

朱升初,王恒知,詹小艳.2016年10月20日江苏射阳M4.4地震的强震动记录分析[J].地震工程学报,2018,40(增刊):123-128.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.123

ZHU Shengchu, WANG Hengzhi, ZHAN Xiaoyan. Strong Motion Records from the Sheyang M4.4 Earthquake on October 20, 2016[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Supp): 123-128. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.123

2016年10月20日江苏射阳M4.4地震 的强震动记录分析

朱升初, 王恒知, 詹小艳

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要:对2016年10月20日江苏射阳M4.4地震的强震动记录进行初步分析,介绍强震动记录的一些基本特征。与ShakMap小震回归公式的预测数据比较,发现实际观测值总体高于预测值。通过对强震动记录的反应谱分析,认为本次地震对震中区建筑的影响轻微。在地震动等值线图产出过程中,采用数据偏差校正、场地效应及空间插值方法,使地震动等值线图的空间表达更为合理。其等值线图长轴呈北西向,与此次地震的主破裂面方向一致。结合地震现场调查结果,讨论了震中区的烈度分布与仪器烈度。

关键词:射阳M4.4地震;强震动记录;加速度反应谱;等值线图;仪器烈度

中图分类号: P315.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0123-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.123

Strong Motion Records from the Sheyang M4.4 Earthquake on October 20, 2016

ZHU Shengchu, WANG Hengzhi, ZHAN Xiaoyan

(Earthquake Agency of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: The characteristics of the strong motion records of the Sheyang M4.4 earthquake that occurred on October 20, 2016 in Jiangsu Province were analyzed. Comparing the data predicted by using the ShakMap regression formula with the actual observed data revealed that the actual observed data were higher than the predicted data. Analyzing the acceleration response spectra of strong motion records showed that the earthquake exerted negligible effects on buildings in the epicentral area. The methods of data bias correction, site effect analysis, and spatial interpolation were used to draw the contour map of ground motions. This multimethod approach enhanced the rationality of the spatial expression of the contour map. Finally, intensity distribution and instrumental intensity in the epicentral area were discussed in combination with the results of field survey and damage assessment.

Keywords: Sheyang M4.4 earthquake; strong motion records; acceleration response spectrum; contour map; instrumental intensity

0 引言

据中国地震台网测定,2016年10月20日江苏省盐城市射阳县(33.70°N,120.30°E)发生 $M_{4.4}$ 级地震,震源深度25 km,震中位于射阳县新洋农场附近。

强震动记录是地震能量在地表或建筑结构上最为真实的反映,是地震工程、地震学研究的基础性数据。随着国家烈度速报与预警项目的快速推进,强震动记录的产出与服务也随之延拓至更为广泛的领域。射阳 $M_{4.4}$ 地震属于一次强有感、影响范围大却无明显震害的中小地震事件。对地震活动频度不高的江苏地区而言,其强震动记录是不可多得、弥足珍贵的。该强震动记录分析成果可为本地区中小地震事件的地震灾害预测、烈度评估等研究提供参考。

1 强震动记录

此次地震中,江苏强震动台网共15个台站达到触发阈值,获取三分向强震动记录15组。按震中距统计,震中距小于50 km的记录共4组,其中射阳台(32SHY)与淡水养殖场台(32DSH)在震中10 km范围内,震中距在50~100 km间的记录有6组,震中距大于100 km的记录有5组。

1.1 时域特点

对记录数据进行零漂去除与零线校正等预处理后,计算出强震动记录的 PGA 、 PGV 等参数。观测台站的基本参数及 PGA 、 PGV 分析结果列于表1。射阳台加速度记录的东西向 PGA 为 28 cm/s^2 ,南北向为 14.5 cm/s^2 ,垂直向为 8.1 cm/s^2 ,是此次地震记录到的最大一组加速度值。沭阳台(32SYT)距离震中最近,加速度记录的东西向 PGA 为 5.8 cm/s^2 ,南

表1 观测台站基本参数及 PGA 、 PGV 分析结果

台站名称	台站代码	场地	震中距/km	$PGA/(cm \cdot s^{-2})$			$PGA/(cm \cdot s^{-1})$		
				EW	SN	UD	EW	SN	UD
射阳	32SHY	土层	8	28.0	14.5	8.1	1.97	0.92	0.31
淡水养殖场	32DSH	土层	10	9.0	9.7	4.3	0.67	0.34	0.19
盐城	32YCT	土层	40	2.3	2.0	1.4	0.20	0.19	0.08
阜宁	32FNT	土层	45	7.3	12.9	3.5	0.37	0.67	0.14
建湖	32JHT	土层	55	2.9	3.5	1.6	0.10	0.16	0.06
大丰	32DFT	土层	61	2.3	2.8	1.1	0.14	0.15	0.06
滨海	32BHT	土层	61	2.4	2.3	1.8	0.11	0.15	0.04
响水	32XST	土层	85	4.9	3.4	1.5	0.26	0.17	0.07
灌南	32GNT	土层	97	4.4	3.7	2.2	0.20	0.18	0.08
兴化	32XHT	土层	99	5.9	4.3	1.0	0.44	0.34	0.07
宝应	32BYT	土层	107	2.4	2.7	0.8	0.20	0.22	0.03
楚州	32CHZ	土层	111	2.3	1.5	2.3	0.03	0.06	0.07
弶港	32QGT	土层	112	2.4	3.3	1.6	0.12	0.14	0.07
灌云	32GUY	土层	119	5.9	4.3	2.3	0.19	0.12	0.05
沭阳	32SYT	土层	140	5.8	5.5	1.0	0.16	0.13	0.05

北向为 5.5 cm/s^2 ,垂直向为 1.0 cm/s^2 。

1.2 频域特点

对强震动记录的每个观测分量进行FFT以及联合时频分析,各观测分量的加速度优势频率分析结果列于表2。从表2来看,加速度时程记录优势频率主要分布于2~4 Hz间。15组强震动记录的等效卓越频率 $f_{EQ}^{[1]}$ 的分析结果与加速度时程记录优势频率分布基本一致,体现出此次地震强震动记录低频成分卓越的特点。

射阳台与淡水养殖场台的加速度时程记录优势频率接近,其频率在时间轴上的变化却大不相同:射阳台加速度记录的能量主要集中在2.3 Hz附近,持续时间很短,类似于脉冲响应;而淡水养殖场台加速

度记录的能量频率较为分散,特别是在垂直观测分量上具有更为明显的多峰值形态,且持续时间比射阳台更长。

1.3 地震动衰减关系

选取强震动记录 PGA 以及 PGV 的水平分量最大值,基于频率及振幅的场地校正方法将土层场地上获得的地震动数据校正至“基岩参考面”,得到射阳 $M_{4.4}$ 地震 PGA 及 PGV 水平分量的基岩衰减特征。

由图1可见,实测地震动 PGA 除近震中的2个台站外,总体要高于ShakeMap小震回归地震动预测公式值,地震动 PGV 同样存在类似的趋势。由于所采用的地震动预测公式的震源是一个简化的

表 2 加速度的优势频率以及等效卓越频率

台站名称	台站代码	频率/Hz			
		f_{EW}	f_{SN}	f_{UD}	f_{EQ}
射阳	32SHY	2.3	2.7	3.5	2.3
淡水养殖场	32DSH	2.0	2.3	2.3	2.3
盐城	32YCT	2.3	2.3	4.9	1.8
阜宁	32FNT	3.5	2.7	3.7	3.1
建湖	32JHT	5.9	5.9	6.8	3.5
大丰	32DFT	4.7	5.3	4.5	3.0
滨海	32BHT	5.5	5.3	5.3	2.4
响水	32XST	2.9	3.1	3.1	2.9
灌南	32GNT	3.5	2.5	6.3	3.5
兴化	32XHT	2.5	2.7	2.5	2.1
宝应	32BYT	1.6	4.7	5.1	2.0
楚州	32CHZ	4.0	4.9	3.3	5.1
琼港	32QGT	3.7	2.3	3.3	3.8
灌云	32GUY	4.3	4.3	8.2	5.0
沭阳	32SYT	7.0	7.4	8.0	5.9

二维断层模型,因此位于近震中场点的地震动参数被高估。

1.4 加速度反应谱以及对建筑的影响

分别计算射阳台与淡水养殖场台的加速度反应谱(5%阻尼比,周期 0.04~6.0 s),发现台站所在场点的水平地震影响系数最大值 0.1g,设计地震分组第二组^[2]。震中区为苏中海积平原,水系发育,地势平坦,高程在 0.8~2.2 m 间,场地类别以 III 类、IV 类场地为主。故分别选择 III 类及 IV 类场地的地震影响系数曲线作为判别标准,一并与台站的加速度反应谱绘制于图 2。

从加速度反应谱与设计地震影响系数曲线可见:射阳台与淡水养殖场台的加速度反应谱峰值周期小于设计谱特征周期 T_g ,反应谱峰值低于设计谱水平地震影响系数最大值 a_{max} 。上述台站加速度反

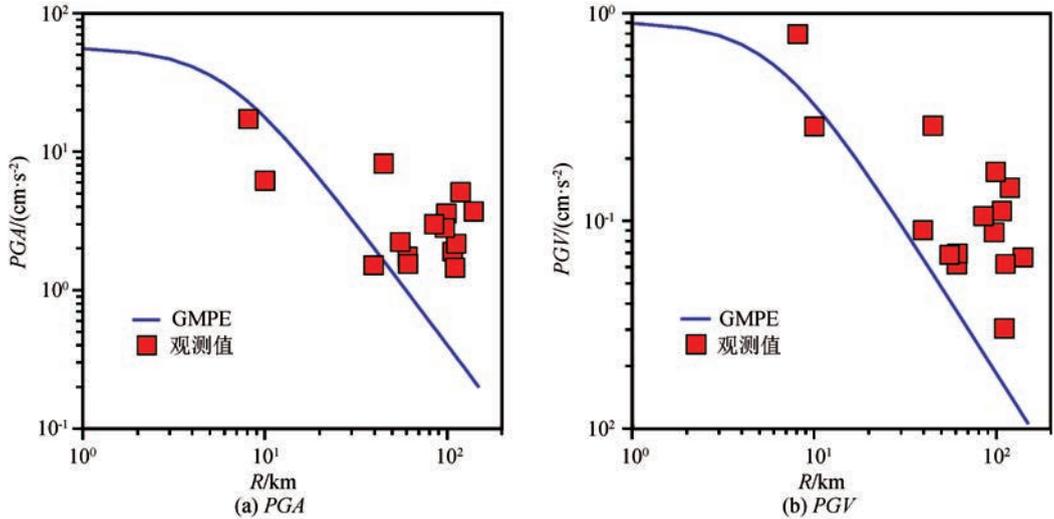


图 1 PGA 及 PGV 水平分量衰减特征

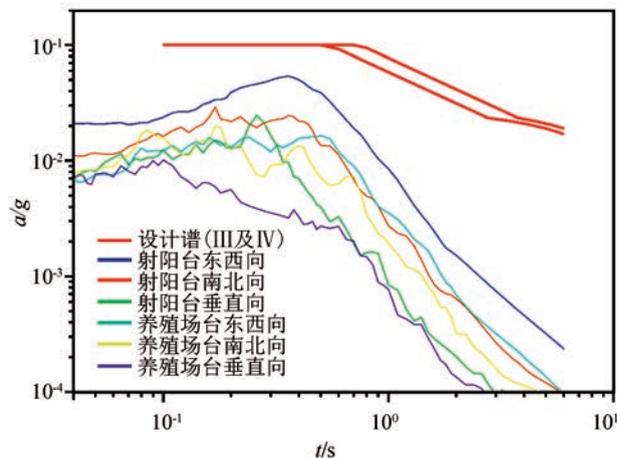


图 2 射阳台与淡水养殖场台加速度反应谱线及地震影响系数曲线

应谱线均在设计谱的包络范围内,认为此次射阳 M4.4 地震对震中区域的建筑影响轻微。

1.5 地震动等值线图

目前江苏强震动观测台网的台站观测密度较低,尚难满足直接生成地震动等值线图的要求,且此次地震中获得记录的台站分布不均,主要位于震中的西北侧、西侧以及南侧,不利于空间插值计算。借鉴 ShakeMap 的空间插值方案^[3],采用观测数据以及地震动预测公式(GMPEs)预测值进行混合空间插值,以产出相应的地震动等值线图。

首先,将土层场地的观测数据校正至统一的基岩参考面,采用与对数线性偏差校正方法^[4]类似的方案进行调整,消除 GMPEs 地震事件之间存在的偏差。

随后,使用调整后的 GMPEs 以及一个预先设定的偏差阈值逐个检查台站观测数据,超出偏差阈值范围的地震动数据项将被标识在参数文件中。缺省情况下,这些台站异常观测数据会被自动调整至偏差阈值允许范围内,以满足数据偏差校正条件。也可选择保留这些台站异常观测数据,以待后续阶段的人工识别与处理。

接下来,使用 GMPEs 生成基岩地震动参数格栅,每个格栅点间隔略小于强震动观测台网的平均台站间距。引入最小台站距离及最小震中距离两项参数,以抑制地震动预测值对等值线图形态的控制,即格栅点与台站的距离或与震中的距离小于前述参

数值时该点的地震动预测值将不会被采用。随后,将地震动预测数据与台站基岩地震动数据两个数据集合并。

将前述地震动数据插值到一个更为精细的格栅文件(间隔约为 1.5 km)。基于 30 m 平均剪切波速度(v_{S30}),调整各个格栅点的基岩数据至地表。本文所用的格栅场点 v_{S30} 数据源自 USGS 提供的全球 v_{S30} 模型^[9],数据下载自: <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>。

最后,使用通用制图工具 GMT 绘制出地震动等值线图。射阳 M4.4 地震的 PGA、PGV 等值线图见图 3 与图 4。



图 3 2016 年 10 月 20 日射阳 M4.4 地震 PGA 分布图

2 地震现场调查与仪器烈度

射阳 M4.4 地震有感范围较大,震中附近的新洋农场、中路港、新洋港、黄沙港、洋马镇及射阳县城部分地区震感强烈。周边的建湖县、阜宁县及亭湖区、大丰区震感明显,部分居住于高层建筑内的居民在睡梦中被惊醒,聚集在小区广场避震。甚至远至扬州、淮安、连云港及南京等地也有震感报告。

地震发生后,江苏省地震局对射阳县、大丰区、

亭湖区 15 个镇(场)共 44 个调查点进行了地震现场调查。结果表明:此次地震无人员伤亡,震中区未见房屋破坏,交通、电力以及通讯等生命线工程运转正常,地震未造成明显经济损失^①。

选取射阳台与淡水养殖场台强震动记录,按照 MMI(Modified Mercalli Intensity)以及仪器地震烈

① 江苏省地震局.关于江苏射阳 4.4 级强有感地震应对处置工作总结的报告.2016-10-27.



图 4 2016 年 10 月 20 日射阳 M4.4 地震 PGV 分布图

度计算暂行规程^②)所规定的方法,计算射阳台与淡水养殖场台的仪器烈度值(以下分别简称为 MMI 烈度值与暂行规程烈度值)。作为比较,采用东部地区地震烈度衰减关系式^[6]得到前述两个台站所在场点的烈度值,以下简称 IPE 烈度值。

由表 3 可见,射阳台的暂行规程烈度值与 IPE 烈度值一致性较高,而其 MMI 烈度值要低于前两者。淡水养殖场台的 MMI 烈度值与暂行规程烈度值的计算结果相近,却远低于 IPE 烈度值,反映出震中区仪器烈度的不确定性以及差异性。

表 3 射阳台与淡水养殖场台的仪器烈度及烈度衰减关系预测值

台站	场地类别	MMI /(度)	暂行规程 /(度)	IPE /(度)
射阳	Ⅲ类,中软土	4.2	5.0	5.1
淡水养殖场	Ⅳ类,软弱土	3.2	3.5	4.9

注:表中 IPE 值为长短轴平均值

射阳 M4.4 地震仪器烈度的分布情况见图 5。此次地震仅 2 个强震台站位于地震现场调查范围内,无法全面反映其烈度分布情况,但在快速确定震中区最大烈度的过程中发挥了重要作用。该仪器烈度计算结果与地震现场调查报告“震中附近个别抽样点可达

V 度,其他地区均小于 V 度”的结论^{①[5]}一致。

2012 年 10 月 16 日美国缅因州南部发生 M4.0 地震。USGS 的一个小型团队实施了地震现场调查工作^[7],记录了建筑物墙体开裂、烟囱倒塌的情况,确定震中区 1~8 km 范围内 MMI 烈度为 5~6 度,稍高于 USGS “Did You Feel It?”网站发布的 5 度。与之相比较,射阳 M4.4 地震影响反而偏小。建筑物震害“除个别建筑物产生轻微裂缝、原有裂缝进一步扩展及门窗玻璃破碎等现象外,未见明显破坏迹象”^{①[5]},MMI 烈度仅为 4 度。可见即使是中小地震事件,其震害影响与烈度分布也是复杂的。

基于震中区震害情况以及地震动影响,与地面运动观测数据以及仪器烈度值相比较,逐步建立起本地区的地震动—地震烈度的关联^[8]是一项长期的工作。对于中小地震事件,也应重视其烈度调查与震害评估,重视强震动数据分析成果的积累。该工作有益于丰富中小地震事件的震害以及烈度资料,对江苏省应对和处置中小地震事件,建立地震危险性分析和损失预测模型均具有积极意义。

② 中国地震局.关于印发《仪器地震烈度计算暂行规程》的通知.2015-02-28.

