

中国地震局地震科学联合基金会
上海市地震局 联合资助

上海附近海域的 地震研究和滨海地震学

林命週 等 编著

地震出版社

中国地震局地震科学联合基金会、上海市地震局联合资助

上海附近海域的 地震研究和滨海地震学

林命週 等 编著

地震出版社

Seismic Research of Sea Area Near Shanghai and Offshore Seismology

Edited by Lin Mingzhou et al.

Seismological Press

图书在版编目 (CIP) 数据

上海附近海域的地震研究和滨海地震学/林命週等编著. —北京:
地震出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-5028-3493-7

I. 上… II. 林… III. 海域-地震-研究-上海市 IV. P316.251

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 009715 号

地震版 XT200400091

上海附近海域的地震研究和滨海地震学

林命週 等 编著

责任编辑: 宋炳忠 樊 钰

责任校对: 李 珩

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

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 327 千字

印张: 12.75

印数: 001 ~ 500

书号: ISBN 978-7-5028-3493-7/P (4114)

定价: 38.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

《上海附近海域的地震研究和滨海地震学》

编委会

主 编	林 命 週		
副主编	徐 永 林	章 纯	吕 恒 俭
编 委	汪 育 新	蒋 淳	汪 江 田
	李 于 民	李 起 彤	谢 富 华
	陈 奇	熊 丹	陈 乃 其
	包 军 强		

序

回顾 20 世纪七八十年代——唐山地震时代，对于唐山地震的预测，震级显著偏低。即使在唐山地震后的回溯性预测研究中，仍难以将其震级匹配得预报到位。今日我们认识到，从大地震活动空间特征着眼，地球浅表层覆盖的海水，对于深部大地震的活动空间图像，并无特别重要影响。分析唐山地震，若能纵览其东南广袤的海域，从大尺度的视野，则对其震级预测可以到位（参见《唐山地震 30 周年天津地震局论文集》，2006 年，p. 9~13）。

20 世纪 90 年代，中国地震学会于 1993 年 12 月 15~17 日在海南三亚召开“中国近海地震研讨会”。会议促使人们关注我国东部、东南部滨海环形强震活动带。事后确实发生了如会议纪要中所指出的闽粤交界近海（1994 年 9 月 16 日 7.3 级）、桂粤琼交界近海（1994 年 12 月 31 日 6.1 级和 1995 年 1 月 10 日 6.2 级）、南黄海上海近海（1996 年 11 月 9 日 6.1 级）等一系列强震（参见《中国地震学会会讯》1993.3, No. 14, p. 26）。我国东部包括滨海强震带在内的环形强震构造带，在历史上有多次活动，特别是 17 世纪初以泉州 8 级大震为代表的活动高潮。从而表明我国东部地震与其海域地震的密切关系（参见《大地测量与地球动力学》，2005.2, 25（1），p. 1~5）。

我国近海地区是广袤的大陆架，离海岸线延伸很远，可达千百公里。越过大陆架，海底地貌才发生显著变化，进入深海域。以海水为界的海岸线在地层深部并无特别重要的构造物理意义。如上所述，就强震的活动而言，滨海地区（包括滨海陆区与海区）地震活动的特征融为一体，并不因为浅表有无海水，震情就有变化。1985 年 9 月 19 日墨西哥近海 8.1 级大地震使墨西哥城遭受巨大损失。1995 年 1 月 7 日日本阪神 7.2 级地震，大阪、神户损失惨重。这些都是灾情突出的现代滨海地震。

我国是一个海洋大国，从北到南有渤海、黄海、东海和南海，拥有 6500 多个岛屿，18000km 大陆海岸线，14000km 岛屿海岸线，海岸线总和长达 32000km。滨海、三角洲地区，人口密集，高楼林立，历来就是我国的经济要地。改革开放以来经济高速增长，近海拥有丰富的油气资源，开发前景诱人。海底输气管线，深水港口，修建人工半岛或人工岛，跨海大桥、海底隧道，诸多涉及海域的重大工程建设的防震抗震设计对策必须先行。

改革开放以来，作为滨海城市的上海成为一个国内经济地位举足轻重、国

外一致看好、经济蓬勃发展的世界金融中心之一。但是，上海邻近海域位于环太平洋地震带西部，时有（中）强震发生。上海有着滨海城市的一切特点，滨海附近发生的地震影响较大；上海地处冲积平原，地表有软土覆盖层，类似墨西哥城遭受的破坏值得借鉴重视。

林命邇教授长期关注滨海地震，在开展“上海及其邻近海域滨海地震学研究一期工程”实践中与同仁们获得了诸多新成果。本著作首次将上海地区的地震研究纳入了滨海地震学的视野，为我国地震研究推向海洋领域作出了贡献。

许绍燮

2007. 7. 24

前 言

21 世纪是海洋世纪，世界已进入全面开发利用海洋的新时期。海洋、空间和生物工程技术是当今世界上的三大高新技术。对于人类面临的人口、资源、环境三大问题，依靠科学技术合理开发海洋是解决这些问题的重要出路之一。这也是各国有识之士都已意识到的事情。因为随着陆地资源的持续开采，资源在不断减少，但与此同时人类不断地开发着新技术，已有足够的能力向海洋进军，向海洋索取资源，21 世纪正处在这样的背景下，人们理所当然地将目光转向了海洋，将海洋问题作为了重点议题。

地球科学的飞速发展，促使人们把大陆和海洋作为一个统一的整体（统一的固体地球）来研究，其目的一方面是收集并积累海底深部的多种信息，监视其变化及活动，阐明地震发生机制，进行海域地震危险性评价，捕捉地震前兆现象，提高海底地震预测水平；另一方面是要阐明地壳、地幔、地球内部的结构状态、演化历史、构造运动及其反应，以便为陆地和海洋的国防建设、矿产资源预测与开发、海岸防护、港口建设等提供科学依据和基本资料，既为地震预测服务，同时又反过来推进地球科学的许多学科，诸如地球物理、地质、地球化学等基础理论的发展。其中，海洋地球物理探测由于其在军事和海洋石油资源开发等方面的需求，早就被各海洋大国所重视。特别是随着陆上资源逐渐匮乏，各有关海洋国家纷纷加大了对海洋资源的探测、占有与开发力度。根据 1982 年《联合国国际海洋法公约》，海洋边界划分的地学依据是沿海国陆地自然延伸到大陆边外缘的海底区域的海床和底土，因此主要以大陆架及其延伸为基本内容的海域地质构造探测，成为各个海洋国家的紧迫任务。20 世纪 80 年代，各有关经济强国，如日本、美国等开始以海域天然地震为震源，通过沿海密集的地震观测网，来获取穿过海底地壳的地震波，用以了解海底构造和研究板块运动。近些年，地球科学计划层出不穷，占地球面积 $2/3$ 的海洋观测成为热点之一。全球海洋地震观测网络成为地震观测的必然发展趋势，如以地震观测为主要内容的国际洋底观测网（ION）于 1993 年建立，促进了海洋观测的国际合作，并于 1995 年扩展到地质界，2001 年扩展到海洋界。国际上不少国家已在这些方面取得了相当进展。

我国不仅是个大陆国家，而且是一个海洋大国。从海洋看，我国从北到南

有渤海、黄海、东海和南海，拥有 18000km 大陆岸线，6500 多个岛屿，14000km 岛屿海岸线，海岸线总和长达 32000km；我国近海水深 200m 范围内，至少有 22 亿亩待开发的滨海海域，在面积达 300 万 km^2 的我国管辖海域，到 1997 年为止已查明分布着大、中型含油气盆地 15 个，迄今还不断有新发现传出。在有着丰富油气资源、开发前景诱人的地区，油气总资源量预计在 365 亿 t 以上。改革开放以来，作为滨海城市的上海及邻近地区，高楼林立，工农业、商业贸易飞速发展，上海已成为一个国内经济地位举足轻重、国外一致看好、经济蓬勃发展的世界金融中心之一；上海周边省市本身是一个经济发达地区，改革开放使之一日千里，它们和上海的产值在我国国民经济中占有极高的比例。但是，我国海域位于环太平洋地震带西部，欧亚板块和菲律宾海板块的结合部，地震活动频繁、强烈。因此，为了确保我国东部地区，尤其是沿海地区经济的持续稳定发展，“滨海地震”工作必须尽快上马，给经济发展高潮提供防震减灾保障。况且上海有着滨海城市的一切特点，如：受海域，尤其是滨海附近发生的地震影响较大；另外，上海地处冲积平原，地表有一层很厚的软土覆盖层，它的地震动响应对其构筑物的影响巨大。1985 年墨西哥大地震，尽管震中距墨西哥城有 400 多千米，但由于其地处软土覆盖层，经软土覆盖层放大后的地震动，使墨西哥城遭受了毁灭性破坏，这是有软土覆盖层城市遭受地震破坏的一个典型例子；日本阪神地震造成大阪严重破坏和损失又是一例。因此，探讨上海附近海域的介质特性，地震震源参数，滨海区域与陆地之间地壳、震源存在的差异，特定地区潜在中强地震并对其进行地震时程预测，软土覆盖层的地震动放大效应及其对构筑物的影响等，其重要性不言而喻。在这样的形势下，上海市地震局于 1994~1995 年间正式开始了滨海地震研究的准备工作。事实上，早在 20 世纪 70 年代，建制在上海的海洋地质调查队就曾邀请作者等人，咨询过关于在南黄海和东海近海海域开展海底地震观测可行性的问题，可见对滨海地区地震的关注，早已大有人在。

在科学上，“滨海地震学”研究在我国始于 20 世纪 80 年代中期。90 年代以来，海洋地震的研究引起了国内有关学术部门的关注，1991 年中国地震学会在海南省海口市举行的第三届地震学专业委员会会议上有人倡议设立海洋地震学小组；两年后由中国地震学会地震学专业委员会，地震地质、地壳深部探测、地震科技情报委员会，中国地震局科技监测处和海南省地震局于 1993 年 9 月在海南省三亚市联合召开了“中国近海地震学研讨会”，会上就中国近海地震研究提出了专家建议。海南省地震局于 1992 年成立了海洋地震研究所，但遗憾的是该所在机构改革中被取消了。作为正式的有相当规模的立项研究，上海市地震局开展的“上海及其邻近海域滨海地震学研究一期工程”尚属首次，可以说是我国第一次正式把陆上的地震研究推向海洋领域的初步尝试，课题编制的长远

研究规划也可以认为是我国地震工作者首次试图全面地向滨海-海洋地震进军的设想。本书以上海市地震局于1997年开展的“滨海地震学研究一期工程”的部分内容以根据，并补充不少新内容改写而成，可以说是我国第一部专门论述滨海-海洋地震学的著作。在成稿过程中郭增建研究员、周公威研究员和冉从容高级工程师应作者之邀寄来了各自的大作：海域地震区划研究、海洋半球台网计划（OHP）与海底地震观测系统的发展和个人课题研究中未公开发表的资料，上海市地震局的方国庆先生向作者提供了申报有关海洋地震观测课题的“项目建议书”，他们十分友好地同意作者任意使用他们提供的素材，为此我们在本书第一章、第四章、第五章中按原件以一字不改，仅作连接处理的方式进行了有关内容的转引，以示尊重。另外，卢振恒、宋治平提供了某些参考文稿。参与一期工程课题研究的除本书的一些编委外，还有刘文龙、罗伟、门可佩、梅洪明、何建树、何淑韵；参与课题研究部分资料翻译的有赵志光、刘峥、何建树、肖志江、姚立珣，虞雪君、钟羽云、余俊和、谢健健；冉从容、黄福林、张训华等人还为课题研究提供了图件和少量文稿）。

本书之雏形“滨海地震学研究一期工程课题报告”一套曾寄于地震界的老前辈梅世蓉教授，梅先生的复函中提及：“你们已经在滨海地震学的研究方面走出了可喜的第一步，为今后的发展已经奠定了一个良好的基础……”正是这样深切的鼓励，使作者鼓起勇气编著了本书。

在写作过程中，许绍燮院士、陈运泰院士、丁国瑜院士、张奕麟教授级高级工程师、郭增建研究员、朱传镇研究员、冯德益研究员、琴朝智研究员等老一辈专家给予了作者指导和具体帮助。原上海市地震局情报资料室的段华琛同志提供了某些信息，汪育新女士承担了全书的打印、修改、制图和电脑处理工作，黄佩女士为本书清绘了不少底图，上海市地震局原局长火恩杰研究员不仅关心本书的出版，还特批了部分出版经费，中国地震局地震科学联合基金会资助了另一部分出版经费。显见地震界的各方同仁都在时刻关心着本书的出版，因此在一定程度上可以说本书的出版是集体智慧和劳动的结晶，没有上述那些提名的以及许多未提及的同仁的关心和支持，断无此作。在此谨向上述各位及所有关心本书、给本书的编写和出版提供过帮助的同志、向本书所引用文献的作者致以最深切的谢意。

作者才疏学浅，所述或有不妥，恳请各方同仁斧正，特别是引用的文献如有不当或遗漏，恭请各方及时告知，以容纠正。

愿地震界众多前辈和我们一起对滨海-海洋地震进行深入研究，并取得丰硕成果的共同愿望早日成真！

目 录

第一章 概论	1
第二章 上海附近海域地质构造和地震活动背景	7
第一节 苏北南黄海基础地质研究	7
1. 苏北南黄海构造区划	7
2. 苏北南黄海地震活动特点	8
3. 苏北南黄海盆地地质构造特征	9
4. 盆地海陆部分地震活动差异原因分析	14
第二节 上海附近及海域新构造运动	19
1. 地震构造背景	19
2. 新构造运动的表现	20
3. 新构造分区	23
4. 新构造运动的特点	23
5. 新构造运动与地震活动的关系	24
第三节 苏北滨海断裂查证与评价	25
1. 苏北滨海断裂存在依据	26
2. 苏北滨海断裂活动性评价	28
3. 苏北滨海断裂构造意义	30
第三章 上海附近海域的地震活动	32
第一节 上海附近海域地震资料评估和 1505 年地震的再定位与命名	32
1. 上海附近海域地震资料评估	32
2. 1505 年地震的再定位与命名	46
第二节 日本海沟 (含部分千岛海沟)、琉球与台湾等地区的地震与 上海附近海域地震的关系	54
1. 日本地震概况	54
2. 日本海沟 (含部分千岛海沟) 地震与上海附近海域地震的关系研究	59
3. 日本海沟和部分千岛海沟地区与中国大华北地区地震活动的关系	65
4. 日本琉球地区与中国华东地区地震关系的研究结果	66
5. 日本海沟 (含部分千岛海沟) 地震与上海附近海域地震关系 研究的其他结果	67
6. 台湾地区地震与上海附近海域地震的关系	76
7. 不同海域地区地震之间关系的可能解释	77

第三节	上海附近海域地震的震源参数和介质参数	77
1.	小震震源参数和介质参数	77
2.	中强地震的震源参数	84
第四章	海域地震的若干工程问题	95
第一节	上海附近海域的烈度区划	95
第二节	近海中强地震的仿真合成	100
1.	用半经验格林函数法合成中强地震的地震动	100
2.	用相位谱和目标反应谱方法合成中强地震的地震动	105
第三节	上海沿海地区软土层的地震波反应	114
1.	表层软土 S 波的地震动反应	115
2.	细砂层 S 波的地震动反应	118
3.	整个软土层 S 波的地震动反应	118
4.	软土覆盖层地震动反应的意义及其影响	122
第四节	软土覆盖层地震面波的地震动反应及台湾 M_{s8} 地震对 上海高层建筑影响的估计	122
1.	软土覆盖层对地震动面波的放大作用	123
2.	软土覆盖层中地震面波频谱分析	125
3.	台湾 M_{s8} 地震对上海高层建筑影响的估计	127
第五章	海底地震观测和滨海-海洋地震学	133
第一节	海底地震观测方式	133
1.	海底地震仪	133
2.	海底地震观测方式	136
第二节	海底地震观测现状	137
1.	国际海洋地震台网 (OSN)	137
2.	日本海底地震观测概况	139
3.	美国海底地震仪的研制、实验和研究项目	154
4.	俄罗斯 (含苏联) 和其他国家 (法国、希腊等) 的海底地震观测和研究	161
5.	中国的海底地震观测研究	168
第三节	海底地震观测展望	177
1.	日本对未来海底地震观测研究的设想	177
2.	美国 21 世纪地球科学计划——观测研究太平洋与北美板块边界带	178
3.	关于发展我国海底地震观测的建议和设想	179
第四节	滨海-海洋地震学	180
1.	滨海-海洋地震学的含义、研究简史、现状和展望	180
2.	上海市对滨海-海洋地震学研究的设想	182
后 记		187

Content

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Geologic structure of sea area and seismic activity	
background near Shanghai	7
Section 1 Basic geology study of North Jiangsu and South Yellow Sea	7
1. Tectonic zoning of North Jiangsu and South Yellow Sea	7
2. Characteristics of seismic activity in North Jiangsu and South Yellow Sea	8
3. Features of basin geological structure in North Jiangsu and South Yellow Sea	9
4. Analysis of the differences of some seismic activities between basin land and sea	14
Section 2 New tectonic movement of sea area near Shanghai	19
1. Seismic tectonic background	19
2. Representation of new tectonic movement	20
3. New tectonic zoning	23
4. Characteristics of new tectonic movement	23
5. Relation between new tectonic movement and seismic activity	24
Section 3 Fracture examination and evaluation in coast of North Jiangsu	25
1. Gist of fracture existence in coast of North Jiangsu	26
2. Evaluation of fracture activity in coast of North Jiangsu	28
3. Significance of fracture tectonic in coast of North Jiangsu	30
Chapter 3 Seismic activity of sea area near Shanghai	32
Section 1 Seismic data evaluation of sea area near Shanghai and relocation and renaming of the earthquake in 1505	32
1. Seismic data evaluation of sea area near Shanghai	32
2. Relocating and renaming of the earthquake in 1505	46
Section 2 Relation between Japan trench (including part of Kuril trench), Ryukyn, China Taiwan Region earthquakes and sea area earthquakes near Shanghai	54
1. General situation of Japan earthquakes	54
2. Study on relation between Japan trench (including part of Kuril trench) earthquakes and sea area earthquakes near Shanghai	59
3. Relation between Japan trench (part of Kuril trench) and seismic	

activity in North China region	65
4. Research result on earthquake relation between Japan Ryukyu region and East China region	66
5. Other research results on relation between Japan trench (including part of Kuril trench) earthquakes and sea area earthquakes near Shanghai	67
6. Relation between earthquakes in Taiwan and sea area earthquakes near Shanghai	76
7. Possible explanation of relation between different sea area earthquakes	77
Section 3 Seismic source parameters and medium parameters of sea area earthquake near Shanghai	77
1. Seismic source parameters and medium parameters of small earthquakes	77
2. Seismic source parameters of moderate-to-strong earthquakes	84
Chapter 4 Several projects problems of sea area earthquakes	95
Section 1 Intensity zoning of sea area near Shanghai	95
Section 2 Emulation composition of offshore moderate-to-strong earthquakes	100
1. Compositing earthquake motion of moderate-to-strong earthquakes using semi-empirical green function method	100
2. Compositing earthquake motion of moderate-to-strong earthquakes using phase spectrum and objective response spectrum	105
Section 3 Seismic wave response of soft soil layer along Shanghai sea	114
1. Seismic motion response of S wave in surface layer	115
2. Seismic motion response of S wave in fine sand layer	118
3. Seismic motion response of S wave in whole soft layer	118
4. Significance of seismic motion response in soft soil layer and its influence	122
Section 4 Seismic motion response of surface wave in soft soil covering layer and estimation of influence of Taiwan M_s8 earthquake on Shanghai high buildings	122
1. Amplified effect of soft soil covering layer to seismic motion surface wave	123
2. Spectrum analysis of seismic surface wave in soft soil covering layer	125
3. Estimation of influence of Taiwan M_s 8 earthquake on Shanghai high buildings	127
Chapter 5 Submarine seismologic observation and coast-marine seismology	133
Section 1 Submarine seismologic observation method	133
1. Submarine seismograph	133
2. Submarine seismologic observation method	136
Section 2 Present situation for submarine seismologic observation	137
1. International ocean seismic network stations	137
2. General situation for Japan submarine seismologic observation	139
3. Experiment of American submarine seismograph and research projects	154

4. Submarine seismologic observation and research of Russia (former Soviet Union) and other countries (France, Greece, etc.)	161
5. Submarine seismologic observation for China	168
Section 3 Expectation for submarine seismologic observation	177
1. Assumption for Japan to future marine earthquake research	177
2. American earth science plan for the 21th century	178
3. Suggestion and assumption on developing submarine seismologic observation of our country	179
Section 4 Coast-marine seismology	180
1. Meaning of coast-marine seismology, brief history, present situation and expectation	180
2. Assumption of study of Shanghai to coast-marine seismology	182
Backword	187

第一章 概 论

顾名思义,“滨海”是大陆附近,其地域包括沿海的陆地部分和海域部分,即海陆交界处向海、陆两侧适当扩展的某些地域。“滨海地震学”就是研究这一地域中地震问题的一个地震学分支。当然,对于陆上部分的研究内容和研究方法与传统的地震学并无二致,而对海上部分,尽管只是浅海,却涉及到目前正在蓬勃兴起的海洋地震学。前者并无新意,后者却是一个新的研究方向。尤其是我国,以前对海洋的研究明显不如陆地,因此从陆向海的过程中先研究其过渡地带——有陆有海的“滨海”,毫无疑问是任何人都自然而然会想出来的,这不仅是因为研究了这一地域的地震问题可以为真正的海洋地震研究积累经验,还因为“滨海”毕竟是走向海洋的第一步,是海陆两栖的状态,研究“滨海”必须思考并借鉴海洋。因此广义上讲,严格意义下的“滨海地震学”应是“滨海-海洋地震学”。事实上,关于“滨海地震学”的问题在我国地震界早有提及,许绍燮院士和梅世蓉教授在 20 世纪 80 年代就有论述,郭增建教授实际上早已开展了这方面的探索。20 世纪 80 年代中期,中国科学院地球物理研究所等单位先后研制出 HS1 浅海(200 m)和 HS2 深海(2000 m)数字记录海底地震仪,并于 90 年代以改进型 HS3 进行过多次海底地震观测试验^[1]。上海市地震局也在同期作过早期的海底地震仪可行方案试验,不过这是后话,将在本书第五章展开。

上海地处我国东海之滨,是实实在在的滨海地区,研究上海地区的地震问题是货真价实的“滨海地震学”课题,从这个意义上讲在上海开展的任何与地震有关的工作都可纳入广义的“滨海地震学”范畴,足见上海关注并开发“滨海地震学”研究是有意无意都会涉及的非常自然的顺理成章的科学思路,这是在上海地区从事地震工作的任何一个人都会想到的。不过本书要介绍的是上海在有意识觉察到这个问题后有针对性地开展的一些工作,我们且把它理解为狭义的“滨海地震学”;另外,为什么恰恰在 20 世纪末才提出这一问题,并在现在整理上海在“滨海地震”研究方面取得的成果以形成本书仍有其客观原因,这些就是我们要在概论中阐述的主要内容(至于上海市地震局在狭义的“滨海地震”研究中取得的主要成果和今后的构想,将会在本书第二章起逐一介绍)。

上海及其附近地区,历史上曾被视为少震弱震区。进入 20 世纪 70 年代以后,地震频度和强度却有所提高,先后发生了 1971 年 12 月 30 日长江口 4.9 级地震,上海东部局部有感;1974 年 4 月 22 日溧阳 5.5 级地震,上海西部有感;1975 年 9 月 2 日南黄海 5.3 级地震,上海北部有感;1979 年 7 月 9 日溧阳 6.0 级地震,上海大范围有感;1984 年 5 月 21 日南黄海 6.2 级地震,上海普遍强烈有感,崇明边缘有少许破坏;1990 年 2 月 10 日常熟太仓 5.1 级地震,上海普遍强烈有感,嘉定有一定破坏;1996 年 11 月 9 日长江口以东海域 6.1 级地震,上海普遍强烈有感。研究表明,苏鲁交界南黄海一带 20 世纪来和 21 世纪地震活动较为活跃,除 1996 年 11 月 9 日长江口以东海域发生 6.1 级地震外,1997 年 7 月 28 日盐城以东海域又发生了 5.1 级地震,不出一个星期在当年 8 月 3 日崇明以东的长江口发生了 3.9 级地震,8 月 9 日在“11.9”6.1 级地震以东 200 km 处发生了 3.6 级地震,次日即 8 月 10 日又在南黄海勿南沙发生了 2.4 级地震,8 月 12 日在舟山以东海域再次发生 2.2 级地震。上海

近海如此频发的地震事件，在南黄海地区和东海地区的历史上还是不多见的。另外，1994年9月16日台湾海峡7.3级地震使上海10层以上的高层居民强烈有感。显然，过去由于上海市高层、超高层不多而未能引起关注的台湾地震，未来将会对上海有明显影响。1999年9月21日台湾南投7.6级地震和2002年3月31日台湾花莲以东7.5级地震发生时也有同样的情况。这些地震的发生一而再、再而三地提醒着在上海地区工作的地震工作者：上海地区的地震危险主要来自海域地区的7级甚至7级以上的地震和上海市及其周邻地区的5~6级左右地震；对海域切不可掉以轻心。不过促使上海市及社会各界关注其附近海域的地震活动至少还有下述两方面的原因。

1. 墨西哥地震和阪神地震对上海的启示^[2,3]

1985年9月19日离墨西哥城400 km外的太平洋中发生了一次 $M_s8.1$ 地震，墨西哥城损失惨重；1995年1月17日日本阪神地区发生 $M_s7.2$ 地震，造成了巨大灾难。在分析和收集了上海的有关资料后，我们发现，上海和上述两地区有许多类似的潜在致灾因素。例如：

①上海不仅受当地附近本底地震影响，还受远震长波影响。

②上海覆盖层厚，地貌条件和墨西哥城及阪神地区类似（墨西哥城为古湖泊沉积，阪神多为人造填海土，上海冲积层平均厚300 m）。

③上海人口稠密，据2006年统计，2005年年末全市在籍人口为1360.26万人（据称另有300万以上的流动人口）。上海地下水位高，存在砂土液化的潜在条件和危险，情况与墨西哥城和阪神地区类似。

④上海实施工业抽水，城市布局不规则、混乱。

⑤上海虽然经济发达，但以前留下未设防的建筑物多，近年来对工程质量时有投诉，偷工减料的情况估计不少。

⑥黄海中的地震多具双震特点。墨西哥地震和阪神地震都是数次地震相继发生。

因此，墨西哥地震和阪神地震给上海的启示是：要警惕并减轻上海附近海域发生的地震对上海造成的破坏和影响，必须对上海附近海域的地震问题及早进行研究，只有这样才能提高上海地区的防震减灾能力。

2. 上海附近地区近年来经济的飞跃发展

上海及其附近的长三角地区，人口密集，高楼林立，历来就是我国的经济要地，改革开放以来经济高速增长，形成了以上海为中心的可以称为世界第六的大经济区，毗邻的海域也成了这一经济区的重要组成部分，这一地区的一次中等地震对社会政治经济生活和稳定的影响不亚于西部地区的7级大震。其中，在经济上对海域地震研究的需要最具直接影响的因素有：

(1) 海洋石油工业的开发

上海东南和东北的海洋石油工业正在兴起并将蓬勃发展，近年来在我国海域，上海的东南和东北发现油、气田的消息时有报道（图1-1）。在上海东南距上海约500 km的东海大陆架上发现了藏量丰富的石油天然气资源。其中，平湖油、气田是东海第一个投入开发建设的油、气田，1996年元旦开始开发建设，1998年完工。主要设施包括一个综合平台，一条