

基于强震动记录测定近场 地震参数方法研究¹

郭 和¹⁾ 崔建文²⁾ 辛灿锦¹⁾ 吴 边¹⁾ 林崇峰¹⁾

1) 云南省大理州地震局, 大理 671000

2) 云南省地震局, 昆明 650224

摘要 本文基于大理州的 23 个强震动台 2007 年以来记录的 11 组 3.5 级以上近场地震共 51 条强震记录, 根据数字地震仪台网系统测定地震参数的基本原理, 讨论了通过强震动台网测定近场地震参数的方法, 并对测定近场地震参数的计算机软件 MDEPS 系统的编制进行了介绍。

关键词: 强震动 近场地震 地震参数

引言

目前, 国内测定地震基本参数主要依靠数字地震仪观测系统, 由于其观测的物理量主要是速度, 受到观测系统记录器存储位数的限制, 近场强震常达到震级饱和, 数字测震系统无法准确测出近场地震震级。而强震动仪观测的物理量是地震动加速度, 其最大峰值加速度可达 2g, 因此研究利用强震动记录测定近场地震参数, 对于大震或巨震后地震参数速报具有很大的现实意义。

1 研究台网及资料选取

1.1 大理州强震台网情况

大理州在“十五”期间共建设了 23 个强震动台, 仪器为美国凯尼公司生产的 ETNA, 拾震器为 SLJ-100 力平衡加速度计, 同时还配备有 GPS 时标系统。表 1 给出了大理州强震动台站的基本情况。

1.2 研究资料的选取

本文选取了自 2007 年 1 月 1 日以来, 震级 $M_S \geq 3.5$ 级、且震中距台站距离为 120km 以内的强震动记录作为研究的基本资料。在强震台网已取得的 108 条强震动记录中, 符合上述

1 基金项目 云南省地震局青年基金课题资助项目

[收稿日期] 2009-01-19

[作者简介] 郭和, 男, 生于 1973 年。工程师。主要从事应急救援和强震动观测研究。E-mail: guohe315@126.com

条件的强震动记录共有 51 条，分别对应了大理州 11 次 3.5 级以上地震。其中，4.0 级以上地震 7 次，最大震级为 4.8 级。地震基本参数以云南省测震中心提供的地震目录为参照对象。

表 1 大理州强震动台站基本情况

Table 1 Basic parameters of strong-motion stations in Dali Prefecture

序号	台站名	台 站 位 置		台站编码	设 备 编 号		
		北纬 (°)	东经 (°)		强震仪	拾震器	综合电源
1	大理龙山	25.34	100.27	39100	4315	205863	0701260
2	大理凤仪	25.58	100.32	39101	5051	205999	0701261
3	大理海东	25.71	100.26	39099	5080	205101	0701179
4	大理双廊	25.91	100.19	39097	5090	205992	0701039
5	大理湾桥	25.79	100.12	39098	4949	205988	0701058
6	大理蝴蝶泉	25.91	100.09	39096	5113	205754	0701247
7	鹤庆县城	26.56	100.18	39089	5183	2051002	0701125
8	鹤庆松桂	26.36	100.20	39090	5012	205991	0701215
9	洱源右所	26.03	100.08	39106	5003	205997	0701115
10	洱源牛街	26.25	99.98	39108	4987	205949	0701188
11	洱源乔后	26.10	99.77	39107	5025	205762	0701133
12	漾濞县城	25.67	99.96	39088	4995	205990	0701245
13	巍山叉河	25.49	99.99	39109	5155	205775	0701090
14	巍山县城	25.24	100.32	39110	4979	205994	0701172
15	宾川宾居	25.70	100.52	39092	5110	205761	0701096
16	宾川彩凤	25.85	100.52	39091	5001	205998	0701275
17	剑川羊岑	26.50	99.80	39105	4932	205989	0701144
18	剑川沙溪	26.32	99.85	39104	4967	205825	0701184
19	弥 渡	25.35	100.49	39095	4978	2051000	0701230
20	永平县城	25.47	99.54	39102	5082	205747	0701254
21	永平北斗	25.54	99.69	39103	5128	205951	0701248
22	祥云禾甸	25.57	100.74	39094	5157	205996	0701069
23	祥云象鼻	25.57	100.5	39093	5073	205995	0701173

1.3 数据处理

据崔建文等（2004）的研究，ETNA 数字强震仪频带宽为 0—80Hz，完全涵盖了地震动记录的频率范围，因此，可不进行记录的仪器校正。数字记录存在着随时间变化的零位漂移，这种零位漂移只对很低的频率有影响，目前还没有较好的处理方法。本文采用的数字记录频率成分较高，故不对其零位漂移进行处理。对于少数台站基线偏移较大的记录，对加速度记录进行基线调零修正；而对于其它记录不进行特别处理，只将强震动记录数据格式由“*.EVT”格式转化为“*.TXT”格式。

2 计算方法

(1) 在读取了强震动记录后，利用本文编制的计算机软件分别计算出地震动三分项峰值

加速度 A_{\max} 以及 P 波和 S 波到时 T_P 和 T_S 。

(2) 发震时刻测定。由强震动观测台的 GPS 时标系统给出每一条强震动记录的 T_0 ，即可以根据程序计算出每条记录对应的地震发震时刻 T_0+T_P-D/V_P 。其中， T_0 为强震动仪触前记录的初始时刻； T_P 为 P 波到时； D/V_P 为 P 波走时。地震发震时刻则取台网中多条记录对应的发震时刻的平均值。

(3) 单台震中距的计算采用冯德益等 (1988) 的地震波传播公式：

$$D=k(T_S-T_P)$$

$$R=\sqrt{(D^2-H^2)}$$

式中， k 为虚波速度， $k=V_P V_S/(V_P-V_S)$ ； D 为震源距； R 为震中距； H 为震源深度； V_P 为 P 波传播速度； V_S 为 S 波传播速度； T_S 为 S 波到时； T_P 为 P 波到时。

为了简化计算，震源深度 H 的取值采用云南省的平均值 5、9、15，由计算机依据条件判断后赋值。

(4) 震级与峰值加速度关系公式的选择。首先将美国西部、中国台湾地区、中国大陆西部和云南省 4 类震级与峰值加速度的关系式 $M=F(A, R)$ 进行理论计算，得出的结果是云南省峰值加速度衰减公式最符合大理州的实际情况。

(5) 震级计算采用崔建文等 (2004) 研究的云南省峰值加速度衰减公式，垂直向和水平向地震动关系式为：

$$\lg a_v=3.5000+0.2874M-(3.0312-0.1262M)\lg(R+14)+P$$

$$\lg a_h=5.0000+0.0725M-(3.8159-0.2601M)\lg(R+15)+P$$

利用上述关系式计算出 M_v 、 M_h ，并给其赋予一定的权重 P_0 ，再计算单台 $M_i=M_v P_0+M_h(1-P_0)$ 。同时，利用以上关系式编写计算程序，输入台站与震中的实际距离，通过程序读出强震动条记录，然后计算 $\Delta M=M_0-M_i$ 求出 $P=\sum_{i=1}^n \Delta M_i/n$ ， $P=-0.1364$ ，代入以上

关系式。重新修改程序，通过程序读入强震动记录，计算出每条记录的实际震级和震中距，将计算震级与参照震级按最小二乘法进行拟合，可得出量规系数 S 值为 0.9533。最终，单台计算震级为 $M=S \cdot M_i$

台网最终给出的地震震级则以整个台网多个单台测定的震级去掉计算发震时刻偏差较大的台站的数据后，求其平均值即为台网最终计算地震震级。

(6) 震中位置的计算。震中位置的确定参考陈运泰等 (2000) 和朱介寿等 (1988) 的计算方法，采用计算机扫描法。该方法以单台计算出的数据 (dsdata.txt) 和各台站的基本信息数据文件 (station.txt) 为基础，采用地理坐标系统，但选用的坐标原点则依据颜其中等 (2003) 的方法采用浮动坐标，对每个地震，坐标原点均取在最靠近震中的台站，以减少坐标变换过程带来的误差。扫描范围为 $[(x_0-0.5, x_0+0.5), (y_0-0.5, y_0+0.5)]$ 的矩形区域。通过解二元二次超定方程组，就可以得到一个计算震中位置：

$$(x-x_i)^2+(y-y_i)^2=r_i^2$$

假如有 i 个台站进行排列组合，可以计算出 $i \cdot (i-1)/2$ 个不同的震中位置，给 $\Delta X=0.003^\circ$ 和 $\Delta Y=0.004^\circ$ 的偏移量，然后进行微积分计算进行收敛后，即可得出多台计算的震中位置参数 X 和 Y 。

3 计算机软件编制中关键问题的解决

本文采用 Visual Basic 6.0 (求是科技, 2006) 作为软件开发工具, 利用瀑布程序设计原理进行软件设计, 软件测试则采用黑盒测试与白盒测试相结合的方法 (周苏等, 2004), 最终开发出了强震动台网测定近场地震参数系统 (MDEPS)。该系统可以利用强震动台网记录的数据, 测定近场地震基本参数并给出台站所在位置的简单地震烈度计算。图 1 和图 2 是 MDEPS 系统的基本操作介面。



图 1 测定近场地震参数软件系统 MDEPS 主界面

Fig.1 Main interface of MDEPS near-field earthquake measurement system



图 2 测定近场地震参数计算结果界面

Fig.2 Output of one near-field earthquake measurement

4 结果与讨论

(1) 将 MDEPS 程序计算出的地震基本参数 (表 2) 与云南省测震中心给出的地震基本参数进行对比, 震级误差小于 0.4 级, 发震时刻误差均小于 1.3s, 而震中误差稍大, 最大误差达到了 31.8km。分析其原因, 可能与 T_S 的判读由计算机自动完成有关, 因为地震波波形本身就十分复杂, 因此判读比较困难, 而自动判读经常会出现差错, 如果今后将系统升级为人机交换判读 T_S , 其效果可能会更好。同时, 参照的云南省测震台网的震级和震中位置本身也有较大的系统误差。

表 2 强震台网测定的地震基本参数

Table 2 Basic earthquake parameters measured by strong-motion station network

记录条数	强震台网测定地震参数			云南测震台网测定地震参数			偏差		
	发震时刻	震级	震中位置	发震时刻	震级	震中位置	时间 (s)	震级	震中 (km)
9	20070203 T 022525.3	4.7	25.77 99.98	20070203 T 022526	4.5	25.92 99.75	0.7	0.2	28.4
10	20070309 T 113037.0	4.2	25.65 99.93	20070309 T 113037	4.6	25.77 99.80	0	0.4	18.6
4	20070318 T 173607.0	3.7	25.29 100.37	20070318 T 173608	4.1	25.47 100.37	1.0	0.4	20.0
2	20070328 T 105739.8	4.8	/	20070328 T 105741	4.6	25.62 99.40	1.2	0.2	/
4	20070728 T 111924.3	3.9	25.39 100.14	20070728 T 111923	3.8	25.45 100.02	1.3	0.1	13.8
5	20070729 T 222925.8	4.3	25.43 100.11	20070729 T 222926	4.0	25.45 100.05	0.2	0.3	6.4
4	20070812 T 023910.0	4.4	25.43 100.12	20070812 T 023911	4.4	25.45 100.05	1.0	0	7.4
2	20070830 T 035110.0	3.4	/	20070830 T 035111	3.8	25.43 100.05	1.0	0.4	/
2	20071008 T 145414.5	3.3	/	20071008 T 145416	3.6	25.37 100.05	1.5	0.3	/
7	20080218 T 104443.0	4.4	25.95 99.91	20080218 T 104444	4.8	25.70 99.77	1.0	0.4	31.8
2	20080511 T 111858.1	4.2	/	20080511 T 111859	3.9	25.67 99.77	0.9	0.3	/

(2) 台站的地质条件对结果的影响。大理州所有的强震动台站均做了地质勘探、剪切波测试、背景噪声功率谱、土样的动、静负荷试验, 而在本次研究中并未将台站地质条件考虑进去, 因此在 21 个台站中, 有 19 个台站的结果较为一致, 而仅有 2 个台站 (凤仪、海东) 的结果偏差较大, 这可能与台站自身的地质条件有关。

(3) 深大断裂对地震波传播的影响。在 2007 年 3 月 9 日漾濞 4.6 级地震中, 我们发现地震波穿过红河断裂后, 到达的台站记录波形和 P 波、S 波数据与其它台站有明显的差异, 这说明深大断裂对地震波的传播影响是存在的。

(4) 台站高程对震中定位的影响。大理州强震台网建设在地形十分复杂的高山地区内, 台站与台站的高程相差最大达到了 600 多米, 而我们为了计算简单, 并未将这一因素考虑进去, 从而可能导致震中定位的偏差。

(5) 三个参数的关联影响。利用强震动记录测定地震基本参数的核心计算物理量是峰值加速度和 P 波、S 波到时, 其中峰值加速度和 P 波的数据计算基本可以做到较为准确, 而 S 波到时却时有偏差。地震基本参数的计算与上述参数有关联, 特别是震级和震中的定位, 由

于多种因素影响的迭加，可能引起偏差的放大。

(6) 样本地震震级偏小偏少的问题。一个计算方法要具有实用性，就要求在研究时的样本要多样性、全面性，且样本数量越大越好。但由于受到强震动记录的限制，本文在研究时还无 5 级以上地震，同时强震动记录的样本数也不足够多，这就需要今后在资料的积累上，并在使用时对以前的一些参数进行调整和修改。

(7) 应用前景分析。该方法的研究和使用在美国、日本已比较多，技术也比较成熟，但目前国内还属于探索和起步阶段，但其实际应用前景广阔。由于云南省强震动台网通讯采用的是 CDMA 无线传输方式，该种传输方式还不能满足测定地震基本参数的实际需要，还需对传输信道进行升级改造或借用已建信息节点网络来进行组网，才能达到实时传输的及时性。当然，目前数字测震台网对于中小地震参数的观测已经有了大的飞跃，对于大震的时间、震中 2 个参数也较为精确。在应用上可以将两种台网并网运行，其中中小地震参数以数字测震台网为主，而大地震则以数字测震台网测时间、震中位置参数，震级可以以强震为主，可能效果会十分显著，并可避免近场巨大地震因震级饱和无法及时测出地震基本参数的情况出现。

参考文献

- 陈运泰，吴忠良，王培德等，2000. 数字地震学. 北京：地震出版社.
- 崔建文，王彬，乔森等，2004. 云南施甸、永胜地区强地震动观测与研究. 昆明：云南科技出版社，20—48.
- 冯德益编著，1988. 地震波理论与应用. 北京：地震出版社.
- 求是科技，2006. Visual Basic 6.0 程序设计与开发技术大全. 北京：人民邮电出版社.
- 周苏，王文，2004. 软件工程学教程. 北京：科学出版社，164—195.
- 颜其中，何家斌，高杰，2003. 数字地震仪系统传递函数的一种计算方法. 地震学报，25 (6)：667—671.
- 朱介寿等，1988. 地震学中的计算方法. 北京：地震出版社.

Measurement of the Near-field Earthquake Based on Strong-motion Records

Guo He¹⁾, Cui Jianwen²⁾, Xin Canjin¹⁾, Wu Bian¹⁾ and Lin Chongfeng¹⁾

1) Seismological Bureau of Dali Prefecture, Dali 671000, China

2) Seismological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650224, China

Abstract In this paper, based on 51 strong-motion records in 11 groups from 23 strong-motion seismic stations within Dali Prefecture since 2007, and followed by the fundamental principles of obtaining earthquake parameters by traditional digital seismograph network system, we propose a method of obtaining the parameters of near-field earthquake by strong-motion measurement station network. Some information about the programming of MDEPS system, a software which assists the measurement of near-field earthquake, is also provided.

Key words: Strong-motion; Near-field earthquake; Earthquake parameters