

中国强震记录汇报

REPORT ON STRONG EARTHQUAKE MOTION RECORDS IN CHINA

第十四集

第一卷

Vol. 14

No. 1

汶川8.0级地震余震流动台站观测 未校正加速度记录

国家强震动台网中心 编

李小军 主编



地震出版社

中国强震记录汇报

第十四集 第一卷

汶川 8.0 级地震余震流动台站观测 未校正加速度记录

国家强震动台网中心 编

李小军 主编

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国强震记录汇报. 第14集. 第1卷, 汶川8.0级地震余震流动台站观测未校正加速度记录/李小军主编. —北京: 地震出版社, 2009. 12

ISBN 978-7-5028-3671-9

I. ①中… II. ①李… III. ①地震记录—地震报告—中国②大地震—地震记录—汶川县—2008 IV. ①P316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 239517 号

地震版 XT200900327

中国强震记录汇报

第十四集 第一卷

汶川 8.0 级地震余震流动台站观测未校正加速度记录

国家强震动台网中心 编

李小军 主编

责任编辑: 王 伟

责任校对: 庞亚萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

工程图书出版中心: 68721991

E-mail: 68721991@sina.com

经销: 全国各地新华书店

印刷: 九洲财鑫印刷有限公司

版 (印) 次: 2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 992 千字

印张: 38.75

印数: 0001 ~ 2000

书号: ISBN 978-7-5028-3671-9/P (4291)

定价: 90.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编 委 会

主 编：李小军

副主编：周正华 温瑞智

编 委：周雍年 韦开波 卢大伟 于海英 崔建文
 闵祥仪 周民都 朱建钢 李佐唐

主要观测人员：

周正华	温瑞智	王宇欢	刘 泉	杨 程
尹晓涛	崔建文	闵祥仪	周民都	李佐唐
何少林	何新社	朱建刚	高 东	张 潜
余 华	郑水明			

主要数据处理人员：

任叶飞	周宝峰	王玉石	史大成	喻 炯
陈广涛	娄良琼			

前 言

2008年5月12日汶川8.0级地震的发生导致了巨量的工程破坏、人员伤亡和经济损失,震惊世界。在这次地震中,2008年3月正式投入运行的国家强震动观测网络系统获得了一大批高质量的主震数字强震动观测记录,包括四川、甘肃、陕西、云南、宁夏、青海、山西、山东、河南、河北、北京、天津、内蒙古、江苏、上海、福建、广东、湖北、安徽等19个省市自治区的420个台站的完整记录1253条。汶川地震主震后的一段时间内大量的强余震伴随而至,在获得主震强震动观测记录后,国家强震动观测网络系统中位于汶川地震重灾区及附近范围的强震动台站继续发挥有效的观测作用,获得了巨量的汶川地震余震强震动记录。

固定台站强震动观测是获取强震动记录的主要途径。1962年我国布设了第一个强震动观测台站,至此我国开始了强震动观测台站的建设及强震动观测研究。1966年邢台地震和1976年唐山大地震后,强震动观测台网建设有了一定程度的发展,但一直未形成全国性规模,至20世纪90年代中期,实际运行的固定强震动观测台站只有近300个(包括结构台阵),另有数十台强震动仪用于流动观测。“九五”和“十五”计划期间国家加大了对强震动观测台网建设的投入,形成了我国目前的规模性强震动观测网络系统,由近2000台/套高性能数字强震动观测仪器组成的观测台站和台阵已覆盖我国大陆的强地震活动区,同时在首都圈地区以及甘肃、云南、新疆、四川和陕西等地的局部地区形成了台站密集的强震动观测台网。

流动台站强震动观测是获取强震动记录的必要补充手段。无论固定台站强震动观测如何快速发展,对于幅员辽阔而且强地震活动区域分布广泛的我国,在目前及未来相当一段时期内,仅仅依靠固定台站强震动观测仍然难以可靠地实现强震及强余震地震动观测的目标,特别是在获取近断层记录方面。流动台站强震动观测是我国首创的行之有效的强震动观测方法之一,我国目前仍将流动台站强震动观测作为强震动观测的重要部分。流动观测的特点是很强的时间性和机动性,与地震预报及强余震趋势分析结果相结合,通过及时布设流动观测台站和台阵,可以有效地获取强余震记录,如汶川地震余震观测,甚至是主震记录,如松潘地震、施甸地震等主震观测。

汶川地震发生后,中国地震局迅速组织观测队伍开展了余震强震动流动观

测。观测人员历尽艰辛，不断深入极震区，成功地获取了 949 次余震的 3250 组三分量加速度记录。强余震中同时有超过 5 个流动台获取加速度记录的共有 153 次，2008 年 8 月 1 日平武北川交界的 $M_s 6.0$ 地震中共有 46 个流动台站获得了强震动记录。记录中，97 组属于震级 6.0 以上的余震记录，121 组属于震级 5.0 ~ 5.9 的余震记录，峰值加速度超过 100 Gal 的记录有 192 条，其最大峰值加速度达 966.5 Gal。

本书对此次流动观测及其取得的强震动记录作了简要的介绍与分析，提供了流动强震动观测记录的目录、图形及谱特性等信息。希望本书公布的汶川地震余震的流动强震动观测记录资料，能为地震工程及相关学科研究的发展提供有效的基础数据。同时，希望流动强震动观测获得的近断层观测记录所含有的丰富的震源特征信息，有利于强震震源机制的研究，以推进近场地震学的发展。

汶川地震余震流动观测工作是在中国地震局震害防御司的直接领导和安排下完成的，中国地震局强震动观测专家组专家给予了技术指导、各相关省市地震局的领导和专家给予了大力帮助。编者对相关领导和专家以及直接参与观测工作的人员表示衷心的感谢。本书的编写工作还得到了多个科研项目的资助，包括国家自然科学基金重大研究计划资助项目（90715038）、国家科技支撑计划项目（2009BAK55B05）、地震行业科研专项（200808019，200808026）。

李小军
2009 年 12 月

目 录

一、概述	(1)
二、汶川地震的强震动流动观测	(1)
2.1 参与单位及投入设备	(1)
2.2 流动台布设	(2)
三、流动强震仪安装	(4)
四、获取记录的余震地震目录	(4)
4.1 CENC 公布的地震目录	(4)
4.2 未正式公布的地震目录	(5)
五、流动观测加速度记录	(6)
5.1 数据处理	(6)
5.2 记录统计	(9)
六、加速度记录图谱	(12)
七、结语	(13)
参考文献	(14)
附表 1 数字强震动记录器主要技术指标列表	(15)
附表 2 加速度计主要技术指标列表	(17)
附表 3 流动台站信息表	(18)
附表 4 CENC 公布的余震地震目录 (获取加速度记录的)	(23)
附表 5 未正式公布的余震地震目录 (获取加速度记录的)	(38)
附表 6 加速度记录目录 (对应 CENC 公布的地震目录)	(47)
附表 7 加速度记录目录 (对应未正式公布的地震目录)	(324)

一、概 述

强震动观测可为工程结构抗震验算提供定量的输入数据,检验抗震实践中的理论和方法,从而加深对抗震客观规律的认识、推动地震工程研究的发展。同时,由于强地震动的近场观测记录含有相当丰富、直接的震源特征信息,从而亦利于强震震源机制的研究,推动近场地震学的发展。

强震动观测是获取强震动记录的主要途径,从1962年我国布设第一个强震动台站开始,至今我国固定强震动台网已得到了很大发展。“十五”期间建设的中国数字强震动观测台网于2008年3月通过验收并正式投入运行,2008年5月12日汶川8.0级地震主震中,台网19个省市的420个台站获得了高质量的完整加速度记录,这些记录均是台网固定强震动台获取的^[1]。

流动强震动观测是我国首创的行之有效的强震动观测方法之一,在我国固定台网不能覆盖所有地震区、台站密度不高的情况下,流动观测是获取强余震记录的重要手段。强震动流动观测可以分为根据年度会商意见或短临预报以获取主震记录为目的的震前流动观测和主震以后以获取强余震记录为目的的震后流动观测两种方法,我国大陆典型的和一些主要的强震动记录都是由流动观测获取的^[2]。

主震之后的余震是逐渐衰减的,流动观测工作完成的愈快,捕捉到余震记录的机会就愈多。因此,强震动流动观测设备具有高度的灵活机动性。与历次破坏性地震一样,汶川大地震发生后,中国地震局迅速组织开展了余震强震动流动观测任务。观测人员克服现场艰苦的生存条件及恶劣的自然条件,深入极震区,在圆满完成任务的同时,获取了949次余震的3250组三分量加速度记录。本卷对此次流动观测及其取得的强震动记录作详细的介绍。

二、汶川地震的强震动流动观测

2.1 参与单位及投入设备

2008年5月12日汶川地震发生当天下午,按照中国地震局震害防御司的统一部署,国家强震动台网中心会同西北强震动区域分中心和西南强震动区域分中心迅速做好奔赴现场的准备工作,派遣技术人员开展强震动流动观测。5月12日晚西北强震动区域分中心技术人员先行进入汶川极震区;国家强震动台网中心及其他分中心技术人员于5月13日携带观测设备奔赴地震现场,由于空中交通管制等原因,于5月14日到达都江堰的中国地震局应急指挥部,并立即开展相关工作。参与单位及投入的设备见表2-1。各种型号数字强震动记录器和加速度计的主要技术指标详见附表1和附表2。

表 2-1 汶川地震强震动流动观测参与单位与投入设备

序号	工作单位	流动观测仪器数
1	国家强震动台网中心（中国地震局工程力学研究所）	27 台 Etna; 1 台 GDQJ
2	西北强震动区域分中心（甘肃省地震局）	15 台 Etna; 5 台 K 2
3	西南强震动区域分中心（云南省地震局）	4 台 Etna; 2 台 K 2
4	四川省地震局	3 台 Etna
5	湖北省地震局	2 台 K 2

2.2 流动台布设

汶川地震所在的龙门山断裂带属地震多发区，青藏高原深部的物质向东流动到四川盆地受阻，向上运动，两者边界形成断层面。这次地震属于单向破裂地震，发震构造是龙门山构造带中央断裂带，在挤压应力作用下，由南西向北东逆冲运动；并由南西向北东迁移，致使余震向北东方向扩张；挤压型逆冲断层地震在主震之后，应力传播和释放过程比较缓慢^[3~5]。根据此次地震的这一特点，本次流动观测按照从西南向东北沿着龙门山断裂走向进行布设的方案共布设了 59 套不同型号的仪器，具体布设方案如下^[6]：

（1）对于下盘，主要沿都江堰—彭州—什邡—绵竹—绵阳—江油—广元方向布设，并根据地震预报和余震发展趋势不断调整流动台的位置。

（2）对于上盘，分别沿汶川—理县，黑水—茂县，文县—青川三个方向布设。

（3）流动子台尽可能布设到强余震区，力争多捕获近场强地震动记录。

（4）考虑现有国家强震动观测网络系统的固定台的空间分布，对其适当加密、补充。

根据余震趋势，调整观测地点，59 套仪器总计对 92 个场点进行了观测，台站具体意见附表 3，其分布情况见图 2-1。

在制定布设方案的同时，亦考虑了相邻子台尽可能构成某一观测目的的台阵这一因素。依据本次强震动流动台的布局，此次流动观测可组成 3 类不同观测目的的台阵，其中包括地震动衰减台阵、地形和盆地效应观测台阵、结构地震反应观测台阵^[7]。

地震动衰减台阵所获取的地震动资料可作为基础统计数据，揭示近场地震波的传播和衰减规律，对未来强震地震动影响场进行预测，研究传播震源机制、传播路径和局部场地效应对地震动的影响。本次流动观测中的龙门山镇宝山公司、小鱼洞、新兴、通济和丹景山 5 个子台相对于龙门山断裂构成了衰减台阵。

地形和盆地效应台阵所获得的记录可以分析地形及盆地局部场地条件对地震动的影响，为震害异常分析等提供基础资料。本次流动观测在江油附近武都盆地布设的 9 个子台以及在青川附近三锅乡盆地布设的 3 个子台侧重于盆地效应的影响观测；观音山 5 组、青山院两个子台构成了地形效应台阵；另外还布设了窦圉山地形效应台阵和文县地形效应台阵。

结构地震反应台阵可以记录在实际地震作用下的工程结构地震反应，为结构在强地震作用下的反应分析提供输入地震动，继而进行反应特征和破坏机理研究。本次流动观测布设在都江堰通讯大楼地下一层、一楼、四楼和顶层八楼的 4 个子台构成一个结构地震反应台阵；另外还布设了江油结构台阵及碧口电厂大坝结构台阵。

所有台阵的子台详细信息可参见附表 3。

三、流动强震仪安装

为了确保强震动记录数据的可靠性，仪器安装除遵照相关规范规程外，将严格按照设备说明书的要求进行，本次流动观测中强震仪安装简要步骤如下：

(1) 首先选取平整地面，使其保持水平。

(2) 在平整地面上利用精密罗盘进行定位，并刻上十字线以表示方位，即南—北向。

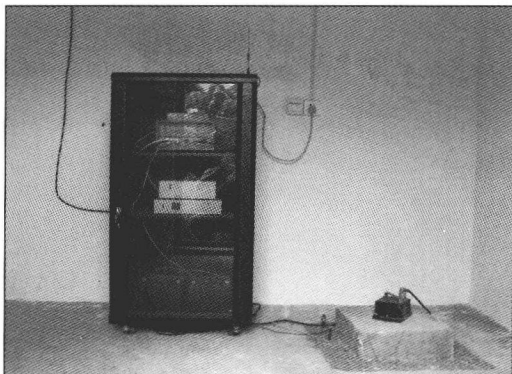
(3) 对强震仪方位进行校核，仔细查看水准泡，确定其是否水平，之后安装固定。

(4) 进行调零位，使零位小于 25mV。

在安设强震仪时，必须保证强震仪与地面之间牢固的接触。如果地震时强震仪在水平方向产生滑动或者在竖向失去接触，都会造成记录失真，甚至无法使用。为此，必须采取有效措施，确保在振动过程中强震仪与地面牢固的结合。本次工作中由于现场条件恶劣，多数强震仪直接安放在地表，并尽可能选择基岩场地。图 3-1 给出了典型的固定台站与流动台站的对比，流动台的固定主要采用粘结方式固定，同时仪器上部压放重物，而通常固定台传感器的固定是采用膨胀螺栓固定在预先浇筑的仪器墩，因此本次流动观测的强震台大部分为土层台。



(a) 流动台



(b) 固定台

图 3-1 典型流动台与固定台安装对比

四、获取记录的余震地震目录

4.1 CENC 公布的地震目录

数据处理人员按照中国地震台网中心（CENC）公布的地震目录逐条核对，最终确认

了 600 次余震中获取了加速度记录, 这些余震的时间分布情况见图 4-1, 空间分布情况见图 4-5, 数目与震级关系见图 4-2, 基本信息见附表 4。需要说明的是震级都统一采用 M_s 值, 对未有 M_s 值的采用 M_L 值。

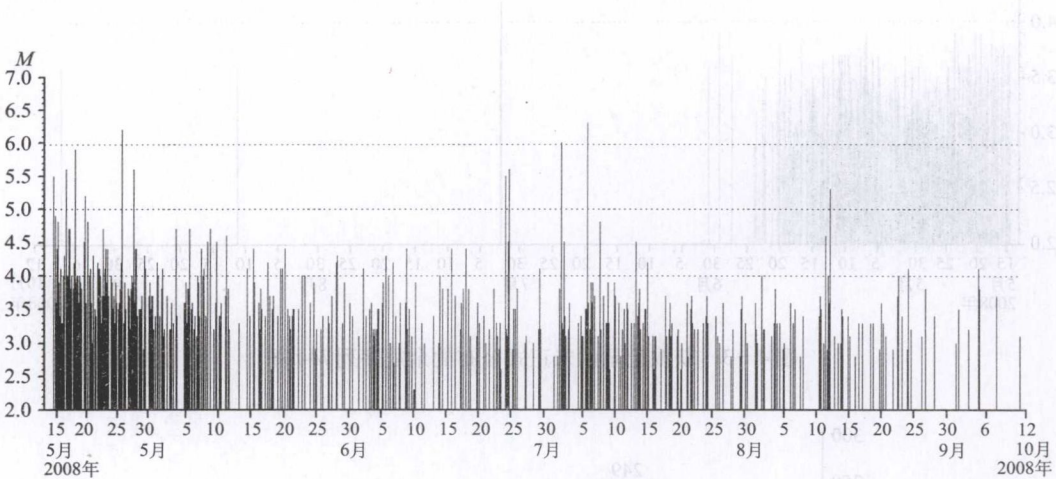


图 4-1 获取记录的 CENC 公布的余震序列 $M-t$ 图

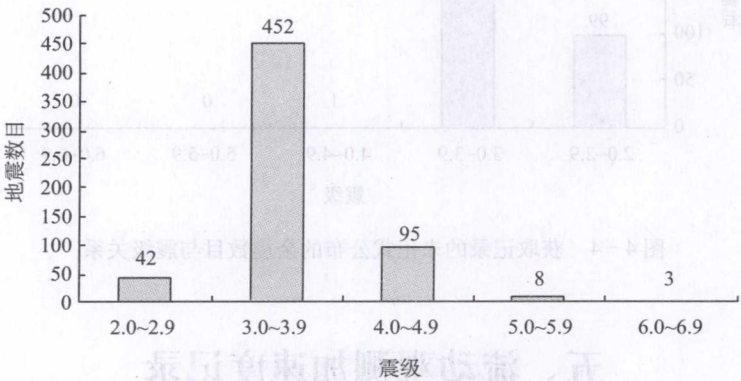


图 4-2 获取记录的 CENC 公布的余震数目与震级关系

4.2 未正式公布的地震目录

部分地震目录由于震级小等原因尚未正式公布, 因此, 对其余未能与 CENC 公布的余震目录相对应的加速度记录, 参照未正式公布地震目录逐条核对, 最终确认在另外 349 次余震中也获取了加速度记录, 这些余震的时间分布情况见图 4-3, 空间分布情况见图 4-6, 数目与震级关系见图 4-4, 基本信息见附表 5。需要说明的是震级 4.0 以上采用 M_s 值, 4.0 以下采用 M_L 值。

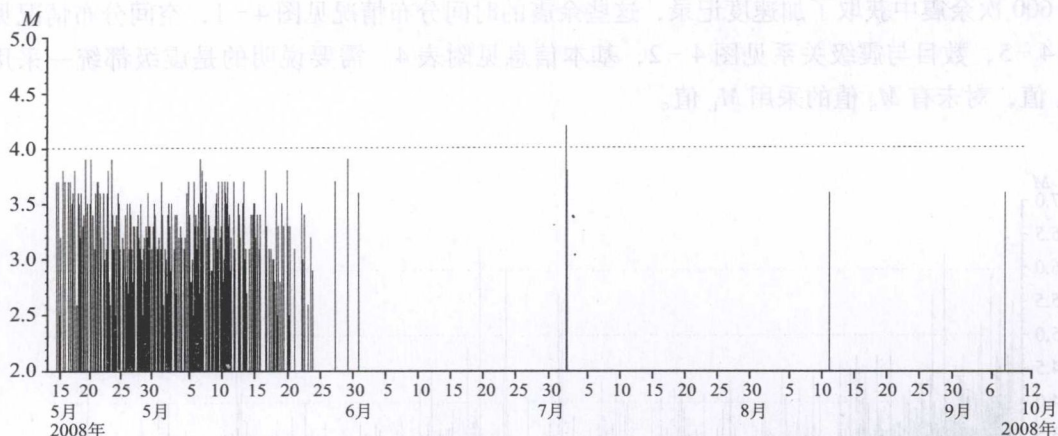


图 4-3 获取记录的未正式公布的余震序列 $M-t$ 图

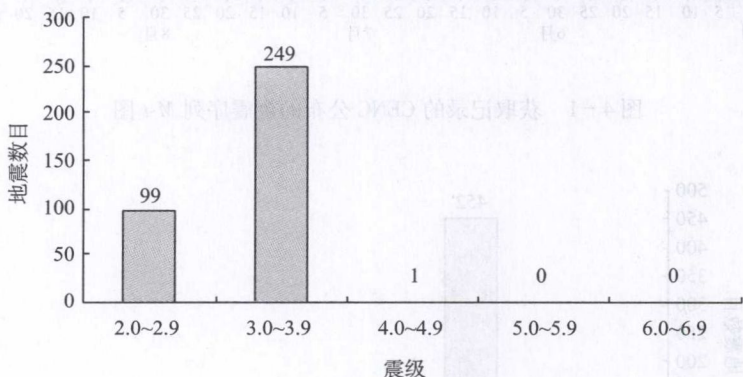


图 4-4 获取记录的未正式公布的余震数目与震级关系

五、流动观测加速度记录

5.1 数据处理

数据处理分析过程如下：

- (1) 对原始加速度记录进行整理，核对地震目录，并进行重新命名及统一编目。
- (2) 对原始加速度记录进行转换、统一格式，生成《中国数字强震动台网技术规程 (JSGC-03)》规定格式的数据及美国 USGS 的 smc 格式数据。
- (3) 利用 BAP (Basic Strong-Motion Accelerogram Processing) 强震动数据处理软件^[8]，进行零线调整，计算傅里叶幅值谱及绝对加速度反应谱。
- (4) 对超过 5 个流动台获取记录的地震，选取典型记录，运用 Matlab 语言绘制未校正加速度时程、0.01 ~ 30Hz 频率范围的傅里叶幅值谱及 0.04 ~ 6s 周期范围的阻尼比为 0.05 的绝对加速度反应谱，并输出图形至 word 文档形成报告。

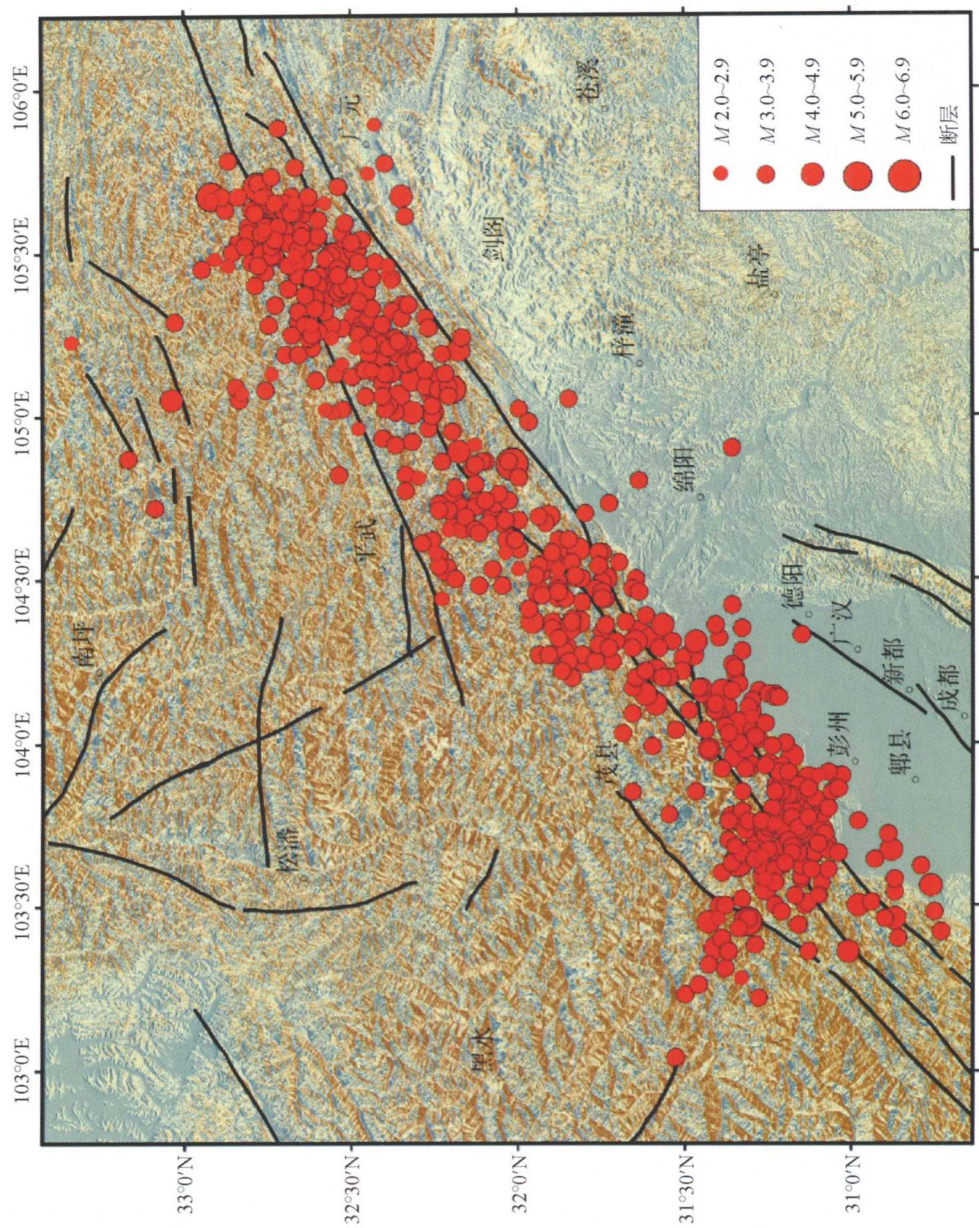


图4-5 获取记录的CENC公布的余震目录空间分布

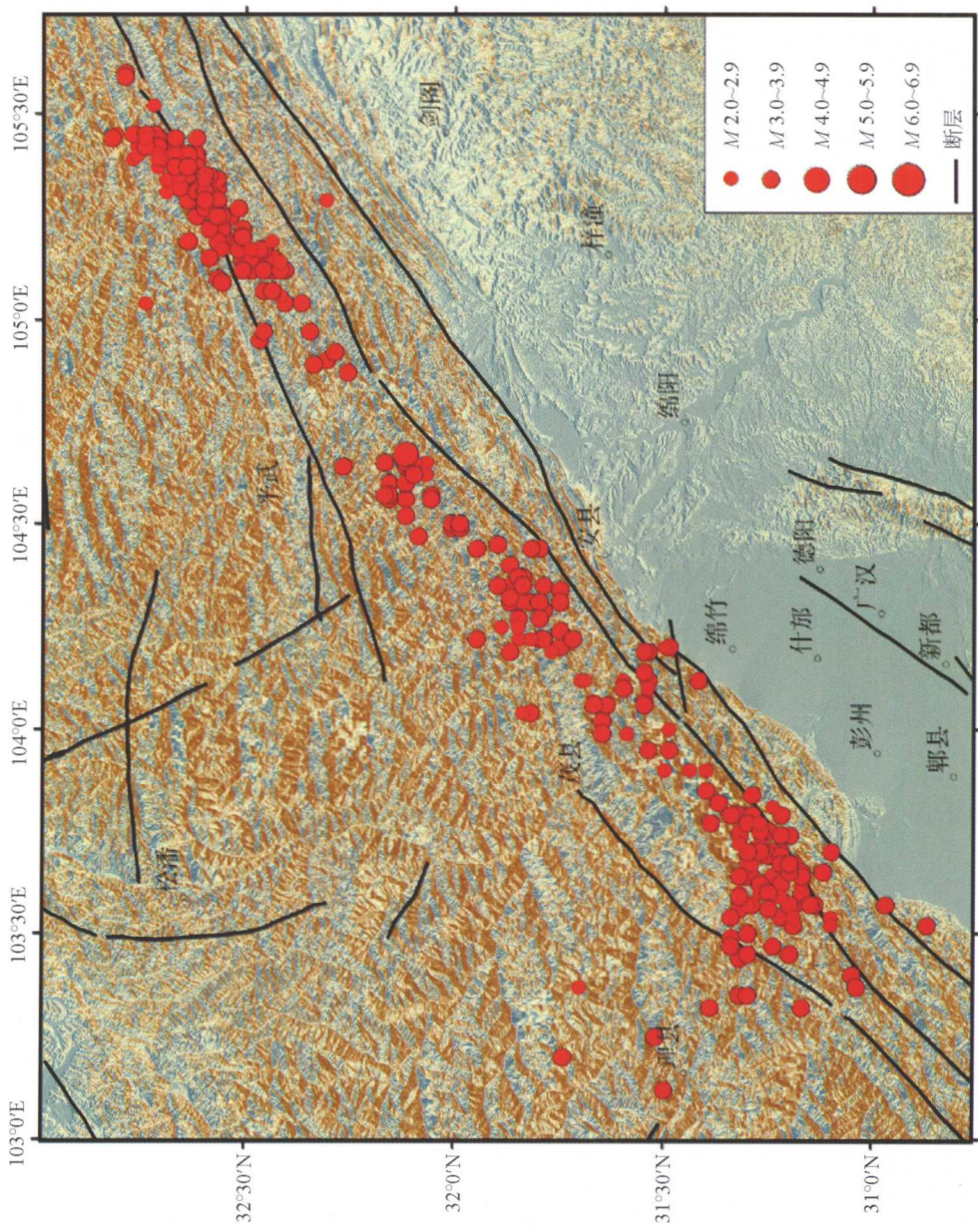


图4-6 获取记录的未正式公布的余震目录空间分布

5.2 记录统计

5.2.1 总体情况

此次流动观测共获取了 949 次余震的 3250 组三分量加速度记录，其中对应 CENC 公布的地震目录，600 次余震中获取了 2214 组，记录目录见附表 6；其余对应未正式公布的地震目录，349 次余震中获取了 525 组，记录目录见附表 7；两个目录都无对应的，共 437 组；剩余 74 组为由于仪器断电重启后时间自动设为 1980 年，且无法还原为正确仪器触发时间的记录数量。各单位获取记录情况见表 5-1。各流动台获取记录情况见附表 3。

表 5-1 汶川流动观测中各单位获取加速度记录数量

单位	C	I	U	N	合计
工程力学研究所	1145	224	202	28	1599
甘肃省地震局	1022	254	229	0	1505
云南省地震局	47	47	6	0	100
四川省地震局	0	0	0	46	46
合计	2214	525	437	74	3250

注：C 表示对应 CENC（中国地震台网中心）公布的地震目录，强震记录数量；
I 表示对应未正式公布的地震目录，强震记录数量；
U 表示以上两地震目录都无法对应的强震记录数量；
N 表示记录开始时间为 1980 年，且无法还原为正确仪器触发时间的强震记录数量。

在所有 949 次余震中，单次地震中至少 5 个流动台获取加速度记录的地震总共有 153 次，其中获取记录最多是在 2008 年 8 月 1 日 16 点 32 分 41 秒发生在平武北川交界的 $M_s6.0$ 地震中，共有 46 个流动台捕获到了此次地震的加速度记录，这些台站的分布见图 6-205。图 5-1 给出了单次地震中获取记录数量与地震数目的关系。

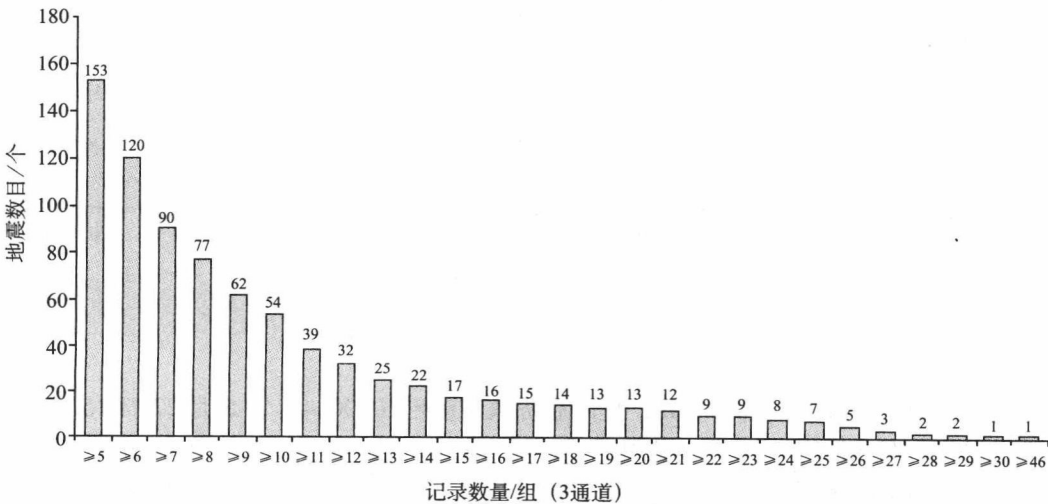


图 5-1 单次地震中获取记录数量与地震数目统计关系

5.2.2 震级与记录数量关系

在所有对应地震目录的 2739 组加速度记录中, 有 97 组是在震级 6.0 以上余震中获取的, 121 组在震级 5.0 ~ 5.9 余震中获取, 707 组在震级 4.0 ~ 4.9 余震中获取, 1623 组在震级 3.0 ~ 3.9 余震中获取, 剩余 191 组在震级 2.0 ~ 2.9 余震中获取, 具体分布见图 5-2。

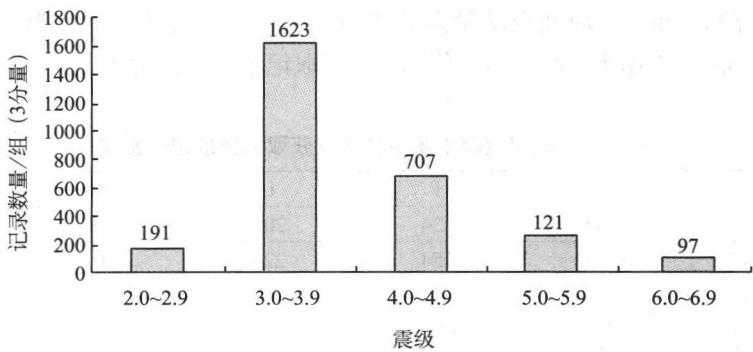


图 5-2 震级与加速度记录数量关系

5.2.3 震中距与记录数量关系

在所有对应地震目录的 2739 组加速度记录中, 震中距在 0 ~ 5km 范围内 (包含 0 在内, 以下同) 的有 54 组, 5 ~ 10km 范围内的有 162 组, 10 ~ 20km 范围内的有 620 组, 20 ~ 50km 范围内的有 1090 组, 50 ~ 100km 范围内的有 603 组, 100 ~ 200km 范围内的有 201 组, 200 ~ 300km 范围内的有 9 组, 具体分布见图 5-3。

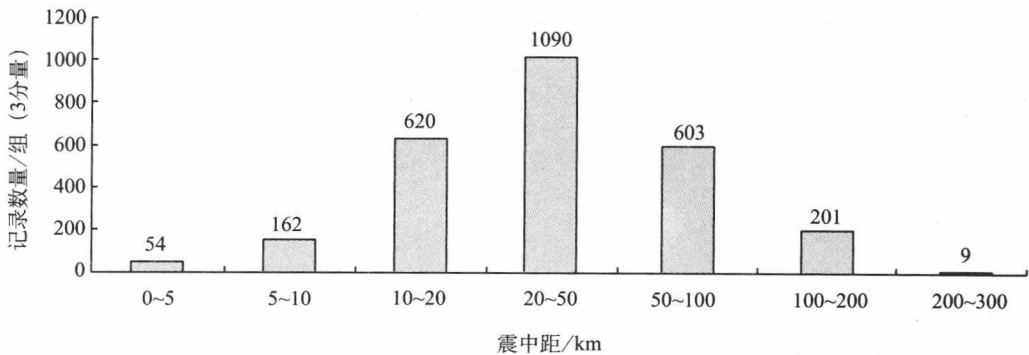


图 5-3 震中距与加速度记录数量关系

其中震中距最近的只有 0.7km, 是由通济镇流动台 (L0014) 在 5 月 22 日 15 点 18 分 43 秒发生在都江堰的 $M_s4.7$ 地震中获取的, 东西、北南、垂直向 PGA 分别为 64.3、-39.2、20.6Gal; 震中距最远的有 250.0km, 是由玉堂镇政府流动台 (L0012) 在 5 月 25 日 16 点 21 分 47 秒发生在青川的 $M_s6.2$ 地震中获取的, 东西、北南、垂直向 PGA 分别为