

# 利用云南测震台网强震仪记录测定汶川主震震级<sup>\*</sup>

张 森, 杨周胜, 颜其中, 蔡绍平

(云南省地震局, 昆明 650224)

**摘要:** 传统的地震分析通常使用微震仪记录, 利用云南测震台网现有的国家台强震仪记录, 仿真成速度记录后测定汶川地震主震的震级, 从而解决了因微震仪记录限幅而不能及时、准确测算强震震级的问题, 该方法可应用到今后的速报工作。

**关键词:** 限幅; 强震仪记录; 仿真; 震级; 速报; 汶川 8.0 地震

**中图分类号:** P315.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0480-06

## 0 引言

地震震级是传统的地震三要素之一, 它是地震大小的度量 (陈章立, 2008), 是最重要、最为人所关注的极敏感的地震要素, 也是政府部门决定是否紧急救援的前提。

目前常用的几种不同的震级标度 (傅淑芳等, 1991; 陈运泰等, 2004; 刘瑞丰等, 2005<sup>a</sup>; 2005<sup>b</sup>; 2006), 都是通过测量地震波中的某个震相的最大振幅来测定。所以, 地震记录的完整性和准确性就是最为重要的, 如果地震记录不完整或者不准确, 那么不管用什么方法都是无法准确测定出地震震级的。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川省汶川县发生了举世震惊的强地震, 大半个中国以及一些东南亚、南亚的国家都有感。地震发生后不到 6 分钟, 四川省地震局就做出了第一次速报, 发震时刻和震中位置都是准确的, 但是却没有震级, 而是注明了“限幅”, 4 分钟后, 他们发出第二次速报, 才补上了震级 ( $M_{7.3}$ )。地震发生 14 分钟以后, 中国地震台网中心发出第一次速报, 其震级是  $M_{7.6}$ 。又过了 9 分钟, 他们发出第二次速报, 将震级修正为  $M_{8.0}$ 。此时离地震发生已过了 23 分钟 20 秒。5 月 18 日, 根据国际惯例, 地震专家利用包括全球地震台网在内的更多台站资料, 对这次地震的参数进行了详细测定, 据此对震级进行修订, 修订后震级最终为里氏 8.0 级。

此次地震的震级报出稍慢, 而且又几次改动,

究其原因, 最重要的一个就是大震后许多微震仪的记录限幅, 从而不能准确测定震级。如果地震局能在第一时间准确报出地震震级, 政府采取相应的对策, 或许可以挽救更多的生命、减少更多的财产损失。

解决地震记录限幅问题最有效的方法就是利用强震仪记录。传统的强震仪记录主要用于工程抗震研究, 现在, 将其实时仿真 (金星等, 2004; 2005) 之后, 完全可以用来准确地测定出象汶川这样强地震的震级并用于速报。

## 1 云南台网汶川地震记录的情况

云南测震台网现有两套测震实时记录系统在并行运行: 一套是“九五”项目所建台网 (以下称“九五”台网), 由 26 个子台组成, 无强震仪, 地震计是港震公司生产的周期 20 s 的宽频带地震计 FBS3, 数字采集器是 16 位字长的 EDAS3。由于数采的字长小、动态范围不够, 所以汶川地震时, “九五”台网所有台站的记录均已限幅, 从而不能准确测定震级, 测出的震级最大只有 7.4 级。另一套是“十五”项目所建台网 (以下称“十五”台网), 由 46 个子台组成 (图 1), 其中 8 个国家台有强震仪, 除了中甸台之外, 子台微震仪是武汉地震研究所制造的 CTS-1E (周期 120 s), 强震仪是港震公司生产的 BBAS2, 数字采集器是港震公司生产的 EDAS24L。中甸台的仪器全是美国制造的, 微震仪是 KS2000 (周期 120 s), 强震仪是 PA-23, 数字采集器是 SMART24 R。

\* 收稿日期: 2008-07-15.

基金项目: 云南省“十五”数字地震台网建设项目资助。

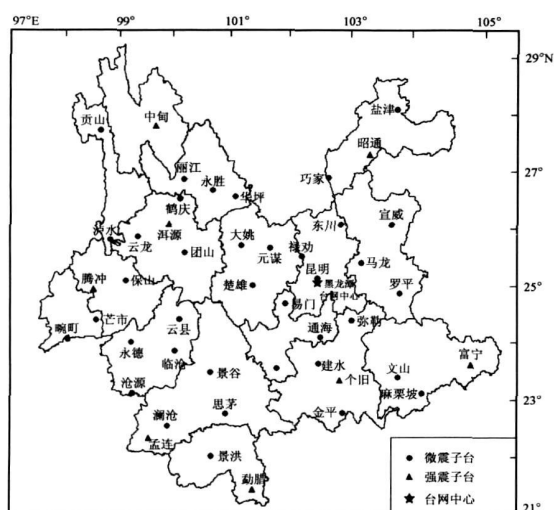


图 1 云南“十五”测震台网分布图

虽然“十五”台网的数字采集器的字长是 24 位, 动态范围比“九五”台网的大很多, 但是本次汶川大地震发生时, 其大部分子台 (38 个) 的记录仍然限幅了, 所以“十五”台网测出的震级最大只有  $M_{\text{L}} 7.7$ , 同样偏小 (图 2)。

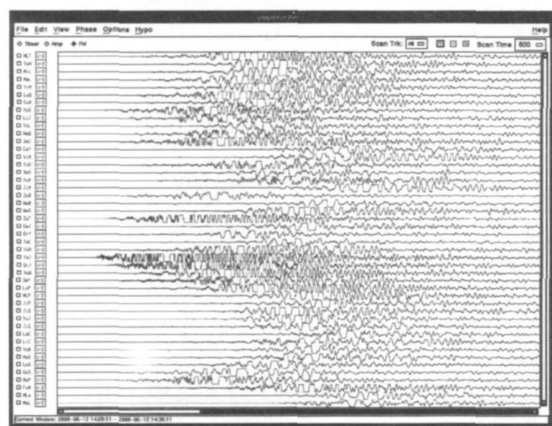


图 2 “十五”台网记录的汶川地震波形

## 2 地震记录限幅的原因

地震记录限幅是由两种原因造成的:

(1) 地震波超出了数字采集器的量程, 我们

称之为数采限幅。数字采集器的最大量程我们称之为测量范围或者饱和值。24位数采的饱和值就是  $2^{23} = 8\,388\,608$  (counts)。仪器灵敏度 (陈运泰等, 2000) 是  $1\,200\text{ counts}/(\mu\text{m/s})$ , 所以 24 位数采能记录到的最大速度就是  $223/1\,200 = 6\,990.5\text{ }\mu\text{m/s}$ , 代入震级公式:

$$M_s = \lg \frac{A}{2\pi} + 1.66 \lg \Delta + 3.5. \quad (1)$$

其中,  $A$  是速度记录的面波最大振幅, 单位是  $\mu\text{m/s}$ ;  $\Delta$  是震中距, 单位是度。

由上式可以得到, 震中距  $\Delta=1$  度时, 24 位数采能记录到的地方震的最大震级是  $M_{6.5}$  (16 位数采则只有  $M_{5.7}$ )。云南台网的東西跨度和南北跨度都是 6 度左右, 所以, 如果云南中部发生 7.3 级以上的地震, 那么所有的微震记录将全部限幅, 无法准确测定震级。汶川大地震的震级是 8.0 级, 所以震中距小于 833 km 的地震台站的记录都会限幅。

(2) 地震计限幅。因为地震计（云南“十五”台网多数子台用的是美国制造的 KS2000）的摆锤也是有一个最大摆动幅度的，当地震太大时，如果摆锤摆动的幅度超出其最大限度，就会“靠边”受限，从而使其记录要小于真实的地面运动。这次汶川大地震，云南台网有 38 个台站的记录限幅，其中大部分都是这个原因造成的，比如黑龙潭台、马龙台、东川台、盐津台都是如此，波形显示其记录已经限幅，但是最大振幅并没有达到数采的最大量程（表 1），也就是数采并没有限幅，而是地震计限幅。

将最大振幅值代入震级公式可以算出, 当  $\Delta = 1$  度时, 多数 KS2000 地震计只能正常记录  $M_s \leq 6.4$  的地震。

### 3 用强震仪记录测定震级的过程和方法

云南“十五”台网有 8 个国家台安装了强震仪，所用仪器是港震公司生产的 BBAS<sub>2</sub> 其测量范围是  $\pm 2g$  所以完全可以完整地记录 8 级以上巨震

表 1 汶川地震部分台站记录的最大振幅

| 台号 | 台名  | 代码  | 最大振幅 <sup>count</sup> 值 (绝对值) |           |           | 数采最大量程                 |
|----|-----|-----|-------------------------------|-----------|-----------|------------------------|
|    |     |     | U-D                           | E-W       | N-S       |                        |
| 1  | 黑龙潭 | HLT | 7 255 044                     | 7 389 319 | 7 389 913 | $2^{23} = 8\,388\,608$ |
| 4  | 马龙  | TLH | 7 261 218                     | 7 473 599 | 1 134 112 |                        |
| 12 | 东川  | ML  | 7 271 697                     | 7 388 966 | 7 365 978 |                        |
| 27 | 盐津  | ML  | 7 443 233                     | 7 573 504 | 7 660 184 |                        |

的波形。图 3是汶川大地震的强震仪记录（腾冲台、富宁台因仪器故障无记录），波形记录是很完整的。

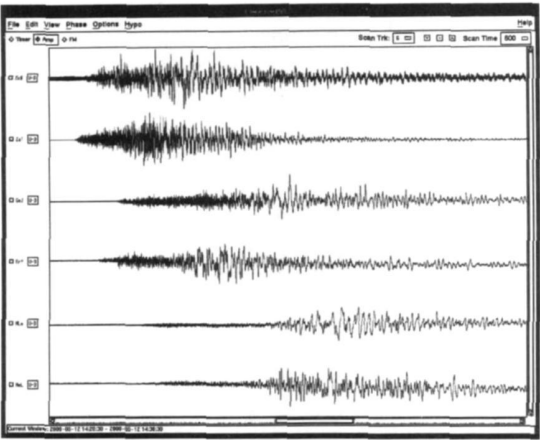


图 3 云南台网强震仪记录到的汶川大地震

因为强震仪记录到的是地面加速度，所以将其记录积分后，也就成了速度记录，我们就可以象用微震仪的速度记录一样计算震级了。

理论上由加速度积分精确计算速度的公式如下

$$v(x) = \int_0^x a(t) dt \tag{2}$$

但是，实际上，地震记录并不是连续函数，而是由离散的点构成的，所以不能直接用此公式进行积分计算，而是要进行数值计算。因此，我们采用了比“矩形算法”和“梯形算法”更为精确的辛卜生公式：

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{6} [f(a) + 4f(\frac{a+b}{2}) + f(b)] \tag{3}$$

辛卜生公式是采用“抛物线法”计算定积分所导出的一个近似计算公式，其计算误差不超过  $\frac{(b-a)^2}{2880} M$ ，这里  $M$ 是被积函数  $f(x)$ 的 4阶导数绝对值的上界。如果  $f(x)$ 是 3次多项式函数，则误差为 0 此时辛卜生公式是精确计算公式（南京大学数学系，1978）。

由于强震仪的记录频带很宽（DC~100 Hz），所以我们做了适当的滤波处理，这样得到的波形与微震仪记录到的波形更相近。

利用加速度记录积分求速度记录的方法概括起来主要分为两大类：一类是频域方法，另一类是时域方法，只有时域方法才适合实时计算。我们的目的是利用强震仪记录实时仿真速度记录并用于大震

速报，所以我们采用的也是一种时域方法。  
图 4是用加速度记录积分后得到的速度记录波形图。

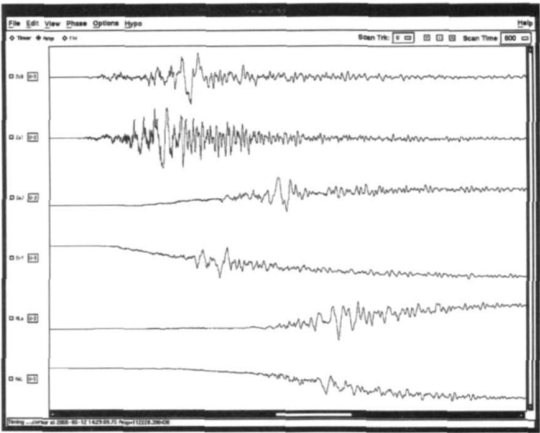


图 4 由加速度记录积分得到的速度记录波形图

中甸台的微震仪记录没有限幅，对比其微震仪记录到的波形和其强震仪记录积分后得到的波形（图 5），可以看出，两种波形几乎是一模一样的。

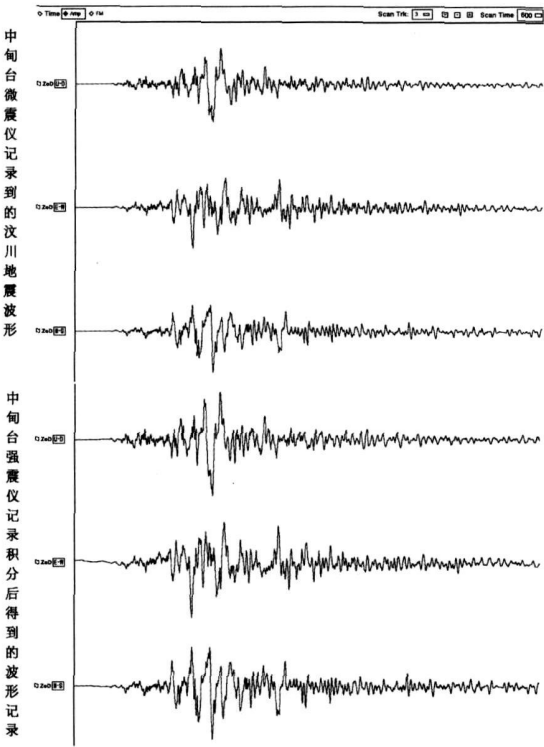


图 5 中甸台微震仪记录和强震仪记录积分后波形的对比

为了检验积分的误差，我们又将积分所得的速度记录微分后得到加速度记录，然后和原始的强震仪记录做比较（图 6、表 2）。



表 3 汶川地震的震级测算结果

| 台名    | 代码  | 震中距<br>Δ/度 | 强震仪记录<br>加速度峰值<br>/Gal | 积分所得速度记录                   |        |        |       | 微震记录<br>测定震级<br>M <sub>S</sub> |                   |
|-------|-----|------------|------------------------|----------------------------|--------|--------|-------|--------------------------------|-------------------|
|       |     |            |                        | 最大振幅 /μ m· s <sup>-1</sup> |        | 周期 / s |       |                                | 震级 M <sub>S</sub> |
|       |     |            |                        | E—W                        | N—S    | E—W    | N—S   |                                |                   |
| 中甸台   | ZQD | 4.51       | 5.01                   | 42 931                     | 68 255 | 9.92   | 7.04  | 8.13                           | 7.9               |
| 昭通台   | ZaT | 3.67       | 6.19                   | 48 693                     | 29 029 | 7.44   | 6.48  | 7.93                           | 7.4               |
| 个旧台   | GeJ | 7.62       | 1.55                   | 37 007                     | 13 443 | 16.96  | 10.00 | 8.23                           | 7.9               |
| 洱源台   | ErY | 5.73       | 0.89                   | 9 865                      | 7 954  | 8.48   | 5.44  | 7.61                           | 7.6               |
| 勐腊台   | MLa | 9.68       | 0.89                   | 17 436                     | 8 382  | 10.88  | 14.72 | 8.15                           | 8.0               |
| 孟连台   | MeL | 9.27       | 0.66                   | 8531                       | 3 966  | 10.32  | 10.40 | 7.80                           | 7.8               |
| 平均震级: |     |            |                        |                            |        |        |       | 8.00                           | 7.7               |

注：因中甸台的强震仪未做过标定，所用参数是仪器出厂参数，所以两种震级有微小差异。

以上面波最大振幅是根据地震波形并查面波走时表（国家地震局地球物理研究所，1980）辨识后测量所得。

4 讨论

从表 3 可以看出，用云南测震台网强震仪记录测定的汶川地震的震级是  $M_s8.0$  和中国地震局最终确定的震级是一致的。所以，当发生强地震微震仪的记录限幅时，用这种方法测定震级是完全可行的。

测震台网最重要的功能是大震速报。我们的设计是：用现有的 8 个强震台（根据需要今后还可以增加）单独组网，在台网中心用一台服务器记录连续波形并将其实时仿真为地动速度记录，当网内或网缘区域发生强震而微震仪记录限幅时，我们就可以用微震记录定位并根据其结果用强震仪记录测算震级，如果强震仪记录的初动清楚时，也可以直接用强震仪记录定位并计算震级，这样，就可以完全满足地震速报的需要了。如果在网内区域发生了强地震，我们能够在第一时间准确地定出地震的参数，并速报给中国地震局以及地方政府，使相关部门能及时地做出应急救援的行动，从而为抗震救灾争取到宝贵的时间，在灾害发生后，挽救尽可能多的生命和挽回尽可能多的财产损失。

参考文献：

陈运泰，刘瑞丰．2004. 地震的震级 [J]. 地震地磁观测与研究，25（6）：1—12  
陈运泰，吴忠良，王培德，等．2000. 数字地震学 [M]. 北京：地震出版社．  
傅淑芳，刘宝诚．1991. 地震学教程 [M]. 北京：地震出版社．  
国家地震局地球物理研究所．1980. 震相走时便查表 [M]. 北京：地震出版社．  
金星，马强，李山有．2004. 利用数字强震仪记录实时仿真地动速度 [J]. 地震工程与工程振动，24（1）：49—54.  
金星，马强，李山有．2005. 利用数字强震仪记录实时仿真地动位移 [J]. 地震学报，27（1）：79—85.  
李桂华，刘国华，何家斌，等．2003. 昆明数字遥测台网近震震级的测定 [J]. 地震地磁观测与研究，24（5）：32—38.  
刘瑞丰，陈运泰，任 泉，等．2005 a. 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西地震——一次面波震级未饱和的地震 [J]. 地震学报，27（5）：467—476.  
刘瑞丰，陈运泰，Bomann P 等．2005 b. 中国地震台网与美国地震台网测定震级的对比（I）——体波震级 [J]. 地震学报，27（6）：583—587.  
刘瑞丰，陈运泰，Bomann P 等．2006. 中国地震台网与美国地震台网测定震级的对比（II）——面波震级 [J]. 地震学报，28（1）：1—7.  
南京大学数学系计算数学专业 编．1978. 数值逼近方法 [M]. 北京：科学出版社：30—60  
王丽颖，张芳．2002. 辛卜生公式注释 [J]. 白城师范学院学报，（1）：55—56.  
Peter M Shearer 陈章立 译．2008. introduction to seismology [M]. 北京：地震出版社：146—150.

## Determining Magnitude of the Wenchuan Earthquake According to Strong Motion Records of Yunnan Seismic Network

ZHANG Sen, YANG Zhou-sheng, YAN Qi-zhong, CAI Shao-ping

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

### Abstract

Traditional seismic analysis normally makes use of microseismograph records. In this paper, we simulate the strong motion seismograph records of the Yunnan seismic network to velocity records, and use these records to determine the magnitude of the Wenchuan earthquake. The method solves the problem that accurate magnitude can not be obtained because the earthquake is so strong that the waveform recorded by microseismograph is usually clipped. This method can be applied to the quick report of strong earthquake in the future.

**key words:** clipped waveform; strong motion record; simulation; magnitude; quick report; Wenchuan Ms8.0 earthquake



**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。



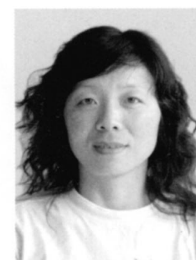
**蔡明军** 中国地震局地球物理研究所读博士,云南省地震局助理研究员。1996年毕业于中国科技大学地球与空间科学系,获理学学士学位。2004年获清华大学电子与信息工程硕士学位。主要从事地震监测研究工作。



**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.