

汶川 8.0 级地震最大余震的强度估计^{*}

李忠华, 苏有锦

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 基于对古登堡—里克特震级频度关系的理解, 提出估计地震序列最大余震强度的思路: (1) 根据主震发生后数天的地震序列目录, 得到该序列的衰减系数 P 值和震级频度关系 b 值; (2) 估计该序列结束时可能的余震总次数; (3) 依据该序列的 b 值和估计的余震总次数, 按古登堡—里克特震级频度关系估计最大余震的强度。将该思路应用于汶川 8.0 级地震最大余震的震级估计, 结果显示: 按该思路估计的最大强余震的震级可能比仅根据已发生地震得到的震级更接近实际情况。

关键词: 汶川 8.0 地震; 地震序列; 震级频度; 震级估计

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0442-03

0 引言

经过多年的地震观测, 前人总结了许多地震活动的经验公式。在地震活动性方面, 公认的并在实际观测中获得证实, 且具有一定普遍性的现象并不多, 能被大家基本接受的只有两条: ① 古登堡—里克特公式: $\lg N = a + b(8 - M)$, 对于 $M \leq 8$ 时可写成 $\lg N = a - bM$; ② 大森—宇津公式: $N(t) = K/(t + C)^p$, 若 $t \gg C$ 时, $N(t) = Kt^{-p}$ 。这两个公式也是地震序列活动的基本规律 (吴开统等, 1990)。

根据古登堡—里克特震级频度关系可知: (1) 震级频度具有层次性, 即高震级档的地震频次与低震级档的地震频次具有比例关系; (2) 不含时间的统计公式, 即不考虑地震在时间轴上的先后秩序。因此, 如果要估计地震序列最大余震的强度, 就要想办法估计该余震序列的所有地震, 才可能对其做出较合理的估计。也就是只有得到足够多的余震, 即得到余震序列足够多的信息, 才可能较好地描述该余震序列, 这从常识上来认识也是正确的。

笔者应用上述思路对汶川 8.0 级地震序列最大强余震的震级进行了估计。

1 资料和估计结果

资料来自中国地震局分析预报信息网络 (AP-

net), 2008 年 5 月 22 日得到的文件名为 20080512—20080520。该资料共记录了主震至 5 月 21 日 9 时 45 分 9.9 秒止的大小地震 2 973 次, 即主震后不足 9 个 24 小时的余震目录。

由于该次地震破坏巨大, 为了保证所用资料的完备性和一致性, 用主震后 24 小时的余震目录确定震级下限。主震至 5 月 13 日 14 时 26 分 37.3 秒止共记录大小地震 428 次 (含主震), 据此得到该地震序列的震级下限为 3.7 级 (图 1^a)。主震后 24 小时共记录到大于等于 3.7 级地震 258 次 (含主震), 整个目录资料共记录到大于等于 3.7 级地震 629 次 (不含主震), 得到序列的 b 值为 0.875 (图 1^b), 由图可知 b 值截距为 6.06。使用主震后 8 个 24 小时的余震目录得到该余震序列的衰减系数为 1.192 95 (图 1^c), 共有 618 个震级大于等于 3.7 级地震。

要估计该地震序列可能的余震总次数, 就要对余震序列的结束给出定义。由于该序列的震级下限为 3.7, 对余震序列的结束给出两种定义: (1) 如果 24 小时内发生大于等于 3.7 级地震不到 1 次, 则余震序列结束; (2) 如果 30 天内发生大于等于 3.7 级地震不到 1 次, 则余震序列结束。

如果 24 小时内发生大于等于 3.7 级地震仅 1 次, 由余震衰减的大森公式有 $t = \frac{1}{P} = 258 \frac{1}{1.19295} = 105$ 天, 即 105 天后, 每 24 小时内发生 $M \geq 3.7$ 地震将不到 1 次, 这 105 天内设地震序列仍按 $P =$

* 收稿日期: 2008-07-14.

基金项目: 中国地震局地震短临跟踪专项, 云南及邻区强震震情跟踪项目资助

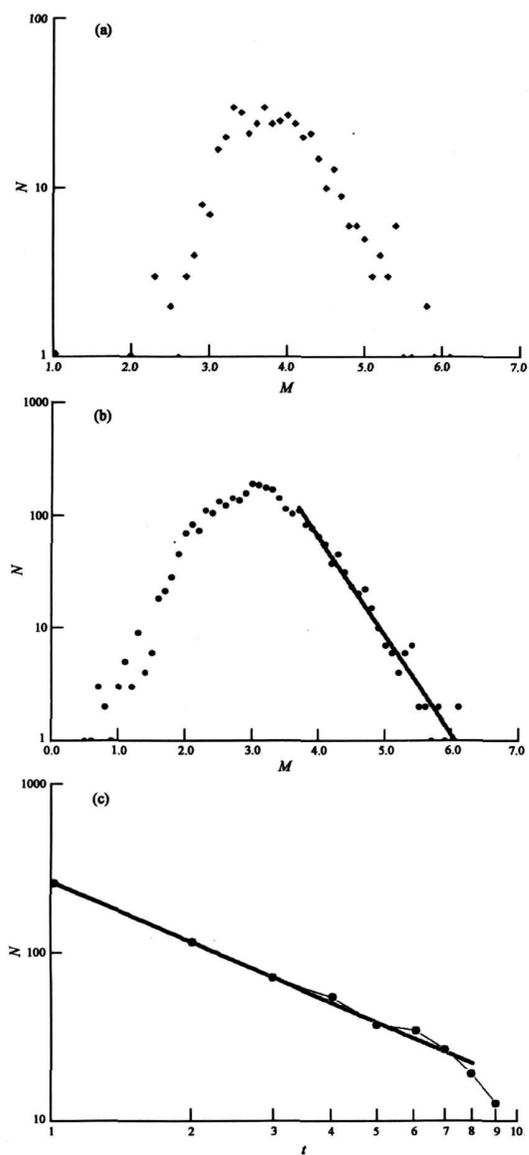


图 1 余震序列的震级频度关系和衰减关系
 (a) 主震后 24 小时; (b) 主震至 5 月 21 日 9 时 45 分 9.9 秒; (c) 主震后 8 个 24 小时

1. 192 95 衰减, 将发生 $M \geq 3.7$ 地震 945 次, 再设该序列震级频度关系仍按 $b=0.875$ 分布, 则按古登堡—里克特震级频度关系将这 945 次地震分布到各个震级档 (表 1), 此时 $a=5.474 4$ 由 b 值截距可得到最大震级为 6.26 级。主震后整 8 个 24 小时记录到 $M \geq 3.7$ 级地震 618 次, 占估计的余震总次数 945 次的 65.4%。从余震次数的角度看, 我们已经掌握了该序列 65% 的信息了, 上述对最大余震震级的估计具有一定的可靠性。

如果 30 天内发生大于等于 3.7 级地震不到 1 次该序列结束, 则该序列的结束时间为主震后 1 884 天, 即从第 1 885 天至 1 914 天间发生 $M \geq 3.7$ 地震总数不到 1 次, 设地震序列在这 1 884 天内仍按 $P=1.192 95$ 衰减, 将发生 $M \geq 3.7$ 地震 1 178 次, 同样设该序列震级频度关系仍按 $b=0.875$ 分布, 按古登堡—里克特震级频度关系将这 1 178 次地震分布到各个震级档 (表 2), 此时 $a=5.569 9$ 由 b 值截距可得到最大震级为 6.37 级。此时主震后整 8 个 24 小时记录到 $M \geq 3.7$ 地震 618 次, 占估计的 1 178 次地震的 52.5%。从余震次数的角度看, 我们已经掌握了该序列 52% 的信息, 对最大余震震级的估计还是具有一定的可靠性的。

按照这两种余震序列结束的定义得到两个最大余震震级的估计分别为 6.26 级和 6.37 级, 均比资料给出的已发生的余震大; 而仅根据已发生的余震得到的最大余震震级的估计为 6.06 小于等于资料给出的已发生的最大余震震级。两种余震序列结束的定义, 第一种要求较宽松, 第二种要求较严格, 但得到的最大余震震级估计值差别并不大。

表 1 第 1 种地震序列结束定义下的震级频度关系

震级	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
频次	172.5	141.1	115.3	94.3	77.1	63.0	51.5	42.1	34.4	28.1	23.0	18.8	15.4	12.6	10.3	8.4	6.9	5.6	4.6	3.8	3.1
震级	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
频次	2.5	2.1	1.7	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0

表 2 第 2 种地震序列结束定义下的震级频度关系

震级	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
频次	215.0	175.8	143.7	117.5	96.0	78.5	64.2	52.5	42.9	35.1	28.7	23.4	19.2	15.7	12.8	10.5	8.6	7.0	5.7	4.7	3.8
震级	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
频次	3.1	2.6	2.1	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

2 讨论和结论

地震预测是基于“以震报震”的假设,即根据已发生的地震对未来可能发生地震的震级、时间和地点三要素进行预测。仅就震级而言,从严格意义上说,仅根据已发生的地震应用 b 值截距法并不能对将要发生的地震在震级方面提供令人信服的依据,预测的震级与实际情况存在明显的差距。这种现象是必须加以正视的,并且是不能回避的。最大的问题是仅能给出未来可能地震的震级下限,而无法给出可能的最大上限震级,而最大上限震级显然是应当考虑的,这是对震级进行合理估计必须考虑的两个参考坐标之一。

在地震序列余震震级的预测方面,从总体情况看,主震发生后,余震是明确的,并且从数量上看是大量的,数日之内发生的地震数已经占了余震序列地震数目的很大比例。同时注意到:余震序列的震级频度关系遵从古登堡—里克特公式,而古登堡—里克特公式是不含时间的统计公式,即与地震在时间轴上的先后顺序无关。这些事实似乎提示:只有得到余震序列中足够多的地震,即得到余震序列足够多的信息,才有可能较好地描述该余震序列,这从常识上来认识也是正确的。因此,如果要预测最大余震的强度,就要想办法

去穷尽余震序列的所有地震,才可能对最大余震的强度做出较合理的估计。

基于以上分析,提出估计地震序列最大余震强度的思路:(1)根据主震发生后数天的地震序列目录,得到该序列的衰减系数 P 值和震级频度关系 b 值;(2)估计该序列结束时可能的余震总次数;(3)依据该序列的 b 值和估计的余震总次数,按古登堡—里克特震级频度关系估计最大余震的强度。

该估计地震序列最大余震强度的方法是建立在一个假设上的,即余震序列就按已发生余震得到的衰减关系衰减和将来发生的余震在震级频度关系上仍遵从按已发生地震得到的震级频度关系。如果未来发生的余震偏离根据已发生地震得到的衰减关系和震级频度关系,该估计方法对地震序列最大余震强度的估计将与实际情况产生较大偏差。

这种思路不仅可以用于估计地震序列最大余震的强度,同样可以用于估计未来可能地震的极限最大震级。即要想办法估计与未来可能地震有关的地震数目,才有可能对未来地震进行较合理的估计。

参考文献:

吴开统,焦远碧,吕培苓,等.1990 地震序列概论 [M].北京:北京大学出版社:124—150.

Estimating Magnitude of Maximum Aftershock of the Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake

LI Zhong-hua SU You-jin

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

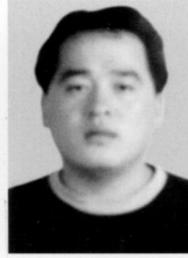
Abstract

We present a method to estimate the magnitude of the maximum aftershock through the Gutenberg-Richter relation. The b value and damping coefficient P value of aftershock sequence are calculated in terms of the aftershock sequence several days after mainshock. The magnitude of the maximum aftershock is given by the Gutenberg-Richter relation based on calculated b value and the estimated total number of aftershocks of whole sequence. We use the method to estimate the maximum aftershock of the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake. The estimated magnitude more agrees with the real one than the result only based on the occurred aftershocks.

Key words: Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake; earthquake sequence; magnitude frequency; prediction of magnitude



李忠华 云南省地震局副局长。1986年毕业于中国人民解放军国防科学技术大学爆炸物理专业,获工学学士学位;2004年毕业于清华大学电子与通讯工程专业,获工程硕士学位。主要从事地震预测预报研究。



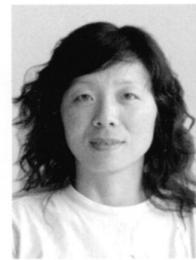
蔡明军 中国地震局地球物理研究所在读博士,云南省地震局助理研究员。1996年毕业于中国科技大学地球与空间科学系,获理学学士学位。2004年获清华大学电子与信息工程硕士学位。主要从事地震监测研究工作。



阚丹 云南省地震局监测中心高级工程师。1992年毕业于云南大学地球物理专科。主要从事地震监测、地震编目工作。



张森 云南省地震局助理研究员。1996年毕业于北京大学地球物理系,获理学学士学位。主要从事地震监测工作。



曹刻 云南省地震局副局长。1989年毕业于云南大学计算机科学系软件专业,2008年4月获昆明理工大学计算机技术硕士学位。现主要从事地震应急、地震研究、计算机应用、软件开发等工作。

注:薄万举、李永莉、付虹、钱晓东、刘翔、赵小艳、秦嘉政、张希、李桂华、陈慧、叶建庆、谢英情、李西、卢永坤、施伟华、解丽、非明伦等作者的简介已分别刊登在本刊 Vol.29 No.1; Vol.29 No.4; Vol.30 No.1; Vol.29 No.1; Vol.28 No.4; Vol.30 No.2; Vol.28 No.4; Vol.30 No.3; Vol.29 No.4; Vol.30 No.4; Vol.30 No.3; Vol.28 No.4; Vol.30 No.2; Vol.29 No.1; Vol.30 No.4; Vol.30 No.4; Vol.28 No.4.