

云南强震动流动观测发展及相关问题讨论^{*}

李世成, 林国良, 崔建文

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 简要介绍了云南强震动流动观测的发展历程和省内6次典型震例的强震动流动观测及特点, 并总结和探讨了强震动流动观测时应该注意的相关问题。基于强震动观测应用及研究现状, 建议加强并拓展强震动流动观测工作, 适时建立强震动流动观测系列的规程、规范, 不仅要把流动观测作为弥补固定台网不足以增强捕获近场强震动记录能力的辅助手段, 更要把强震动流动观测作为解决地震基础研究与地震工程应用难题的一个重要手段。

关键词: 强震动; 流动观测; 观测台阵; 拓展应用

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)04-0629-09

0 引言

强震动流动观测是利用强震仪在目标区域开展的、以获取地震时强地面运动的过程及在地震作用下工程结构反应情况为目的的一种短期性观测, 包括2种情况: 一是在相关地区预先布设以捕获特设观测台阵地震动记录的震前强震动流动观测; 二是地震发生后在震中区域进行的震后强震动流动观测。

1966年邢台6.8级地震发生后, 中国科学院工程力学研究所赴震区完成了我国、也是世界首次强震动流动观测。此后, 在我国强震动观测起步的相对长时期内, 流动观测主要是针对当时我国固定强震动台站较少、监控能力不足的实际而作为一种补充手段。随着时间的推移, 国家投资的增加与观测仪器的更新换代, 强震动流动观测逐步发展成为一种捕获近场地震动记录的重要手段。我国大陆一些典型和重要的强震动记录主要是由流动观测所获取^① (高光伊等, 2001; Li *et al.*, 2008a, b; 于海英等, 2009; 李世成等, 2008, 2009, 2011; 彭小波, 2012; Wen *et al.*, 2014, 崔建文等, 2015; 温瑞智等, 2016), 经过50多年的发展, 无论是观测仪器、设备的性能与

数量, 还是数据处理能力及其应用领域拓展, 都取得了长足的进步 (谢礼立等, 1999; 李小军, 2015; 李山有, 2004)。现今, 应充分利用强震流动观测灵活与机动性的特点, 在条件许可时尽量有针对性地布设某类或多类观测台阵以进行多目的的强震动观测。不断扩展强震动流动观测应用领域, 使其不仅作为弥补观测台站密度不足或观测台网空缺的重要手段之一, 更要将其拓展为解决近场地震学和地震工程学研究以及防震减灾工程等应用中存在的诸多问题, 成为提供定量数据的一个主要手段与技术途径, 并适时建立起相应的强震动流动观测规程及相关管理规范。

在应急前的准备工作中, 充分利用已建立的地震基础数据库 (包括地震构造环境、典型的场地与地形、典型的建构筑物结构等信息), 提前做好强震动流动观测布设预案。针对不同震区或地震预测区的基础信息, 拟定相应的观测台阵布设预案, 如为获取特殊场地的强地面运动数据而布设的活断层台阵、地震动衰减台阵、场地 (土) 和地形影响台阵以及局地差动台阵等; 以获取结构地震反应数据来研究结构抗震性能、改进结构设计方法为目的的各种建筑结构地震反应台阵以及核电站、水电站、大型桥梁与地下隧道等重要结构的地震反应台阵; 研究土层-基础相互作用

^{*} 收稿日期: 2016-07-22.

基金项目: 国家自然科学基金——基于竖向台阵记录数据的强震动作用下土非线性动力特征的实证研究 (51578514, U1434210) 资助.

^① 彭克中. 2003. 我国强震动观测工作的回顾—历史与现状.

机理的地基-结构台阵等(谢礼立,于双久,1982;李山有,2004;温瑞智等,2009;王玉石,2010;周雍年,2011;李世成等,2013;卢大伟,李小军,2006)。在实施流动观测中,应当选取典型的观测对象,布设合理的观测台阵,尽可能多地获取强震动数据,来丰富强震动记录内容,更好地服务于地震科学研究与地震工程减灾实践,最大程度地减轻地震灾害损失。本文简要介绍了云南强震动流动观测的发展历程、典型的观测震例,总结了观测过程中的一些经验与启示,并对强震动流动观测的现状与需思考的问题进行了讨论。

1 云南强震动流动观测概况

1970年通海7.8级地震发生后,国家地震局工程力学研究所派员携带强震仪赴震区进行流动观测,取得云南省第一批强地面运动记录资料。此后直到2000年,云南省地震局开展了省内大震后的强震动流动观测,但当时强震仪缺乏,基本以震后流动观测为主,且以捕获近场加速度记录为首要任务。经过几十年的发展,云南省强震动观测能力得到了极大提升。到“十五”云南数字强震动台网项目建成并投入运行时,已经建立了拥有40台集传感器、记录器、电源和GPS为一体的便携固态数字存储式强震动仪的流动观测基地——西南强震动流动观测基地,国外引进和国内研发的数字记录式强震仪开始广泛使用,其功能以及设备的数量至今仍在不断增加,震前与震后流动观测均在实施。观测目的从服务于震后应急流动观测,已拓展到可根据观测区条件灵活地布设针对性强的科学研究台阵。到目前为止,云南省地震局先后完成了35次强震动流动观测,包括省内通海7.8级地震,龙陵7.3、7.4级地震,澜沧—耿马7.2、7.6级地震,丽江7.0级地震、鲁甸6.5级地震,以及省外汶川8.0级和芦山7.0级等地震。

2 典型震例及启示

云南省强震动流动观测经过不断地发展、探索与尝试,在多次观测中获取了较为丰富的强震动记录,其中包括目的性强的专类台阵记录,也有成功

捕获主震的震前式观测记录。本文对几次典型震例的强震动流动观测及特点予以简介和分析。

2.1 1988年澜沧—耿马地震

1988年11月6日21时3分14.5秒和15分44.9秒,云南省澜沧县和耿马县相继发生了7.6、7.2级强烈地震。云南省地震局大震流动观测队携带SMA-1型和GQ3-3型等强震仪、中国科学院工程抗震所携带3台SMA-1型强震仪、同济大学携带2台PDR-1强震仪抵达震区,在震区共使用了5种型号16台强震动仪开展流动观测(图1)。在近一个月的观测时间内,获取了大量的强震动加速度记录,仅光直式模拟强震仪就获取了91次余震的148条433道记录。其中,架设在竹塘乡的2台SMA-1强震仪捕获到6.7级最强余震的加速度记录,其最小震中距为3.8 km,未经校正的最大加速度峰值为518.4 gal,记录时长30 s,波形完整,是当时我国在离震中最近的情况下获

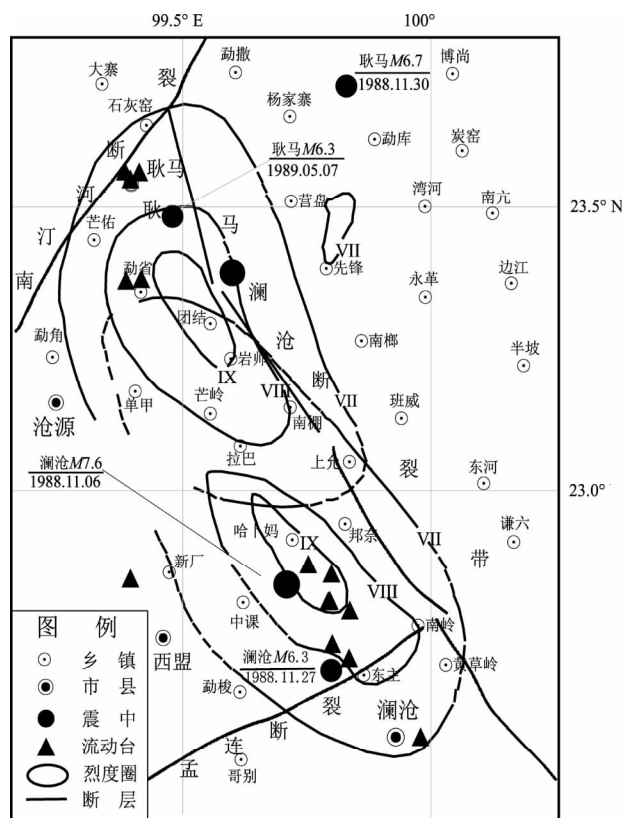


图1 澜沧—耿马地震强震动流动观测台分布示意图(部分资料来自姜葵,1993)

Fig. 1 Distribution of the strong motion mobile observation stations of Lancang - Gengma earthquake (part of data from Jiang, 1993)

取的最大地面加速度峰值记录（图2）。这期间获取的这批观测记录把当时我国用于研究的实测强震动资料的地震统计样本的震级上限提高到7.6级（姜葵，1993）。

从1984年开始，云南省地震局与中国建筑科学院工程抗震所合作在滇南的思茅—景洪地区建设了由5台SMA-1强震仪组成的滇南区联合强震

台网。虽然此次7.6、7.2级地震发生后，该强震台网获取了主、余震记录。但因该台网台站距离震中较远，其加速度峰值不及流动台记录的十分之一。此震例显示出流动观测在弥补固定强震动台站密度不够时所发挥的重要作用，也印证了国家地震局在当时装备条件下对强震观测要“以守为辅，以追为主”方针的实用性。

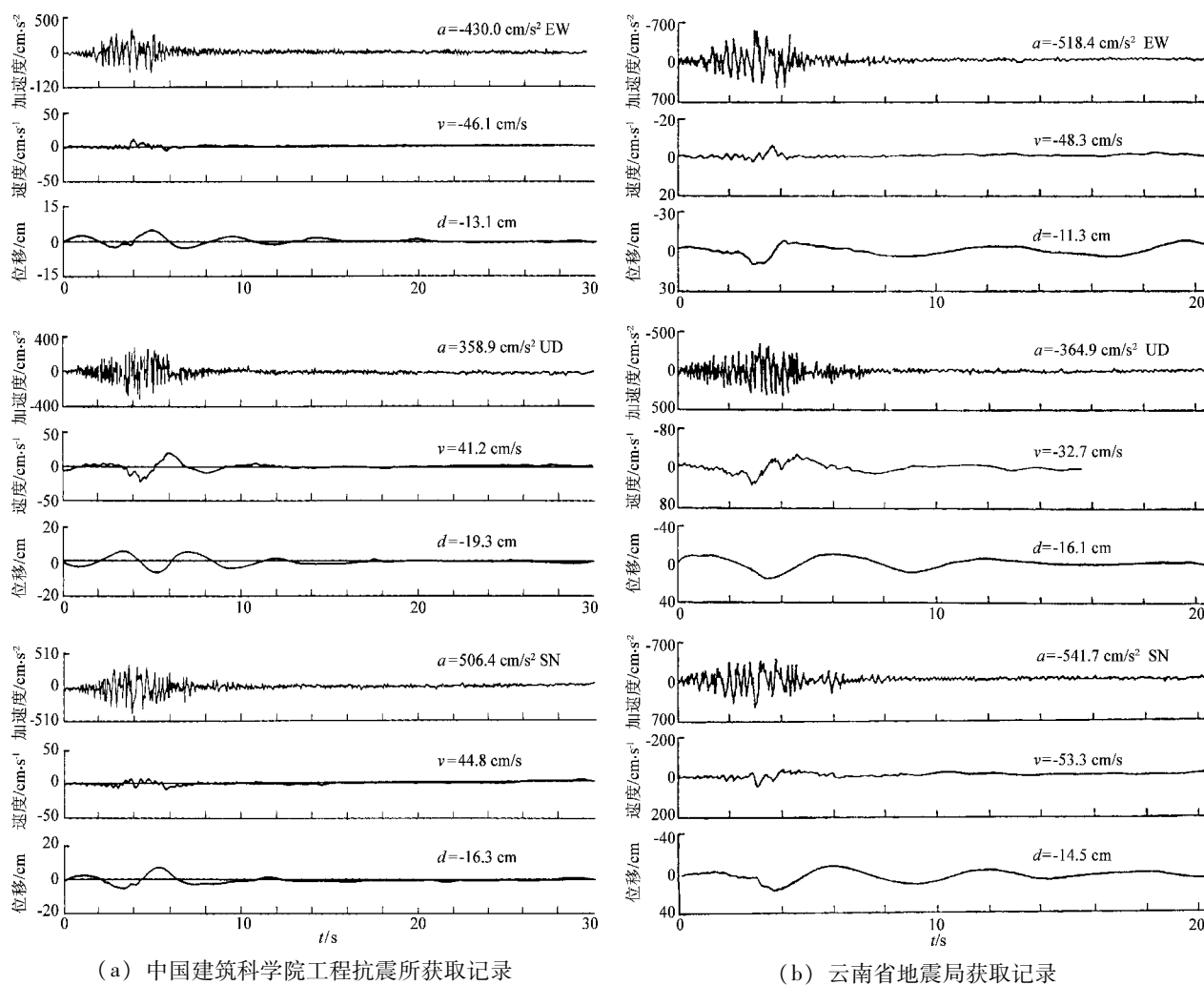


图2 竹塘流动台记录的1988年11月30日澜沧6.7级强余震三分向地面运动录（引自姜葵，1993）

Fig. 2 Ground motion recordings of Lancang $M_{6.7}$ aftershock on Nov. 30, 1988 recorded by mobile station in Zhutang (from Jiang, 1993)

2.2 2001年施甸地震

滇西地区的施甸，位于龙陵—耿马地震带和丽江—大理地震带之间，历史上曾发生多次地震。由于强震仪缺乏的历史条件，滇西地区强震观测的重点均放在大理—丽江一带，而施甸一带一直是观测盲区。2000年10月，根据中国地震局震害

防御司的部署安排，云南省地震局在施甸、柯街、沙坝、瓦窑、北斗、苴力、力角、期纳等地布设了8个流动观测台。2001年4月10日施甸5.2级地震发生后，强震观测人员迅速将柯街的强震仪调整到震区的水长，并将昆明结构台阵中的2台数字固态化强震仪架设到震区附近的太平及等子。

2001 年 4 月 10、12 日、6 月 8 日, 施甸县太平乡一带先后发生了 5.2 级、5.9 级和 5.3 级地震。震前布设的这些流动观测台均获得了记录。其中, 获取施甸 5.9 级地震的三分向峰值加速度分别为 446.47 cm/s^2 (EW)、 528.24 cm/s^2 (UD)、 425.64 cm/s^2 (SN)。这是云南流动观测首次捕获的主震强震动记录, 也是一次成功的震前式流动观测 (崔建文等, 2004)。

2.3 2006 年盐津中强地震群

2006 年 7 月 22 日、8 月 25 日和 8 月 29 日, 云南省盐津县豆沙关镇附近相继发生了 5.1、5.1 和 4.7 级中强地震群。云南省地震局利用 2 台

K2 型数字强震仪分别于 7 月 23—26 日、8 月 26—30 日在震区进行了 2 次流动观测, 包括山麓土层 (万古村台) 与山头基岩 (豆沙关台)、谷底 (柿子镇台) 与山头 (豆沙关台) 场地土影响与地形影响的流动对比观测 (图 3), 获取了 100 多次余震的强震动观测记录 (李世成等, 2008)。其中, 豆沙关流动台记录的 4.7 级地震南北向加速度峰值达 494.2 cm/s^2 。对比分析万古村台与豆沙关台、柿子镇台与豆沙关台的地震动记录, 发现这两两台站之间记录的幅值及其主频存在明显差异, 显现出观测点的场地 (土) 与地形效应的不同 (图 3)。

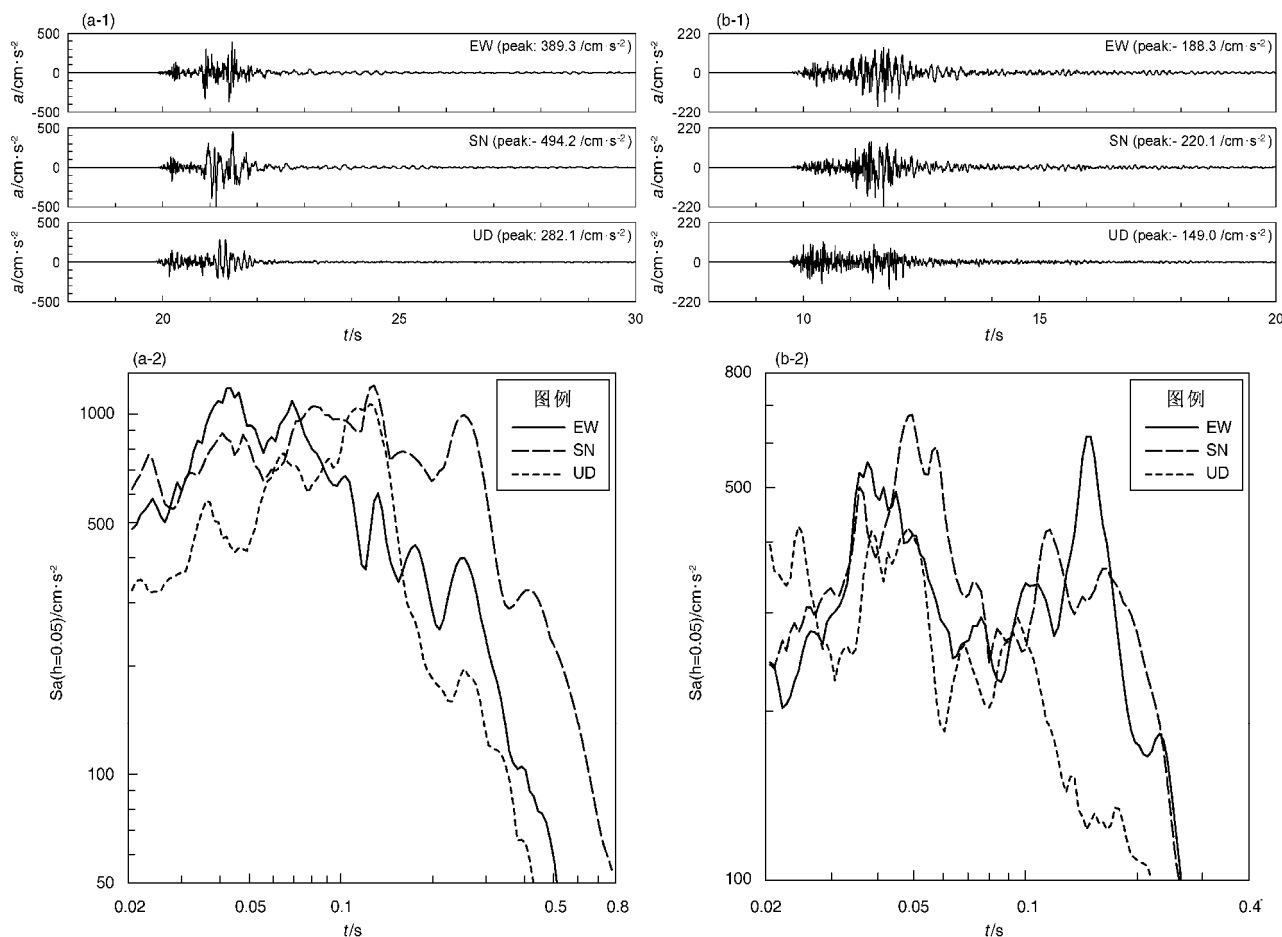


图 3 豆沙关台 (a)、万古台 (b) 记录的 4.7 级地震加速度时程及其反应谱对比

Fig. 3 Contrast of acceleration time histories and their response spectrum of Yanjin M4.7 earthquake between mobile station of Dushuguan (a) and Wangu (b) station

7 月 22 日 5.1 级地震后, 云南省地震局在震区布设了 2 台强震仪, 但地震应急结束, 强震动流动观测也停止。8 月 25 日 5.1 级地震后又重新布设强震仪, 造成后续地震发生时的观

测缺失。该震群的强震动观测, 属于典型的震后式流动观测。由此引发对流动观测时长及管理的思考与修定, 这在震群型或双震型地区布设流动台站时尤显必要。

2.4 攀枝花 6.1 级地震

2008 年 8 月 30 日攀枝花 6.1 级地震发生后，云南省地震局强震动流动观测组在震区迅速布设了由 4 个观测点组成的沿发震构造走向分布的强震动观测台阵（图 4）。8 月 31 日—9 月 3 日，共获取 264 组 3 分量近场地面强震动记录，其中包括 5.6 级在内的所有 $M \geq 4$ 强余震，最大加速度峰值为 502 cm/s^2 。通过对该次流动观测台阵所取得的强震记录分析，发现了存在于强地震动加速度时程中的方向性效应（图 5）（李世成等，2009）。

2.5 2014 年盈江 6.1 级地震

2014 年 5 月 30 日盈江 6.1 级地震后，云南省地震局在震区沿与此次地震密切相关的卡场一大竹寨断裂近垂直方向布设了流动观测台阵（图 6a）。随后在极震区的勐弄乡流动观测点附近，选择了一个形态相对规整、岩性结构较均匀的孤突山丘相对平坦的顶部，布设了由 4 台 Basalt 强震仪组成的局地差动台阵（图 6b），并与山丘相邻的流动观测台相对比。

此次地震流动观测捕获了近千次余震的强震动记录，但绝大多数为小、微地震事件的近场记录，其中一些微震在测震目录中没有出现。由于这些台站是针对特殊场地而布设的观测台阵，对这些记录的处理及分析具有一定的价值。

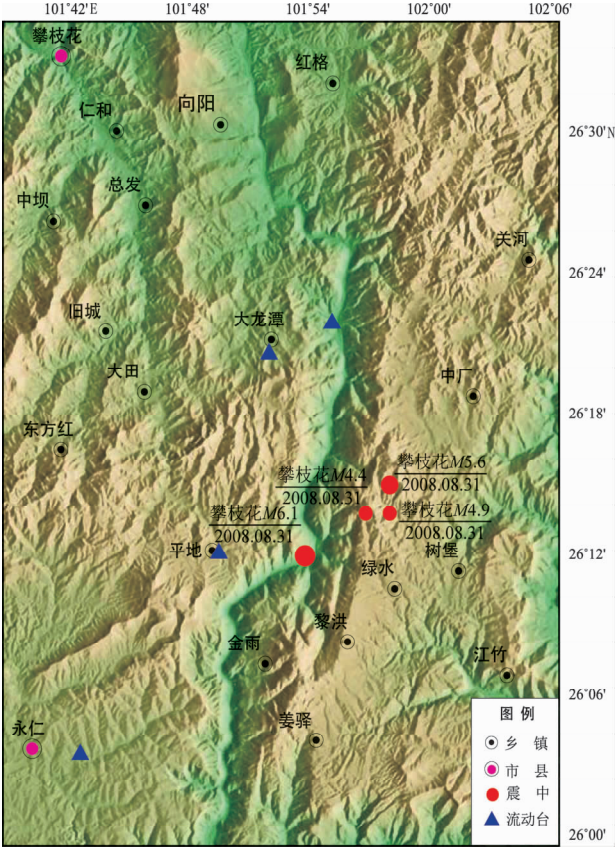


图 4 攀枝花 6.1 级地震强震动流动观测台阵分布
Fig. 4 Distribution map of the strong motion mobile observation stations of Panzhihua $M_s6.1$ earthquake

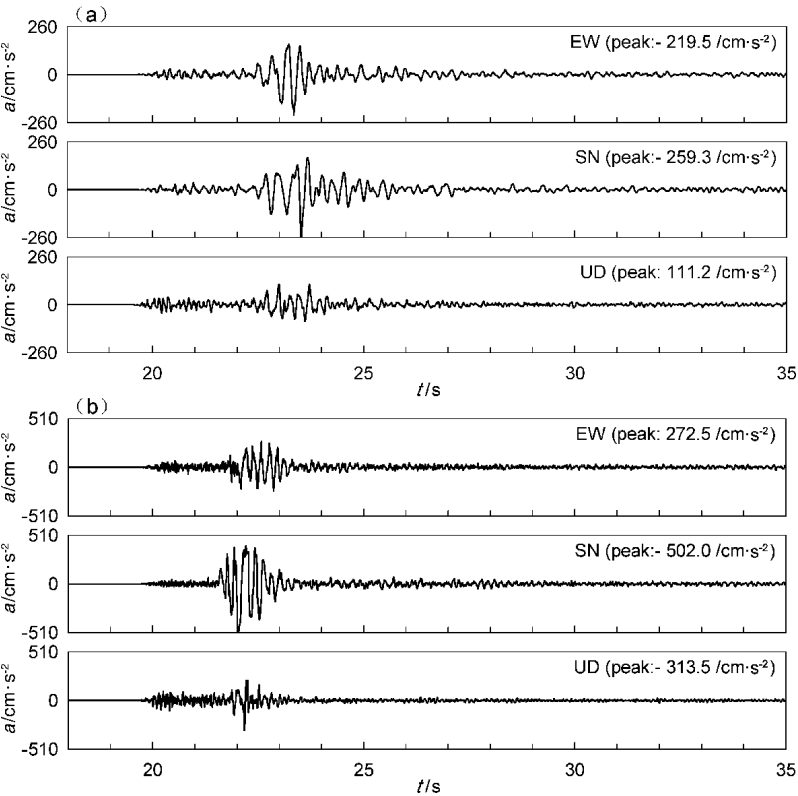


图 5 位于破裂传播后方的拉鲊台 (a) 与位于破裂传播方向上的平地球 (b) 记录的攀枝花 5.6 级强余震加速度时程波形对比
Fig. 5 Contrast of acceleration time histories of Panzhihua $M_s5.6$ earthquake between Lazha located on the opposite direction of fracture propagation (a) and Pingdi located on the same direction of fracture propagation

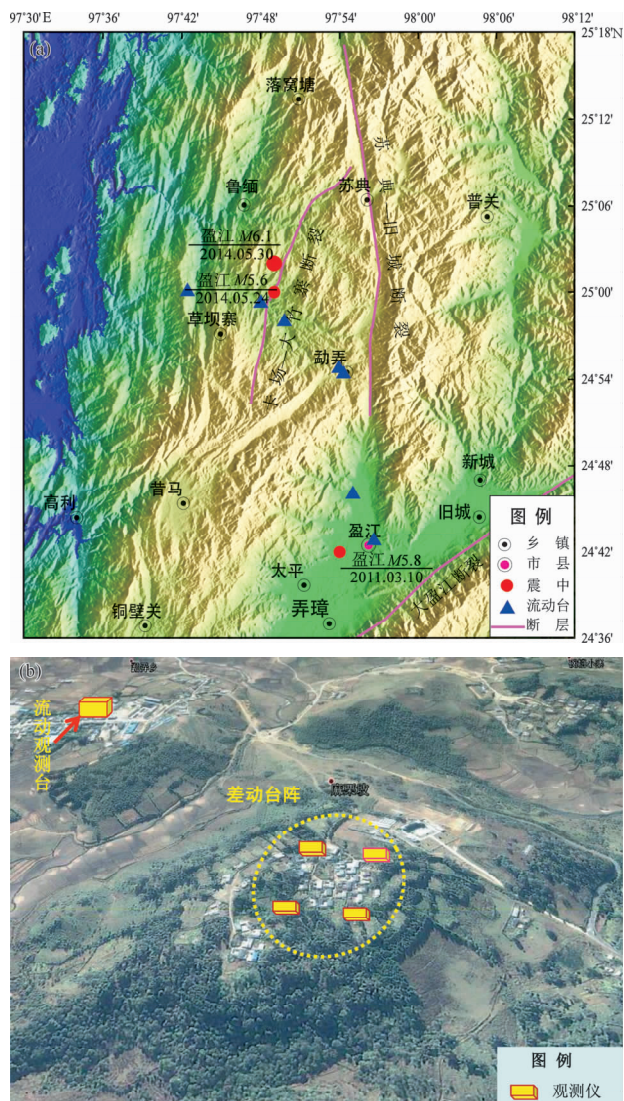


图6 盈江6.1级地震后布设的强震流动观测台阵(a)及局地差动台阵(b)

Fig. 6 Distribution of strong motion attenuation array

2.6 2014年景谷6.6级地震

2014年10月7日云南景谷发生6.6级地震, 云南省地震局在震区布设了6个强震动流动观测台, 获取了大量的余震加速度记录, 包括12月6日5.8级及5.9级强余震的近场记录(崔建文等, 2016)。10月11日强震动科考时, 在益智中学固定强震台附近, 选择澜沧江支流的河谷台阶边坡, 用4台观测仪布设了一个局地地形观测台阵(图7), 进行了约3h的短时流动观测。在仪器架设完后约1h, 4台仪器成功获取了10月11日14时至14时30分之间发生的1个4.7级及3个2.9级余震的强震动记录(图8), 给研究局部场地的地形对地震动影响提供了难得的定量数据。

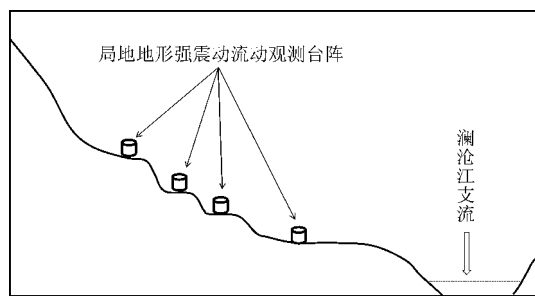


图7 景谷6.6级地震地形效应流动观测台阵示意图

Fig. 7 Sketch map of distribution of the strong motion mobile of terrain array in Jinggu M6.6 earthquake

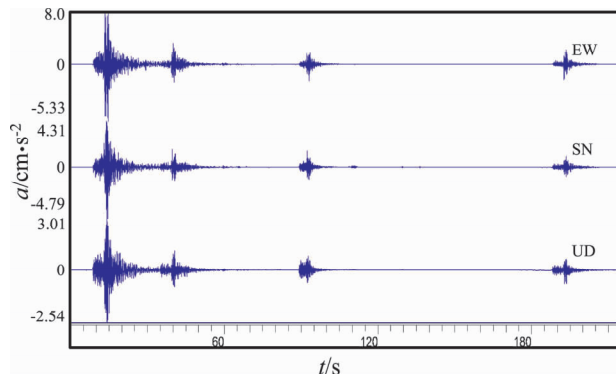


图8 地形效应台阵捕获的景谷4.7级强余震加速度时程记录

Fig. 8 Acceleration time histories of Jinggu $M_s4.7$ aftershock recorded by mobile terrain array

此次地震流动观测得到的一个启示是: 随着观测仪器及设备的改进, 在完成流动观测台的架设与运行后, 现场观测人员可根据震区环境灵活选择合适的观测对象进行有目的的短时流动观测。

3 强震动应急流动观测的几点思考

3.1 改变以震后应急为目的的强震动流动观测理念

由于受观测仪器及观测技术等条件限制, 在我国强震动观测起步后的较长时段内, 流动观测主要是作为震后应急监测手段, 其获取的近场记录数据, 难以满足研究问题针对性强的要求。事实上, 强震动流动观测不仅已成为一种常态化的大震应急工作内容(一是作为获取近场强震动记录的常规方法, 二是流动观测数据的快速处理与分析, 可作为震区地震活动趋势研判、强余震震

害快速判定与决策应对的重要科技支撑手段),而且更要利用天然地震这个实验场把强震动流动观测拓展为解决地震基础研究与防震减灾工程应用中诸多问题提供定量观测数据的重要手段与技术途径。观测方式既可以是震后应急流动观测,也可以是根据地震预判意见进行的震前流动布设,而且可根据震区观测环境灵活地布设针对性强的科学研究台阵。

3.2 完善强震动流动观测的保障机制与观测质量控制

我国强震动观测技术经历了从无到有、从单台到组网观测,从模拟式记录到数字化、网络化的发展,观测能力显著增强,但数字强震动台网的台站密度仍然较低。解决一些地震工程应用和地震基础研究难题所需的强震动观测数据仅靠现有固定台站来获取显然满足不了科学发展的迫切需求。加强强震动流动观测系统的建设,建立具备一定规模的流动台阵的应急体系是必然的选择。流动观测机动性强,观测目的根据观测对象可因地制宜。最终的观测质量受到诸多环节与因素的制约,如所使用的观测仪器数量多和类型杂、观测过程涉及环节较为复杂、技术要求高、参与人员广、观测环境条件多变等。为避免在观测过程中造成记录缺失或数据缺陷而影响强震动的观测结果,必须建立起一套系统的强震动流动观测规程。其中应该包括强震动流动观测的系统建设、基础数据库搭建、应急准备及观测预案的制定、现场台址选取及仪器安装的要求、流动台站组网方案、数据传输方式、强震动观测数据的质量控制、应急设备的平时维护等诸环节及保障机制(姜旭东等,2009;宋丽莉等,2010;谢俊举,李小军,2015)。极震区现场常会出现电力系统被破坏、强震仪交流电供中断的现象,如盐津、姚安、彝良及盈江地震的流动观测中,均遭遇断电震害,而仪器的内置电池维持时长有限,这也是流动观测设备保障中需要解决的问题。

3.3 完善新一代《中国地震动参数区划图》

新一代的《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015)在《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)的基础上对场地(土)的地震动效应给予了更进一步地考虑与体现。但是,地

形对地震动的影响在这两版国标中都还没有体现。事实上大量的强震动观测研究表明,不同地形的地震反应特性及其差异明显,对震害的影响较大(Bouckovalas, Papadimitriou, 2005;李小军,2006;王伟,2010;姚凯等,2009;荣棉水等,2009a, b;迟明杰等,2015;梁轩等,2016;闻满华,2017),有许多问题还亟待研究解决。建议在强震动流动观测中,加强地形影响台阵的布设,尽可能多地获取不同地形单元的地震反应观测数据,使地形对地震动参数的贡献在地震动参数区划图中得到具体体现。

3.4 增加结构台阵

由于我国结构台阵数量有限,强震作用下结构反应记录几乎为零,地基-结构相互作用台阵仍处于空缺,研究地震动空间变化的差动台阵观测有待开展^①。因此,在今后的强震动流动观测中,应该重视针对各类典型结构,尤其是大型或复杂结构的地震反应专用台阵的布设与观测;开展地基-结构相互作用台阵、场地高密度差动台阵的流动观测,以期弥补国内该领域强震动观测数据的短缺。

3.5 积累强震动观测数据

国家“十五”重点项目《中国数字地震观测网络》的分项“中国数字强震动台网”建成投入运行以来,我国强震动观测数据快速积累,大震近场强震动记录也显著增加,但全国大部分地区仍不足以用强震动数据直接回归得到地震动参数衰减关系。第五代地震动参数区划图的编制、以及抗震设计规范修订和重大工程的抗震设计等仍依赖于与我国地震活动、地质构造背景不尽相同的其它国家和地区的强震动观测数据(李小军,2001;李山有等,2003;高孟潭,2015),我国强震动观测数据在上述计算过程中起着控制作用。随着国家地震烈度速报与地震预警台网项目的建设以及流动观测的扩展,这种状况将会得到根本改变。

4 结语

云南地处印度板块与欧亚板块中国大陆碰撞带的东缘,其构造环境决定了其破坏性地震的频

^① 李山有. 2016. 强震动观测工程应用.

发(皇甫岗等, 2010), 加强云南地区的强震动流动观测工作, 有着极其现实的意义。伴随“十三五”全国地震烈度速报与区域地震预警台网的建成, 云南高地地震烈度设防区的强震动固定台站密度将会增大。观测设备与观测技术的进步, 将直接服务于强震动流动观测的规模扩展与应用领域拓展。流动观测与固定台站观测相结合, 将会更好地丰富不同地面(及浅层地表)、不同建构筑物结构以及不同强度的近远场强震动的记录内容, 为地震工程学、近场地震学的研究及防灾减灾工程应用积累更多具有云南地域特征的有价值的强震动观测数据。

参考文献:

- 迟明杰, 李小军, 陈波, 等. 2015. 2014 年“5·24”、“5·30”盈江地震中地形及土层条件对房屋震害影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 35(2): 94–102.
- 崔建文, 刘琼仙, 林国良, 等. 2016. 2014 年景谷 $M_s 6.6$ 地震及其强余震强震动观测记录及初步分析[J]. 地震研究, 39(2): 308–312.
- 崔建文, 刘琼仙, 杨黎薇, 等. 2015. 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震强震动观测记录及初步分析[J]. 地震研究, 37(4): 542–548.
- 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[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 高光伊, 于海英, 李山有. 2001. 中国大陆强震观测[J]. 世界地震工程, 17(4): 14–18.
- 高孟潭. 2015. 中国地震动参数区划图宣贯教材(GB18306—2015)[M]. 北京: 中国质量出版社\中国标准出版社.
- 皇甫岗, 陈颢, 秦嘉政, 等. 2010. 云南地震活动性[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 姜葵. 1993. 1988 年云南澜沧—耿马地震[M]. 昆明: 云南大学出版社.
- 姜旭东, 杨建思, 徐志强, 等. 2009. 应对巨大地震的应急流动观测系统[J]. 地震地磁观测与研究, 30(5): 60–65.
- 李山有, 金星, 刘启方, 等. 2003. 中国强震动观测展望[J]. 地震工程与工程振动, 23(2): 1–6.
- 李山有. 2004. 强震动观测的应用[J]. 东北地震, 20(4): 64–73.
- 李世成, 崔建文, 张潜, 等. 2011. 2009 年姚安 6.0 级地震强震动应急观测的数据处理及其震害启事[J]. 灾害学, 26(4): 82–87.
- 李世成, 林国良, 崔建文, 等. 2013. 宁蒗—盐源 5.7 级地震数字强震动台网记录及初步处理[J]. 地震研究, 36(4): 502–506.
- 李世成, 张潜, 郑定昌, 等. 2009. 攀枝花 $M_s 6.1$ 地震余震强震动流动观测[J]. 地震研究, 32(增刊): 449–454.
- 李世成, 周挚, 陈征山, 等. 2008. 2006 年盐津 5 级中强地震群的强震动观测[J]. 地震研究, 31(增刊): 556–562.
- 李小军. 2001. 对近年大震震害现象与工程地震问题研究的思考[J]. 国际地震动态, (8): 26–31.
- 李小军. 2006. 工程场地地震安全性评价工作及 Related 技术问题[J]. 震灾防御技术, 1(1): 15–23.
- 李小军. 2015. 中国强震动观测台网建设与发展[J]. 地震地磁观测与研究, 36(4): 2.
- 梁轩, 邢昊, 周俊, 等. 2016. 梯形山体地形效应及对周围场地地震反应的影响[J]. 地震工程与工程振动, 36(6): 45–54.
- 卢大伟, 李小军. 2010. 中国大陆强震动观测发展研究[J]. 国际地震动态, (10): 35–41.
- 彭小波. 2012. 汶川地震强震动记录分析及应用[J]. 国际地震动态, (5): 40–41.
- 荣棉水, 李小军, 吕悦军, 等. 2009a. 粘弹性浅圆弧山谷地形对地震动谱特性的影响[J]. 地震研究, 32(1): 40–44.
- 荣棉水, 李小军, 吕悦军, 等. 2009b. 平台地形对地震地面运动特征周期值的影响[J]. 中国地震, 25(2): 178–185.
- 宋丽莉, 杨微, 葛洪魁, 等. 2010. 中国地震科学台阵流动观测现状及进展[J]. 国际地震动态, (3): 16–21.
- 王伟. 2010. 地震动的山体地形效应[J]. 国际地震动态, (3): 37–38.
- 王玉石. 2010. 地震动强度及其特征分析[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- 温瑞智, 周振华, 李小军, 等. 2009. 汶川 $M_s 8.0$ 地震的强余震流动观测[J]. 地震学报, 31(2): 219–225.
- 温瑞智, 周振华, 李小军, 等. 2016. 我国强地震动记录特征综述[J]. 地震学报, 38(4): 551–561.
- 闻满华. 2017. 《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015) 编图方法在云南地区的应用实践[J]. 地震研究, 40(2): 257–263.
- 谢俊举, 李小军. 2015. 第十五届世界地震工程大会上世界各国强震动观测及最新进展交流[J]. 国际地震动态, (2): 32–38.
- 谢礼立, 李沙白, 章文波. 1999. 唐山响堂三维场影响观测台阵[J]. 地震工程与工程振动, 19(2): 1–8.
- 谢礼立, 于双久. 1982. 强震观测与分析原理[M]. 北京: 地震出版社.
- 徐扬. 2008. 强震动观测和应用及山西数字强震动台网[J]. 山西地震, (1): 31–36.
- 姚凯, 卢大伟, 刘旭宙, 等. 2009. 利用汶川余震流动观测资料探讨地形对峰值加速度的影响[J]. 西北地震学报, 31(1): 46–50.
- 于海英, 王栋, 杨永强, 等. 2009. 汶川 8.0 级地震强震动加速度记录的初步分析[J]. 地震工程与工程振动, 29(1): 1–6.
- 周雍年. 2011. 强震动观测技术[M]. 北京: 地震出版社.
- BOUCHOVALAS G D, PAPADIMITRIOU A G. 2005. Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25(7–10): 547–558.
- LI X J, ZHOU Z H, HUANG M, et al. 2008b. Preliminary Analysis of Strong – Motion Recordings from the Magnitude 8.0 Wenchuan, China, Earthquake of 12 May 2008[J]. Seismological Research Letters, 79(6): 844–854.
- LI X J, ZHOU Z H, YU H Y, et al. 2008a. Strong motion observations and recordings from the great Wenchuan earthquake[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 7(3): 235–246.
- WEN R Z, REN Y F, ZHOU Z H, et al. 2014. Temporary strong – motion observation network for Wenchuan aftershocks and site classification[J]. Engineering Geology, 180(10): 130–144.

Development of Mobile Observations for Strong Motion Observation in Yunnan and the Discussion of its Related Issues

LI Shicheng, LIN Guoliang, CUI Jianwen

(*Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

The developing course of mobile strong ground motion observations and some exploration and trial works in Yunnan are briefly introduced in the paper. Six typical earthquake examples and their records are showed. The relevant noteworthy problems are discussed. It is suggested that the series of the regulation and standard for the mobile strong motion observation should be timely established. The temporary strong – motion observation is not only auxiliary mean to cover the shortage of the fixed network of strong ground motion observation to enhance their ability to capture the records near the field vibration, but also the main method and technology approach to solve problem of the basic research and engineering applications of advantage of huge experiment field of natural earthquakes.

Keywords: strong ground motion; temporary observation; special array; extended application