列中,滇西南地区主余型地震占90%,滇东南地区主余型地震占83%。滇东北地区震群型与孤立型地震约各占一半,其中5~5.9级地震序列中,孤立型序列占较高的比例,空间上散布于整个区域;震群型主要分布于鲁甸、东川、华宁等地。

参考文献:

- 陈培善,刘福田,李强,等.1990.云南地区速度结构横向不均匀性[J].中国科学(B辑),20(4):431~438.
- 川、滇、黔、藏地震简目编辑组.1988.西南地震简目[M].成都:四川科学技术出版社,3~33.
- 邓瑞生,王彬.2005.云南历史地震记载与强震目录再析[J].中国地震,21(2):280~284.

刁守中,周翠英,华爱军,等. 2002. 历史地震序列类型的划分及其应用刍议[J]. 中国地震,18(3):304-310.

虢顺民,徐锡伟,向宏发,等. 2002. 龙陵—澜沧新生断裂带地震破裂分段与地震预测研究[J]. 地震地质,24(2):103-114.

皇甫岗,石绍先,苏有锦. 2000. 20 世纪云南地区地震活动研究[J]. 地震研究,23(1):3-11.

蒋海昆,李永莉,曲延军,等. 2006a. 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.

蒋海昆,曲延军,李永莉,等. 2006b. 中国大陆中强地震余震序列的部分统计特征[J]. 地球物理学报,49(4):1110-1117.

阚荣举,韩源. 1992. 云南遮放至马龙地质断面(说明书)[M]. 北京:地震出版社,9-46.

苏有锦,李忠华,刘祖荫,等. 2001. 20 世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震活动的基本特征[J]. 地震研究,24(1):1-9.

苏有锦,刘祖荫,蔡民军,等. 1999. 云南地区强震分布的深部地球介质背景,地震学报,21(3):313-332.

王华林,周翠英,耿杰. 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,地震,17(1):34-42.

谢毓寿,蔡美彪. 1983. 中国地震历史资料汇编(第四卷)[G]. 北京:科学出版社.

谢毓寿,蔡美彪. 1985. 中国地震历史资料汇编(第一卷)[G]. 北京:科学出版社.

谢毓寿,蔡美彪. 1986. 中国地震历史资料汇编(第二卷)[G]. 北京:科学出版社.

谢毓寿,蔡美彪. 1987. 中国地震历史资料汇编(第三卷)[G]. 北京:科学出版社.

云南省地震史料编辑室. 1988. 云南省地震史料汇编[G]. 北京:地震出版社.

Classification of Medium-strong Earthquake Sequences and its Spatial Distribution Characteristics in Yunnan

LI Yong-li, ZHAO Xiao-yan, QIN Jia-zheng
(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The medium-strong earthquakes ($M_s \geq 5.0$) from 886 A. D. to 2009 in Yunnan are classified as 3 sequential types—mainshock-aftershock, multiple mainshock, and single shock. Then the spatial distribution of the 3 types of the earthquakes is studied. We find that the mainshock-aftershock sequence is in the majority in Yunnan, and the multiple mainshock sequence takes the second place. These two types of sequence are widely distributed in Yunnan, and the single shock sequence is mainly distributed in the areas such as Dongchuan, Yuxi, Yinjiang, and so on. In the sub-region of Northwest Yunnan, the proportion of the 3 types of sequence is in accordance with the one in the whole Yunnan area. The multiple mainshock ($M_s \geq 6.0$) sequence in a special part (called Xiaodianxi) of the West Yunnan is dominant, and the mainshock-aftershock sequence ($M_s \geq 6.0$) reaches 90% of the total in Southwest Yunnan and 83% in Southeast Yunnan. In Northeast Yunnan, the proportion of the multiple mainshock sequence equals with that of the single earthquake sequence, meanwhile, the proportion of single earthquake ($5.0 \leq M \leq 5.9$) sequence is the highest in Yunnan.

Key words: historical earthquakes; modern earthquakes; sequences type; Yunnan region