

陶小三, 李细兵, 彭小波, 等. 苏北沿海潜在震源区调整对地震危险性评估影响[J]. 华南地震, 2024, 44(4): 116-125. [TAO Xiaosan, LI Xibing, PENG Xiaobo, et al. Influence of Adjustment in Potential Seismic Sources of Coastal Areas of Northern Jiangsu Province on Seismic Risk Assessment [J]. South China journal of seismology, 2024, 44(4): 116-125]

苏北沿海潜在震源区调整对地震危险性评估影响

陶小三, 李细兵, 彭小波, 薛莹莹

(江苏省地震局震灾风险防治中心, 南京 210014)

摘要: 江苏持续开展地震危险源探查, 苏北沿海地区潜在震源区发生较大调整, 从而对该区域的地震灾害风险评估、重大工程抗震设防要求等产生直接影响。为评估潜在震源区调整给苏北沿海地区地震危险性造成的影响, 采用常规地震危险性概率分析方法, 从基岩峰值加速度、场地基岩反应谱、平均场地条件下基本地震动参数分区等方面进行研究, 研究表明: 潜源变化区域峰值加速度值有显著增加, 沿剖面最大增幅达到27%, 主要有盐城潜源、东台潜源、海安潜源; 各调整潜源对峰值加速度值贡献均有较大幅度的增加, 呈主要贡献; 而长周期部分的潜源贡献主要来自于附近高震级瑶沙潜源, 没有发生显著变化; 与第五代地震动参数区划图分区相比, 平均场地条件下基本地震动参数分区在苏北沿海盐城地区有较大变化, 主要盐城城区由原0.10 g调整到0.15 g, 建湖城区由0.05 g调整到0.10 g, 其余变化较小。

关键词: 苏北沿海; 潜在震源区; 地震危险性; 地震动参数

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2024)04-0116-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.04.13

Influence of Adjustment in Potential Seismic Sources of Coastal Areas of Northern Jiangsu Province on Seismic Risk Assessment

TAO Xiaosan, LI Xibing, PENG Xiaobo, XUE Yingying

(Earthquake Prevention and Disaster Reduction Center, Jiangsu Earthquake Agency,
Nanjing 210014, China)

Abstract: Seismic risk source exploration was carried out continuously in Jiangsu Province. The potential seismic sources in coastal areas of northern Jiangsu Province have undergone great adjustments, which will have a direct impact on the seismic risk assessment and seismic fortification requirements of major construction projects in the areas. In order to evaluate the influence of adjustment in potential seismic sources on seismic risk in coastal areas of northern Jiangsu Province, this paper used the conventional probability seismic hazard analysis (PSHA) method to analyze the bedrock peak acceleration, response spectrum of site bedrock, and basic ground motion parameter zoning under average site conditions. The results show that the peak acceleration in the changed potential seismic sources has increased significantly, and the maximum increase along the profile reaches 27%, mainly in

收稿日期: 2024-05-23

基金项目: 江苏省地震灾害风险普查项目(江苏省重大基础设施安全保障协同创新中心地震灾变破坏防治团队: 2021-2024)

作者简介: 陶小三(1976-), 男, 高级工程师, 主要从事地震灾害防治研究。

E-mail: txs3880@163.com

Yancheng potential seismic source, Dongtai potential seismic source, and Haian potential seismic source. The contribution of changed potential seismic sources to the peak acceleration increases significantly, showing the main contributors. However, the contribution of potential seismic sources to the peak acceleration in the long term part mainly comes from the nearby high-risk Yaosha potential seismic source, and there is no significant change. Compared with the fifth-generation ground motion parameter zoning map, the basic ground motion parameter zoning under average site conditions has a large change in Yancheng region of the coastal areas of northern Jiangsu Province. The main Yancheng City is adjusted from 0.10 g to 0.15 g, and the Jianhu City is adjusted from 0.05 g to 0.10 g, with the rest areas changing slightly.

Keywords: Coastal area of northern Jiangsu Province; Potential seismic source; Seismic risk; Ground motion parameter

0 引言

目前地震危险性分析主要有两种方法用来估计场地遭受的地震强度^[1-3],一种是地震危险性确定性分析方法,该方法主要设定某一位置发生地震情况下对场地所造成的地震影响;另一种是广泛使用的地震危险性概率分析方法。当前使用的中国地震动参数区划图就是基于后者编制的,地震危险性概率分析方法中划分潜在震源区是该技术非常重要的部分^[4],潜在震源区指的是未来一段时间内,满足震级频度($G-R$)关系和地震发生概率的一系列地震震源区域可能的空间集合范围^[5]。活动断层是地震危险性分析中考虑的主要来源,在目前核电站选址、桥梁、隧道、地铁等重大工程和城市生命线工程的地震安全性评估等方面十分重要^[6],其主要是以潜在震源区(潜源)的形式出现在地震危险性分析中。

苏北沿海地区在大地构造分区主要位于下扬子断块区,属于苏北平原凹陷区,该区域自南向北发育有一系列北东向隐伏断裂,主要有栟茶河断裂、陈家堡—小海断裂、南阳断裂、盐城—南洋岸断裂、洪泽—沟敦断裂、淮阴—响水口断裂等,这些断裂在重力场异常分析中显示出断裂一直延伸至中下地壳深度^[7],其中淮阴—响水口断裂和洪泽—沟敦断裂均为切割至莫霍面的断裂,尤其是淮阴—响水断裂是苏北—胶南地体的深大边界断裂,其构成了鲁苏隆起和苏北盆地的分界线^[8],在陆域长度达200多公里,在布格重力异常表现出密集的梯度带^[9]。

第五代地震动参数区划图颁布以来^[10],随着江苏省地震灾害风险普查、城市活动断层探测、重大工程地震安全性评价、区域性地震安全性评价等

工程项目的开展,获取不少新资料、新成果、取得很多新认识,尤其是对活动断裂最新活动时代的认识方面,这大大改变了活动断裂周边区域的地震危险性,需要对断裂所在的潜在震源区进行调整。鉴于栟茶河断裂探查和盐城市活动断层探测中多条断裂活动时代发生变化^[11-12],相关部门对苏北沿海地区的潜源进行了相应调整,本文主要对潜源调整造成江苏苏北沿海地区地震危险性的影响进行了分析评估。

1 方法

本文采用目前在重大工程中得到广泛应用的地震危险性概率分析方法,由美国学者 Cornell^[13]提出,涉及到地质学、地震学、岩土工程等多学科内容,是多学科技术综合的结果,其主要依据工程场地所在区域的地震构造环境、地震活动特征以及工程场地周围地震动衰减特征,得到工程场点未来特定时段内地面运动的地震动估计值^[14]。我国科学家依据 Cornell 提出的方法,结合我国大地构造、地震活动时空分布特征和中长期预报等科研成果,构建了具有我国特色的地震危险性概率分析方法,该方法是目前国内地震安全性评价中所使用的主要方法之一,下面主要是对地震危险性概率分析方法中的主要部分进行简略介绍^[2]。

首先,地震危险性概率分析方法中地震活动性模型需满足以下几个基本假定条件:

(1)地震统计区(地震带)内地震活动的震级服从指数分布,可用震级频度($G-R$)关系表示;

(2)地震统计区(地震带)内在未来一段时间内,地震发生是随机、独立的,需满足泊松分布;

(3)地震统计区(地震带)内地震活动为不均匀分布,而潜在震源区内发生地震为均匀分布。

然后根据上述假定条件,建立不同层次的潜在震源区地震活动性模型并进行危险性概率分析计算,该方法主要包括以下4个方面。

(1)首先需要确定出地震统计单元,一般称为地震统计区或地震带,该单元内地震活动的时空分布具有不均匀特征,主要用于地震活动性参数的统计。

根据上述假定条件2,统计单元内地震发生符合泊松分布特征。假定某地震统计区的震级上限为 m_{uz} ,其最小参与统计震级为 m_0 ,我国一般取为4.0级,那么对所有地震目录进行统计可以确定出统计区内的地震年平均发生率 v_0 ,则地震统计区内 t 年时段内 n 次地震发生的概率为:

$$P_{nt} = \frac{(v_0 t)^n}{n!} e^{-v_0 t} \quad (1)$$

同时统计单元内各级档地震的比例符合震级频度关系,满足各震级档的概率密度函数为:

$$f(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{uz} - m_0)]} \quad (2)$$

其中, $\beta = b \ln 10$, b 为震级频度关系统计值,一般由 $G-R$ 关系回归得到。实际工作中,震级由最小统计震级 m_0 到震级上限 m_{uz} 之间可离散为 N_m 个震级档, m_j 是震级范围为 $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ 的震级档。则在统计单元内发生一次 m_j 级地震的概率为:

$$P(m_j) = \frac{2}{\beta} f(m_j) \cdot Sh\left(\frac{1}{2} \beta \Delta m\right) \quad (3)$$

(2)确定好地震统计区的 b 值和年平均发生率 v_0 后,考虑到地震空间分布的不均匀性,在地震统计区内划分具有不同地震活动特征的潜在震源区,为反映各震级档在统计区下不同潜源之间的分布不均匀性,我国学者创造性提出采用地震空间分布函数 f_{i,m_j} 来反映这种不均匀性特征。将地震统计区内共划分出 N_i 个潜在震源区。

(3)根据地震发生的分段泊松分布和全概率公式,地震统计区范围内发生所有震级档的地震,对工程场点地震动参数值 A 超越给定值 a 的年超越概率为:

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\frac{2v_0}{\beta} \cdot \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_i} \iiint P(A \geq a|E) \cdot f(\theta) \cdot \frac{f_{i,m_j}}{S_i} \cdot f(m_j) \cdot Sh\left(\frac{1}{2} \beta \Delta m\right) dx dy d\theta\right\} \quad (4)$$

其中 S_i 为地震统计区内第 i 个潜在震源区的面积,潜在震源区一般为多边形。 $P(A \geq a|E)$ 为地震统计

区内第 i 个潜在震源内发生震级为 $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ 时工程场点地震动值大于 a 的概率, a 值可以为烈度或加速度值,其中 $f(\theta)$ 为指示断裂破裂方向的函数,也叫概率密度函数。

(4)当工程场点周围有 N_i 个地震统计区,则利用全概率公式得到所有地震统计区对工程场点的影响为:

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^{N_i} (1 - P_k(A \geq a)) \quad (5)$$

当前颁布的第五代地震动参数区划图是Ⅱ类场地条件下50年超越概率10%的地震动参数结果,主要包括了特征周期和峰值加速度分区图及其调整表。考虑到特征周期分区确定的复杂性,本文主要比较了研究区域峰值加速度分区的结果变化,为保持对比的一致性,采用50年超越概率10%地震动峰值加速度与50年超越概率2%地震动加速度的1/1.9倍中的较大值作为分区指标,该指标也是第五代地震动参数区划图的编图指标。

2 潜在震源区变化

按照中国第五代地震动参数区划图潜在震源区三级划分方案^[15],江苏苏北沿海地区位于长江下游—南黄海地震带,其中海域部分属于南黄海地震构造区,该构造区最大潜源为瑶沙潜源,其震级上限(M_u)为7.5级;陆域部分属于苏北地震构造区,其最大潜源为扬州、溧阳、昆山潜源(M_u 6.5)。本次研究范围内潜源位于苏北沿海的苏北地震构造区内(图1),第五代地震动参数区划图中以洪泽—沟敦断裂和盐城—南洋岸断裂划分出盐城潜源(M_u 6.0),其中盐城—南洋岸断裂形成于晚白垩纪末,该断裂控制盐城凹陷的发育,断面上陡下缓,具有生长断层性质,该断裂被认为是一条隐伏的第四纪早、中更新世断裂;以陈家堡—小海断裂划分出东台潜源(M_u 6.0),该断裂是江都隆起和高邮凹陷的分界断裂,它不但错断了盐城组地层,还局部控制了第四系沉积,是一条规模较大、活动性较强的第四纪早更新世隐伏断裂;以耕茶河断裂划分出海安潜源(M_u 6.0),该断裂是一条晚第四纪活动断裂。

根据最新资料,目前发现盐城—南洋岸断裂的延伸长度近70 km,最新盐城市活动断层探测项目结果显示,利用浅层地震和钻探揭示出盐城—南洋岸断裂最新活动时间为 Q_3 晚更新世末期,其上

层地震探测揭示该断裂在大丰以东的活动性较强,其直接错断了盐城组地层,并在局部对第四系沉积起到控制作用,因此认为陈家堡-小海断裂东段(大丰以东)的最新活动时间为晚更新世中期。

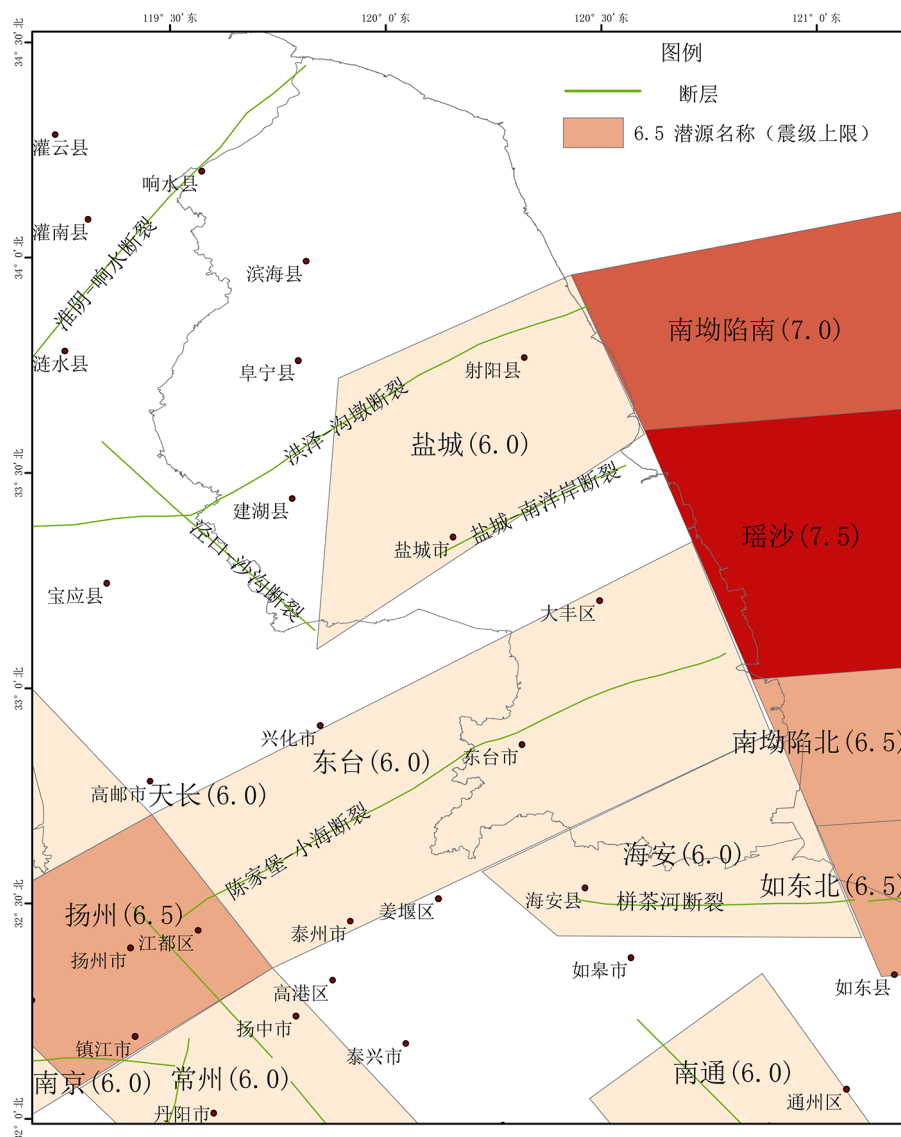


Fig.1 Distribution of potential seismic source in the fifth-generation seismic zoning map along coastal areas of northern Jiangsu Province

西划分为新的泰州潜源,其震级上限为6.0级。此外,拼茶河断裂呈近东西向分布于海安县城以东,长约40 km,倾向北,具正断性质。沿断裂重力场表现为梯级带,断裂北侧为重力低异常区,南侧为重力高异常区。重力高、低异常区分别反映了通扬隆起(断裂南侧)和海安凹陷(断裂北侧)的存在;最新拼茶河断裂活动性鉴定工作显示^[12],拼茶

河断裂最新活动时代为中更新世晚期-晚更新世早期，依据该断裂最新活动时代对海安潜源进行了震级上限调整，由 M_u 6.0 调整为 M_u 6.5，其潜源空间形态分布没有改变。

上述潜源调整是基于断裂活动最新认识获得

的，除了确定了潜源的震级上限和空间形态外，各潜源不同震级档下的地震空间分布函数也发生了变化，这里采用了最新的第一次全国地震灾害风险普查中修改后的潜源地震空间分布函数，见表1。

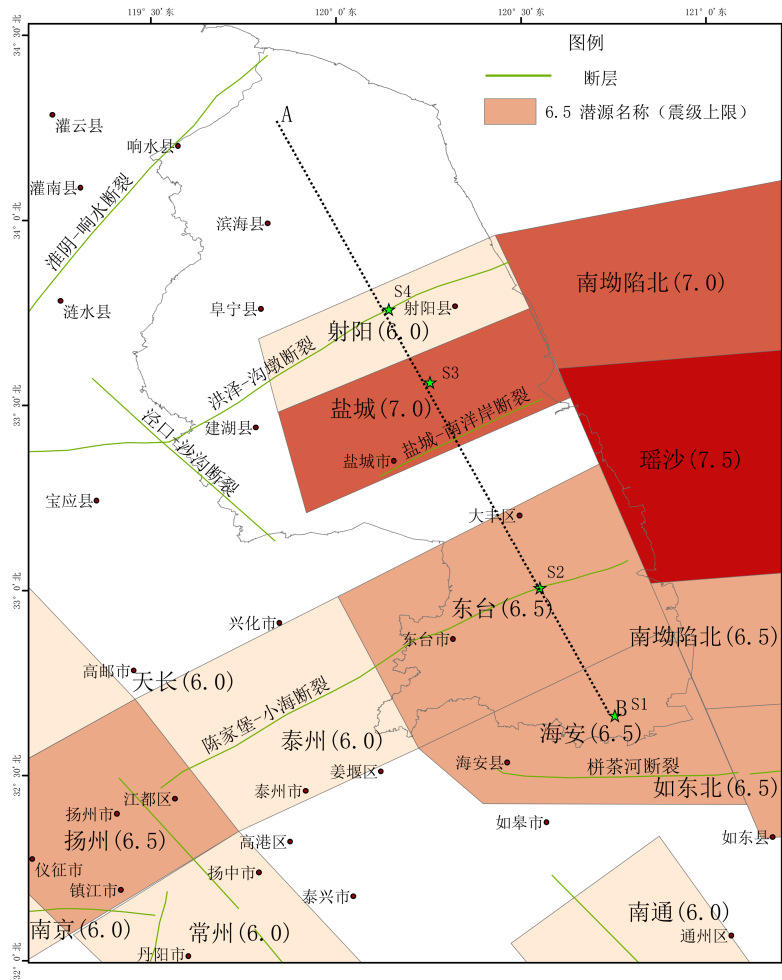


图2 苏北沿海新调整潜源分布
Fig.2 Distribution of newly ajusted potential seismic source along the coastal areas of northern Jiangsu Province

表1 调整潜源的地震空间分布函数

Table 1 Seismic spatial distribution functions of the newly ajusted potential seismic sources

潜源名称	M_{μ}	震级档						
		4 ~ 4.9	5 ~ 5.4	5.5 ~ 5.9	6 ~ 6.4	6.5 ~ 6.9	7 ~ 7.4	7.5 ~
盐城	7.0	0.007 89	0.006 82	0.025 96	0.020 84	0.017 88	0	0
东台	6.5	0.011 63	0.008 27	0.034 89	0.019 91	0	0	0
海安	6.5	0.011 84	0.007 91	0.024 25	0.018 22	0	0	0

由上述可见，苏北沿海陆域部分的潜在震源区进行了较大调整，尤其是盐城潜源震级上限从6.0级调整到7.0级，上述潜源调整范围主要位于江苏

盐城地区。这些潜源调整对江苏盐城及周边地区地震灾害风险评估、重大工程抗震设防要求以及未来新版地震动参数区划图等结果产生较大影响，因此

开展上述调整后潜源对地震危险性结果的评估工作显得十分有必要。

3 结果与讨论

采用上述地震危险性分析方法,本次潜源范围涵盖了长江下游—南黄海地震带内的所有潜源,场地衰减关系采用的是第五代地震动参数图编制时使用的东部强震衰减关系^[16],计算所采用的网格点大小为0.5',考虑到潜源调整主要位于盐城地区,本文主要计算了苏北沿海盐城地区潜源调整前后50年超越概率10%基岩地震动峰值加速度值和主要潜源场点基岩反应谱,下面从基岩峰值加速度和场点基岩反应谱以及平均场地条件下地震动参数分区结果来分析潜源变化对地震危险性结

果的影响。

3.1 基岩峰值加速度变化

为反映出潜源调整对苏北沿海区域基岩峰值加速度值的影响,从图2中沿各变化潜源切一条北西向AB剖面用于分析峰值加速度值的变化,图3a中可以看出从北部A点至南部B点,50年10%峰值加速度值随潜源距离发生了较大变化,潜源调整前剖面最大峰值加速度位于东台潜源,这是因为调整前盐城和东台潜源均为 M_u 6.0,而东台潜源距离瑶沙潜源较近造成;而调整后剖面的最大峰值加速度出现在盐城潜源,这主要是由于盐城潜源进行了大幅度震级上限调整造成的,其对剖面峰值加速度影响要比距离较远的瑶沙影响更大。

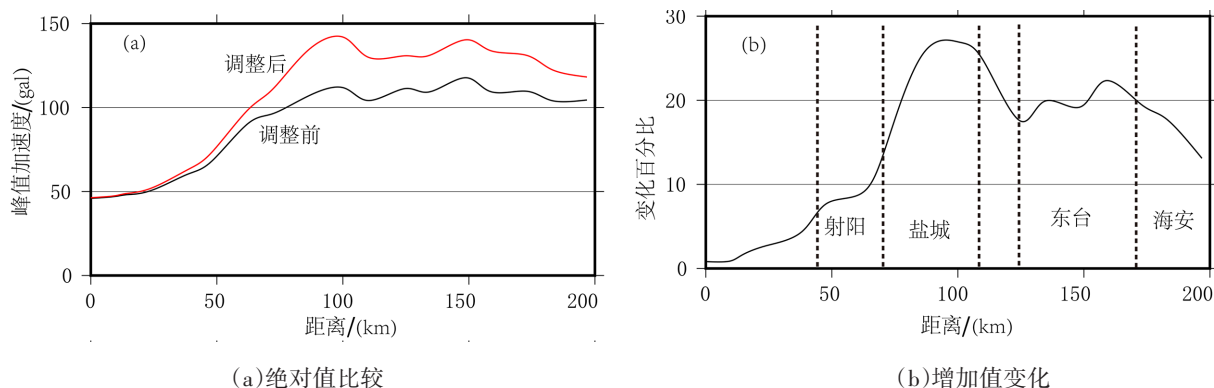


图3 潜源调整前后50年超越概率10%基岩峰值加速度值分布
Fig.3 Distribution of peak ground acceleration of bedrock with an exceedance probability of 10% within 50 years before and after potential seismic source adjustment

图3b是调整后相对于调整前峰值加速度的增量变化,距离A点50 km范围内峰值加速度变化较小,其变化量在1%~7%之间;进入射阳潜源范围后,其增加量变化在7~12%之间;进入盐城 M_u 7.0级潜源后,峰值加速度值快速增加至剖面最大值,其变化量达到27%,然后至东台潜源变化量在19%~22%之间,之后下降至海安潜源的13%。从图3中可以看出,此次潜源调整对基岩峰值加速度值影响是盐城潜源最大,随后东台潜源,然后是海安潜源。

3.2 场点基岩反应谱变化

剖面中选取四个经过调整后潜源的场点,计算了三个超越概率下基岩反应谱。

从四个场点三个概率反应谱形态变化趋势分布来看(图4),潜源调整后,位于海安潜源处的S1场点三个概率下基岩反应谱增幅是逐渐增加的(图

4a),位于东台潜源的S2场点三个概率下基岩反应谱增幅则是逐渐减小的,而处于盐城潜源的S3场点三个概率下基岩反应谱增幅又与S1场点相似也是增加的,位于射阳潜源S4场点三个概率下基岩反应谱增幅又与S2场点相似是逐渐减小的。海安潜源处S1场点与盐城潜源处S3场点三个概率下反应谱增幅是增加的,这可能主要是由场点所在潜源在三个概率中占比逐渐增加且占主要贡献造成,而东台潜源处S2场点与射阳潜源处S4两个场点下三个概率下反应谱增幅逐渐减小则是三个概率反应谱主要受到周边区域潜源影响造成。从整体反应谱变化来看,四个场地反应谱中增幅最大为盐城潜源处S3场点,反应谱增幅最小为射阳潜源处S4场点。由此可以看出此次潜源调整不仅对不同位置反应谱产生变化,还对同一场点下不同超越概率下反应谱发生变化。

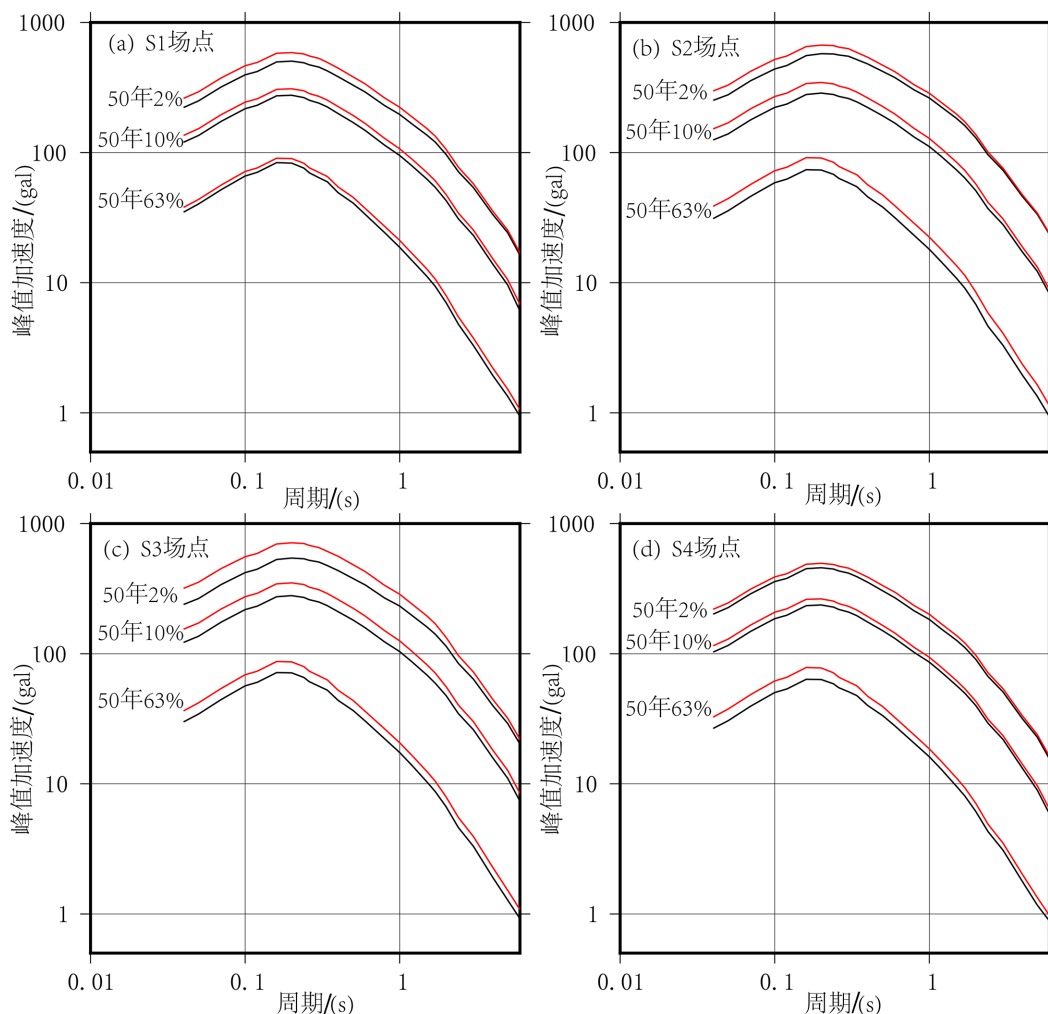


图4 潜源调整前后50年超越概率63%、10%、2%基岩反应谱分布
Fig.4 Distribution of bedrock response spectra with exceedance probabilities of 63%, 10%, and 2% within 50 years before and after potential seismic source adjustment

从50年10%基岩峰值加速度时的主要潜源贡献来看(图5), S1场点中海安潜源对基岩峰值0 s时贡献由49.4%提升到57.2%, 而瑶沙潜源则由29.5%降低到21.4%, 长周期(3 s)时海安潜源贡献从9.6%提升到18.2%, 尽管震级上限增加, 在长周期部分依旧以瑶沙潜源为主。S2场点与瑶沙潜源距离更近, 其不仅影响长周期峰值加速度值影响, 对0 s处峰值加速度值影响也很大, S3场点位于盐城潜源, 其由 M_u 6.0增加到 M_u 7.0使得0 s峰值贡献率由40.6提升到60.3, 占主要贡献, 但长周期部分依旧是瑶沙潜源占主要贡献, 而S4场点位于射阳潜源, 其峰值加速度0 s处则由原潜源占主要贡献变成射阳、盐城、瑶沙潜源等较均匀分布的贡献。总的来看, 苏北沿海潜源的调整对于峰值加速度0 s处的主要潜源贡献改变较大, 而对于长周期部分改变较小, 该区域依旧主要受到大震

级的瑶沙潜源影响。

3.3 平均场地结果变化

第五代地震动参数区划图将50年超越概率10%地震动峰值加速度与50年超越概率2%地震动加速度的1/1.9倍中的较大值作为编图指标, 其反映的是平均场地也即Ⅱ类场地条件下的基本地震动参数(也即50年超越概率10%)^[15-17]。根据已计算的苏北沿海盐城地区的50年超越概率10%下的基岩地震动加速度, 该基岩峰值加速度对应表2地震动区划图场地类别中的 I_1 类场地; 利用表2进行分段插值得到50年超越概率10%和2%的转换系数, 然后得到一般场地条件下的相应峰值加速度, 并按照编图指标取较大值作为一般场地条件下基本地震动。

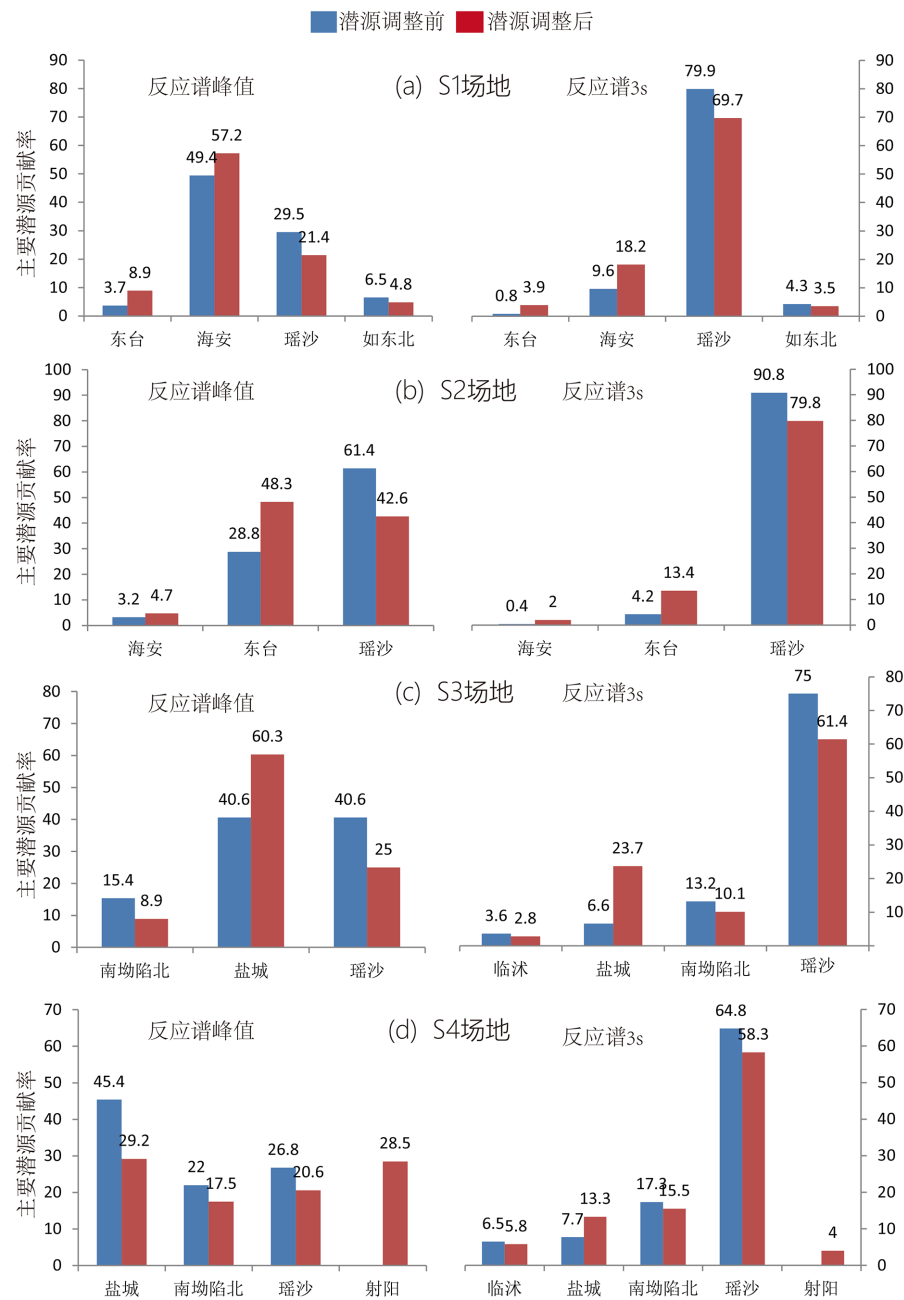


图5 场点50年10%下基岩峰值与长周期下主要潜源贡献

Fig.5 Contribution of major potential seismic sources to bedrock peak acceleration of four sits with an exceedance probability of 10% within 50 years and in long term

表2 基于I₁类场地影响系数取值^[15]

Table 2 Influence coefficient value based on class I₁ site ^[15]

场地类别	Ⅱ类场地地震动峰值加速度分区值/g					
	≤0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	≥0.40
I ₀	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
I ₁	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ⅱ	1.25	1.22	1.20	1.18	1.05	1.00
Ⅲ	1.63	1.53	1.38	1.18	1.05	1.00
Ⅳ	1.56	1.46	1.33	1.18	1.00	0.90

表 3 地震动峰值加速度分区的峰值加速度范围^[15]
Table 3 Peak acceleration range of peak ground acceleration zoning^[15]

加速度分区值/g	参数值范围/g
0.05	$0.04 \leq \alpha_{\max} < 0.09$
0.10	$0.09 \leq \alpha_{\max} < 0.14$
0.15	$0.14 \leq \alpha_{\max} < 0.19$
0.20	$0.19 \leq \alpha_{\max} < 0.28$
0.30	$0.28 \leq \alpha_{\max} < 0.38$
0.40	$0.38 \leq \alpha_{\max} < 0.75$

获得平均场地条件下的峰值加速度后，利用表3中峰值加速度范围对其进行峰值加速度分区，

得到研究区域平均场地条件下的地震动加速度分区范围图6。叠加第五代地震动参数区划图中地震动参数分区线后^[10]，可以看出本次潜源调整对当前使用的区划图有一定的调整。从图6中可以看出，整个苏北沿海盐城地区平均场地条件下地震动参数分区有两处变化较大，分别是盐城城区由0.10 g进入到0.15 g，建湖城区由0.05 g进入到0.10 g，除少数区域出现地震动峰值加速度分区增加外，其余城市城区地震动分区均没有发生变化。由此可见，本次苏北沿海潜源的调整中，由于盐城潜源震级上限由6.0级调整到7.0级，直接导致了潜源及其附近的地震动参数分区的跨区递增，而东台、海安潜源调整对平均场地地震动参数分区影响较小。

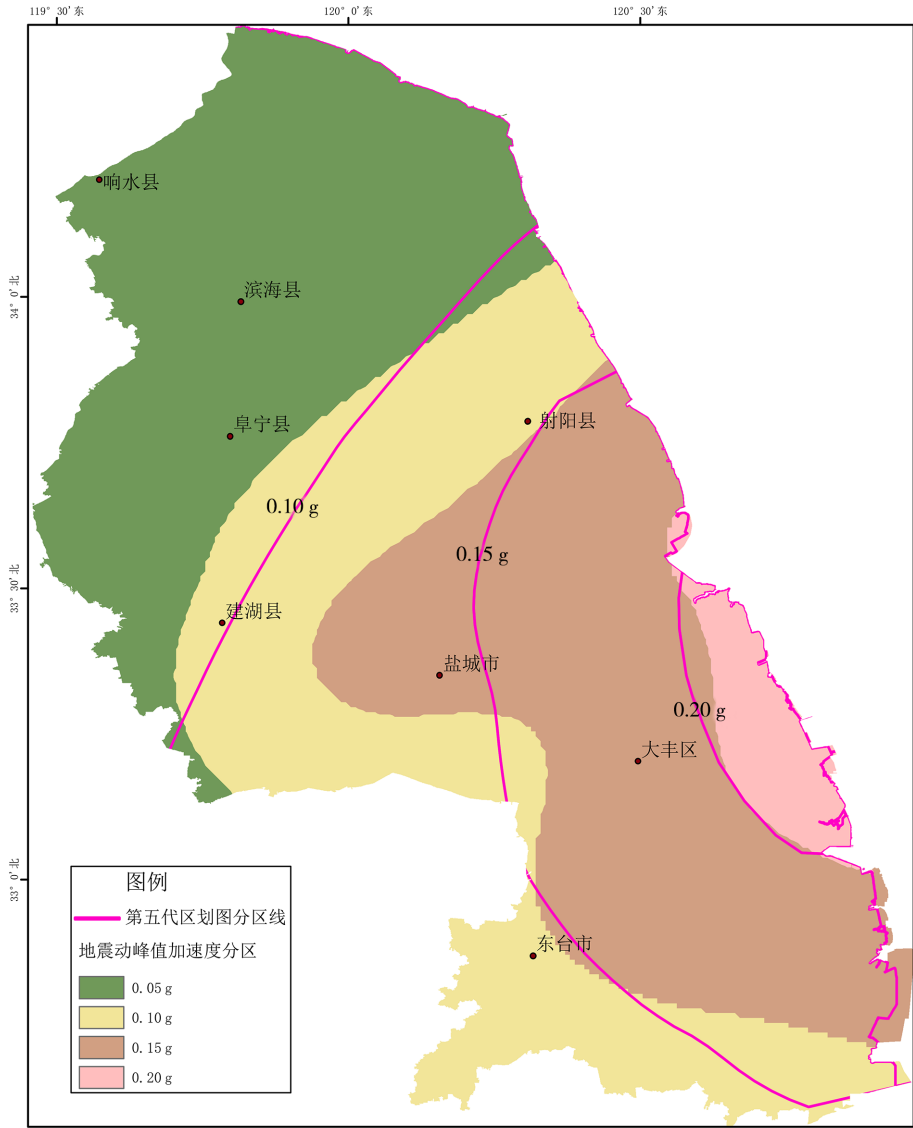


图 6 苏北沿海区域平均场地地震动峰值加速度分区
Fig.6 Peak ground acceleration zoning under average site conditions in coastal areas of northern Jiangsu Province

4 结论

近年来,随着调查研究的深入,江苏省在苏北沿海地区的潜源进行了较大幅度调整,本文采用地震危险性分析方法计算了盐城地区的基岩地震动参数,从基岩峰值加速度、场地反应谱、平均场地条件下的基本地震动参数分区几个方面分析了苏北沿海地区潜源变化对地震危险性产生的影响,主要有以下结论:

(1)从横穿盐城地区的剖面来看,潜源调整后在潜源区域的峰值加速度值有明显增加,其最大增幅达到27%,主要位于调整后的新盐城潜源;其次为东台潜源,其峰值加速度增幅最大为22%,然后是海安潜源。

(2)苏北沿海潜源的调整对于基岩峰值加速度值下主要潜源贡献改变较大,而对于反应谱长周期部分改变较小,其长周期部分依旧主要受到高震级瑶沙潜源影响。

(3)与第五代地震动参数区划图分区相比,调整后的潜源对苏北沿海盐城地区有较大的变化,特别是盐城城区由原0.10 g调整到0.15 g,建湖城区由0.05 g调整到0.10 g,其余城区没有变化。

参考文献:

- [1] 胥广银. 地震危险性分析方法的回顾[J]. 国际地震动态, 1995(8):26-30.
- [2] 胡聿贤. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京:地震出版社, 1999.
- [3] 张萌,潘华. 一种新的地震危险性表达方法研究[J]. 地震学报, 2022, 44(6):1099-1110.
- [4] 肖和平,陈学良,高孟潭. 湖南省抗倒塌地震区划图预编试验的潜在震源区划分原则[J]. 震灾防御技术, 2012, 7(1):12-25.
- [5] 潘华,鄢家全. 潜在震源区概念的界定[J]. 国际地震动态, 1995(9):1-5.
- [6] 徐锡伟. 活动断层、地震灾害与减灾对策问题[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(1):7-14.
- [7] 张大莲,张平,李向前,等. 江苏沿海地区小波多尺度重力场特征与构造活动性分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(2):186-191.
- [8] 江苏省地震工程研究院. 江苏省1:250 000地震构造图编制报告[R]. 南京:江苏省地震工程研究院, 2022.
- [9] 冯蓉生,林叶青,王九祥,等. 淮阴一响水断裂淮安市区段定位初探[J]. 防灾减灾工程学报, 2002, 22(3):30-35.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. 中国地震动参数区划图: GB 18306-2015[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [11] 应急管理部国家自然灾害防治研究院. 盐城市活动断层探测与地震危险性评价报告[R]. 北京:应急管理部国家自然灾害防治研究院, 2021.
- [12] 顾勤平,许汉刚,张振亚,等. 拼茶河断裂第四纪活动性最新研究[J]. 国际地震动态, 2017, 462(06):9-11.
- [13] Cornell C A. Engineering seismic risk analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1968(58):1583-1606.
- [14] 胡聿贤. 地震工程学[M]. 北京:地震出版社, 2006.
- [15] 高孟潭. GB18306-2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京:中国质检出版社, 2015.
- [16] 俞言祥,李山有,肖亮. 为新区划图编制所建立的地震动衰减关系[J]. 震灾防御技术, 2013, 8(1):24-33.
- [17] 闻满华. 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, 2017, 40(2):257-263+334..