

上海地区地震危险性分析 与基本烈度复核

上海市地震局 编

地质出版社

上海地区地震 危险性分析与基本烈度复核

上海市地震局 编

地震出版社

1992

(京) 新登字 095 号

上海地区地震危险性分析与基本烈度复核

上海市地震局 编

责任编辑: 蒋乃芳

责任校对: 王花芝

*

地震出版社出版

北京民族学院南路 9 号

北京丰台丰华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 15.5 印张 396 千字

1992 年 9 月第一版 1992 年 9 月第一次印刷

印数: 0001—1000

ISBN 7-5028-0622-9 / P · 421

(1013) 定价: 15.00 元

前 言

上海是我国最大的经济中心和人口高度集中的港口城市，也是著名的国际性大都市。现有工业企业万余家，年国民生产总值 700 余亿元，为国家提供的财政收入约占全国的七分之一。海港码头泊位百余处，吞吐量占全国沿海港口总吞吐量的四成左右。因此，上海在我国四化建设中占有举足轻重的地位。

由于历史的原因，上海市区工业布局十分混乱，工厂与住宅混杂，更为严重的是不少易燃、易爆、有毒、有害物品的生产、储存和使用单位又夹杂其间，极易造成次生灾害的蔓延和扩大。

上海全市面积 6340 平方公里，人口 1343 万，市区人口平均密度为 2.19 万人 / 平方公里，其中南市露香园街道高达 13.64 万人 / 平方公里，居全国之冠，郊区平均人口密度也达近千人 / 平方公里。市区现有住房建筑面积近 8000 万平方米，其中屋龄 60 年以上的旧式易燃、半易燃性里弄住宅达 2000 余万平方米，另有简易棚户百余万平方米。近十余年来全市新建十二层以上的高层建筑 406 余幢，其中最高者为波特曼饭店，四十八层，高 165 米。

总之，上海目前存在着人口与建筑物过密，城市设施陈旧，住宅简陋，抗震能力薄弱，有效活动面积狭小，地基土层软弱等不利因素，假如发生较强地震，势必造成重大的经济损失和人员伤亡。所以，正确评定上海地区的地震危险性和基本烈度是非常必要的。

“上海地区地震危险性分析与基本烈度复核”是上海市科学技术委员会“七五”科技发展计划重点项目“上海市抗震防灾基础技术研究”的主课题之一，通过合同制形式由上海市地震局承接完成，课题领导小组办公室主任为上海市地震局局长王明球，副主任为上海市地震局综合计划处处长赵雪，课题负责人为何正檀、严大华，技术顾问为全国地震基本烈度评定委员会副主任时振梁和国家地震局地质研究所所长马宗晋。

本课题的部分二级课题由上海市地震局与国家地震局地球物理研究所协作完成，三级课题则分别与地质矿产部上海市地质矿产局、海洋地质调查局、地球物理地球化学探测研究所，甘肃省煤田综合普查队，江苏省地震局，国家地震局地质研究所，国家地震局分析预报中心，华东师范大学等单位协作完成。

研究工作从 1987 年起至 1990 年 4 月止，先后有百余人参加了地震地质考察、人工地震探测、历史地震调查、室内实验和分析计算等，其中高级科研人员 17 名。

工作期间共完成各类三级课题 30 项，题目名称、完成单位及负责人、完成时间如下：

- (1) 上海及邻近地区航磁延拓研究报告，上海市地质矿产局，朱子沾，1988；
- (2) 上海及邻近地区重磁场特征研究报告，上海市地质矿产局，朱子沾，1988；
- (3) 上海及邻近地区重力场特征和初步地质解释，国家地震局地质研究所，殷秀华，1988；
- (4) 上海及其邻近地区 1：100 万遥感地质构造解译研究及上海地区地震地质构造的

遥感研究报告, 地质矿产部地质遥感中心, 陈荫祥, 1988;

(5) 上海及邻近地区(陆域)基岩地质研究报告, 上海市地质矿产局, 顾澎湃, 1988;

(6) 上海及邻近海区地震地质编图成果研究报告, 地质矿产部海洋地质调查局, 焦荣昌, 1987;

(7) 上海及邻近地区 1:100 万地震构造图编制和说明书, 江苏省地震局, 竺清良, 1988;

(8) 上海及邻近地区中强地震构造标志研究报告, 江苏省地震局, 李起彤, 1988;

(9) 上海及邻近地区现代构造活动特征的研究报告, 江苏省地震局, 季幼庭, 1988;

(10) 上海及邻近地区新构造运动及第四纪地质特征, 上海市地质矿产局, 顾佳铭, 1988;

(11) 上海及邻近地区的活动断裂和新构造分区, 华东师范大学, 朱履熹, 1988;

(12) 上海市地震危险性分析人工地震勘探报告, 地质矿产部地球物理地球化学探测研究所、上海市地震局, 王庆海, 1988;

(13) 上海地区频率测深剖面测量和研究工作, 甘肃省煤田综合普查队, 周凤林, 1987;

(14) 上海地区应用断层气研究构造活动可行性分析, 国家地震局分析预报中心、江苏省地震局, 汪成民, 1988;

(15) 上海及邻近地区 α 径迹法探测断裂的分析报告, 江苏省地震局, 丁政, 1988;

(16) 上海及邻近地区历史地震研究报告, 上海市地震局, 刘昌森, 1988;

(17) 上海电信传输地震台网监测能力及其定位精度, 上海市地震局, 朱元清, 1988;

(18) 上海及邻近地区 1980—1985 年间地震目录的初步核定, 上海市地震局, 景天永, 1988;

(19) 上海及邻近地区介质参数的研究, 上海市地震局, 徐永林, 1988;

(20) 上海及邻近地区若干地震的震源机制解及分区平均节面解, 上海市地震局, 丁伟国, 1988;

(21) 上海及邻近地区震源机制解和地震破裂方式的初步分析, 上海市地震局, 刘昌森, 1988;

(22) 上海及邻近地区区域地震应力场分析, 上海市地震局, 刘昌森, 1988;

(23) 上海周围地区地震活动性时空分析, 上海市地震局, 唐燕娟, 1988;

(24) 下扬子区域地震区带划分及其在上海小区划中的应用, 国家地震局地球物理研究所, 常向东, 1988;

(25) 上海工作区未来百年地震危险性估计, 国家地震局地球物理研究所, 李文香, 1988;

(26) 地震活动性的空间分布特征, 国家地震局地球物理研究所, 曹学锋, 1988;

(27) 地震活动趋势的极值理论分析报告, 国家地震局地球物理研究所, 贾素娟, 1988;

(28) 长江中下游带地震活动时间特征研究, 国家地震局地球物理研究所, 章淮鲁,

1988;

(29) 上海附近地区地震活动周期——最大熵谱分析, 国家地震局地球物理研究所, 何淑韵, 1988;

(30) 上海市及邻区潜在震源区的图象识别, 国家地震局地球物理研究所, 金小峰, 1988;

在以上三级课题以及补充研究的基础上, 归纳、总结出二级课题四项, 题目名称、完成单位、负责人、完成时间如下:

(1) 上海及邻近地区地震地质背景研究, 上海市地震局, 沈永盛等, 1989;

(2) 上海及邻近地区地震活动性研究, 上海市地震局、国家地震局地球物理研究所, 林命周、何淑韵、刘昌森, 1988;

(3) 上海地区地震危险性分析, 国家地震局地球物理研究所、上海市地震局, 章淮鲁、周煜恒、环文林, 1989;

(4) 上海地区地震基本烈度复核研究报告, 上海市地震局, 何正檀、周煜恒, 1989;

之后, 由主课题负责人何正檀、严大华提炼成“上海地区地震危险性分析与基本烈度复核”报告。

本课题的研究范围为北纬 29° — 34° , 东经 118° — 124° , 使用的资料截止于 1985 年。

工作中我们曾多次向胡聿贤、梅世蓉、丁国瑜、徐煜坚等专家咨询、求教, 受益匪浅。国家地震局原震害防御司副司长李裕澈、原副处长卢寿德、徐宗和等对本课题的组织实施、技术调度等多方面起了重要作用。上海市科委、建委、国家地震局邀请全国地震基本烈度评定委员会和北京、上海、江苏、安徽、广州、甘肃等有关高级专家组成课题评审组, 对本课题进行评审, 并提出许多宝贵意见, 在此一并致以诚挚的谢意。

本书根据上述主课题研究成果, 仔细斟酌、认真修改后, 由严大华、刘昌森、汪江田编纂而成, 全部图件由姜国梅清绘。由于该项工作涉及单位多、人员广、资料丰富, 归纳总结未必深入全面, 疏漏不足、甚至舛误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

本课题的研究经费及本书的出版费用由上海市科委提供。

目 录

第一部分 总 论

上海地区地震危险性评估的技术途径	(3)
上海及邻近地区地震地质特征	(5)
上海及邻近地区地震活动特点与未来地震趋势	(7)
上海地区地震危险性评估	(9)

第二部分 上海及邻近地区地震地质背景

上海及邻近地区岩石圈概况和地震活动的关系	(19)
上海及邻近地区基岩构造活动历史	(32)
新构造活动及其与地震的关系	(38)
地震构造	(57)
上海及周界地区构造活动评价	(65)

第三部分 上海及邻近地区的地震活动性

基本地震资料	(73)
地震活动性的基础研究	(89)
地震活动的统计研究	(120)
潜在震源区的图象识别	(137)
专论	(145)

第四部分 上海地区地震危险性分析

潜在震源区的划分及地震活动性参数的确定	(157)
地震危险性分析	(175)

第五部分 上海地区地震基本烈度复核

基本烈度复核方法	(193)
地震活动性和未来百年内的地震趋势分析	(196)
区域地质构造与地震的关系	(215)
上海地区断裂活动性的评价	(223)
上海附近地震危险区圈定与近、远场地震对上海的影响	(230)
参考文献	(236)

第一部分 总 论

上海地区地震危险性评估的技术途径

上海地区地震危险性分析与基本烈度复核的研究范围为北纬 29° — 34° ，东经 118° — 124° ，包括浙江金华以北，安徽芜湖至黄山市以东，江苏宿迁至阜宁以南，重点研究范围为北纬 $30^{\circ}30'$ — $32^{\circ}30'$ ，东经 $120^{\circ}30'$ — $122^{\circ}00'$ ，即浙江嘉兴、平湖以北，江苏苏州以东，如东以南，包括上海市全部及长江口部分地区。

鉴于上海经济地位的重要性和以往地震危险性评估专项研究薄弱的特点，我们采用两种研究途径，以求得结论的确切和全面。其一，以编制《中国地震烈度区域划分图》(以下简称二代区划图)的定数法为蓝本，充实地球物理和地球化学等专项勘测内容，对过去评定的本区基本烈度进行复核，提出重新评定意见，工作流程如图 1-1；其二，采用目前国内外广泛应用的地震危险性概率分析法加以计算，工作流程见图 1-2。前者主要结果是给出未来百年内本地区可能遭受的最大地震烈度；后者除可给出概率烈度外，还可得到一定超越概率水平的基岩水平加速度峰值等。不言而喻，上述两种结果对上海的城市规划和建筑物抗震设计都是极其有用的。

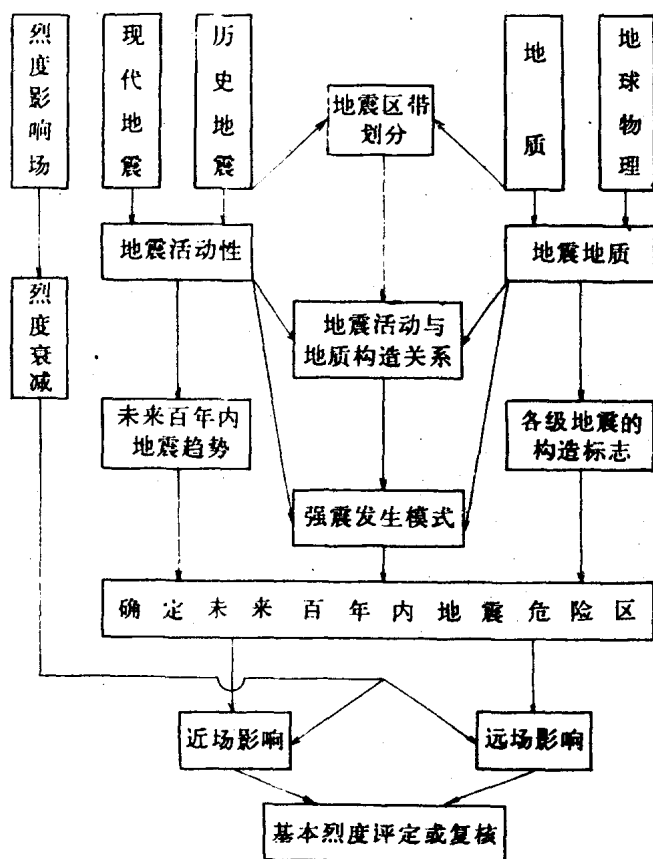


图 1-1 基本烈度复核工作框图

工作中，结合上海及邻近地区的特点，在研究方法上作了必要的改进。例如，在作地震趋势判断时，将未来百年内 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震的发生频度，震级-频度关系与地震应变能量积累值三者结合起来，提出综合缺震分析；在危险性分析中，不完全按照常规的概率分析方法，而强调泊松过程和地震统计区范围内的震级-频度关系，并引进地震空间概率分布函数的概念，反映地震活动在同一统计区内的不均匀性等。另外，考虑到本区某些资料的多解性和不确定性，不论在地震危险性分析抑或地震基本烈度复核中，尽可能采用多方案互相比较；从中筛选出最合理的结果。

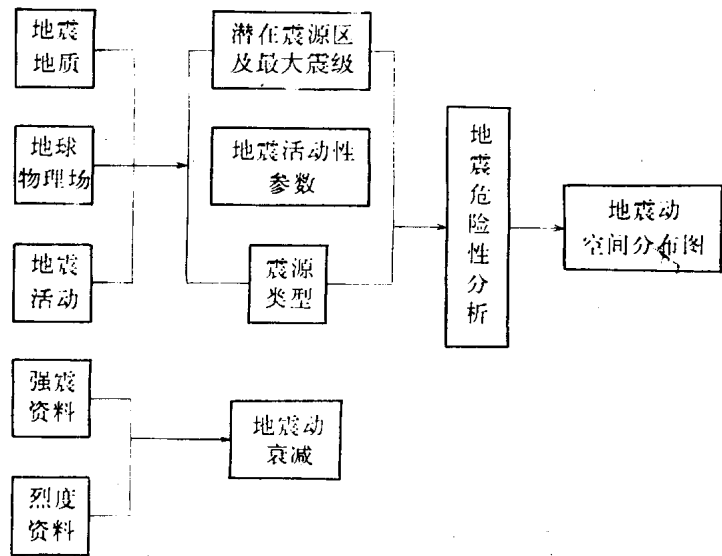


图 1-2 地震危险性分析工作框图

上海及邻近地区地震地质特征

上海及邻近地区跨越中朝准地台、扬子准地台和华南褶皱系三大构造单元，早期地质发育与华南地块相近，新生代以来则更多地与华北地块相似，深部东西向构造发育较早，后期仍陆续有活动形迹，浅部斜向断裂强劲，上覆迭加，以致本区断块现象较为显著。

根据多项鉴别断裂是否在第四纪活动的标志，查明上海及邻近地区至少有 19 条活动断裂带。并对上海地区的几条断裂重点进行了多项勘探。

经震源机制解综合分析、地应力测量、地震等震线长轴方向统计、地形变、新生代断裂构造分析以及有限元法解释等求得本区现代构造应力场主压应力方向为北 80° 东。

根据区内已发生的中强地震的详细考察，共提出上海及邻近地区中强地震发生的 16 项构造标志（详见表 5-17）。它们在统计上的反映如表 4-4。

由此可以看出：

(1) 多组活动断裂交汇，特别是纬向断裂构造带与斜向断裂相互截切的部位，是本区中强震发生的最危险地区。

(2) 上海地区存在发生 $M < 6$ 级的地质构造标志，而长江口存在 $M > 6$ 级的地质构造标志。

图象识别，是从地震地质、地球物理、地震活动等方面的众多特征中，找出判别特征和阈值，对大区域潜在震源区进行识别。共划定 120 个被判的图象点，选用 12 个特征参数，刻划每一个图象点。通过计算，最后勾划出可能发生 5 级以上地震的潜在震源区范围。

此外，根据本区断裂构造的分布格局和区域应力场方向，用有限元法对各主要断裂带进行应力分析，结果表明：在北 80° 东水平主压应力作用下，东西向断裂的正应力相对较小，而北西向断裂的剪切应力往往较北东向和东西向断裂相对增大。根据断面上正应力、剪切应力的强度与安全度 G 值之间的相互关系，可定性地判别某条断裂的地震危险程度，以作为圈定潜在震源区或地震危险区的参考依据。

对上海地区，还专门作了光弹实验，证明上海市区附近，特别是三角形断块及其东侧高桥、川沙之间，应力集中系数高的特征点较密集，显示这一带具备发生 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震的应力与构造条件。

上海地区的断裂构造骨架，呈 X 型。南、北两侧为东西向构造带，其间斜穿有北北东向、北东向和北西向的斜向断裂。航磁、重力上延 10—20 公里后，均可明显看出：东西向、北东向与北西向异常线相互交汇于上海市区附近，而其中东西向异常为背景构造。

北侧的东西向构造带由陈家镇断裂、太仓—盛桥断裂、昆山—嘉定断裂、千灯—黄渡断裂以及三星—新光断裂等组成，宽近 40 公里。南侧东西向构造带由南汇嘴，经南汇、奉贤、金山、枫泾、平望、直至太湖南岸，沿线东西向断裂时隐时显，断断续续，该带南缘可达杭州湾以南的昌化—普陀断裂。

在东西向构造带中，以上海西北的昆山—嘉定断裂较为重要，历史上发生过 1731 年

5级地震和1678年 $4\frac{3}{4}$ 级地震,近代弱震也较多。它是角直断陷的北缘断裂,北侧出露寒武—奥陶系及上侏罗系,南侧除有甚厚的白垩系上统浦口组和赤山组(2500米)外,还发育有新生代地层,它是苏南上第三系至第四系的沉积中心。据浅层人工地震剖面波组特征显示,基岩断裂已断开第三系顶界面,断距约3—5米,但未见断入第四系。

上海地区的斜向断裂,以北北东向的廊下一大场断裂、北东向枫泾—川沙断裂(又称松江断裂)和北西向罗店—新场断裂最为重要。而且,这三条断裂正好就在上海市区附近相互交汇,构成三角形断块,现已查明后两条断裂是活断裂,兹着重介绍如下:

(1) 罗店—新场断裂:斜贯上海全境,由南汇新场,经周浦、穿过市区至罗店,并有北延至江苏狼山的可能。全长80余公里。断裂在地区航磁、重力图上均有反映,各自上延10—20公里后,表现为一连续的北西向梯度带。断裂基本向北东倾斜,倾角陡。沿带钻孔中见有挤压破碎现象,推测形成于燕山后期或新生代。值得注意的是,断裂东西两侧松散层厚度相差颇悬殊,西盘为下降盘,厚达500米,东盘为上升盘,厚仅200米,其中上第三系至上更新统都是西盘厚,东盘薄,而至全新统,却出现反向变化,东盘反比西盘厚4米。据浅层人工地震探测显示,大场剖面上发现两条近于直立的断层,断距较小,约3—5米,其中一条已断入中更新统。另一条有可能断入上更新统层位。在该断裂南段的周浦剖面东端,亦发现有一断距约3—5米的陡立断层,断入中更新统。以上探测结果表明,这条穿过上海市区的断裂在第四纪以来确曾活动过,是条活断裂。1624年上海 $4\frac{3}{4}$ 级地震,就可能发生在该断裂上。

(2) 枫泾—川沙断裂:沿枫泾、松江、周浦、川沙一线分布,北东向,由多条断裂组成,宽约4—6公里。推测形成于古生代或更早些。断裂存在的依据是充分的,航磁图上表现西北侧为正异常,东南侧为负异常,零值线呈北东向。在布格重力图上,呈现北负南正,梯度带也呈北东向,异常变化达4—5毫伽/公里。该断裂自震旦纪以来,对两侧沉积起着明显的控制作用。用频率测深法在松江县城以南确定其产出位置后,继而用浅层人工地震探测,发现基岩破碎带宽约50—60米,断层北盘基岩面深约250米,南盘深约220米,两盘落差30米。当断入第四系—195—185米,即相当于下更新统,两盘落差为10米,延至—165—160米,即相当于中更新统,落差为5米。 α 径迹测量和断层气氛、汞测量结果均有一定反应,显示与深部贯通性尚好,是上海地区另一条第四纪活动断裂。

上海及邻近地区地震活动特点与未来地震趋势

上海及邻近地区的一系列地学特征,无论是地质构造、地震活动性,还是应力场,都介于华北地震区和华南地震区之间,是华北到华南的过渡地带。经富里叶分析和最大熵谱方法计算,本区地震活动具有 300 年左右的周期性,与我国东部的地震活动性特征一致。

本区地震频度、活动度和能流密度的计算表明,区内地震的时空强分布均呈现明显的不均一性。为研究方便,将本区分为北、南两区,其中南区又可进一步分为西部的扬州—溧阳小区(以下简称扬溧小区)和东部的上海—宁波小区(以下简称沪甬小区)。

从本区地震震中分布看,北区 $M \geq 5$ 级地震 25 次, $M \geq 6$ 级地震 14 次,最大震级 7 级,其中 6 级以上地震都集中在南黄海的南部拗陷及其南侧勿南沙隆起的次级凹陷部位,是本区地震活动水平的最高区域。北区西部苏北陆地部分 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震明显减少,历史上只记录到 $4\frac{3}{4}$ —5 级地震 4 次,而据 1970 年以来的仪器监测,苏北和南黄海海域的小震活动连成一片,既多又密,与南区迥然有别。南区历史上共记录到 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震 41 次,其中 $M \geq 6$ 级地震仅 3 次,最大的是位于长江口外的 1505 年 $6\frac{3}{4}$ 级地震。虽然南区地震强度低于北区,但 5 级左右的地震频度较高,大都与活动性构造的挽近活动有关。近代小震分布零散,但在局部地段相对集中,略呈带状分布。上海地区地震活动空间分布不论是 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震,还是 $M < 4\frac{3}{4}$ 级的中小地震均主要沿太湖—上海—长江口略呈东西向带状分布,向南北两侧则明显减少。在 288—1969 年的 T_1 时段内,除地震频度与西部的扬溧小区大体相当外,地震活动度和能流密度值均略高于扬溧小区;而在 1970—1986 年的 T_2 时段内,上述三个数值均明显低于西部的扬溧小区,说明近期沪甬小区地震活动相对平静,但从长远观察,它并非总是如此,仍具一定活动性,不容轻视。

本区地震按时间排列,可明显看出地震活动具有活动期和相对平静期交替出现的特征,至少自 1400 年以来可划分出两个地震活动周期,目前仍处于第二周期的活跃期之中。从地震能量释放特征观察,在 1846—1853 年间地震能量集中释放后,至今仍保持断续分批释放的特点。进一步分析,还可细分出 6 个地震活动丛,当前正处于 1974 年以来的第 6 活动丛之中。

上海及邻近地区未来百年内的地震活动总体水平将逐渐趋向缓和,但在不同地区的同时段内,地震仍将起伏发展。1984 年南黄海 6.2 级地震后,震中附近只发生数次 4 级左右余震,未来再次发生 6—7 级地震是可能的,考虑到今后一段时间内能量仍具分批释放特点,将以 6— $6\frac{1}{2}$ 级地震频发为其活动特征;地震活动中心有可能东移,而主要活动场所仍可能在南黄海海域。

至于沪甬小区的地震趋势是有可能发生 $M > 5$ 级地震,理由是:

(1) 按周期图分析,本小区地震活动时间序列存在 108 年的活动周期,未来百年内将逐步转入相对活跃阶段;

(2) 统计表明,自 16 世纪以来,每逢世纪数为单数时, $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震的频次总比世纪数逢双时为多。本世纪在过去的近 90 年中是本小区地震活动历来的最低者,预计下一

世纪 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震会将有所增加;

(3) 本小区地震活动也有自身的成丛性特点。每一活动丛的平均持续时间为 24 年, 由 2 次以上的 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震构成, 丛间平静时间段较长, 约 75—107 年, 现处于第 4—5 丛之间的平静期, 持续时间已超过 100 年, 随时都有转入第 5 活动丛的可能。假若小区的活动丛与区域的活动丛重合, 还可出现 $M > 5$ 级的地震;

(4) 本小区 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震与地球自转速度的加快段及太阳黑子活动的降-谷段有关, 据此预测, 本小区的最危险时段约在 2010 年和 2060 年前后。

上海地区地震危险性评估

一、上海地区地震危险性分析

(一) 潜在震源区的划分

潜在震源区是指未来发生破坏性地震的潜在危险地区,划分的前提是根据本区地震地质特征和地震活动性规律的认识和对中强地震发生的地质和地震活动性标志的鉴别。划分的基本原则主要遵循历史地震重复发生原则,地震活动性和地质构造等的类比原则。具体划分时特别注意:① 历史上 $M > 4\frac{3}{4}$ 级,尤其是 $M > 6$ 级地震的相对活动区或地震密集区;② 具有发生 $M > 4\frac{3}{4}$ 级地震构造标志的地区,特别是这类地区现代又有小震密集或呈带状分布者;③ 尽可能与图象识别和有限元断裂应力分析结果结合起来确定。

按以上原则,对本区潜在震源区划分共提出 12 种方案,经对比分析后,最后以一种方案为主,其余的供不确定分析之用。在取用的方案中,全区共划出 17 个潜在震源区,其中南黄海 5 个,苏北 3 个,扬溧小区 4 个,沪甬小区 5 个。

(二) 地震活动性参数的确定

鉴于当前对潜在震源区各种地震活动性参数确定的原则与方法尚未规范化,在相当程度上远处于因地制宜的探索之中,为了使计算结果既合理又有一定安全度,采用多方案对比是必要的。

1. 震级上限 M_u 和起算震级 M_0

凡历史地震记载比较充分的潜在震源区,可依据历史上发生的最大地震或再加半级作为该潜在震源区的震级上限;若潜在震源区内无历史地震记录或记录不详或记载时间不长时,则主要依靠地质构造类比方法确定,即以相似地质构造地区的震级上限作为本潜在震源区的震级上限。本区起算震级均取 $M_0 = 4.0$ 级。

2. b 值

考虑到本区某些历史地震资料尚存在多解性,故提供多种可能的 b 值,以便在不确定性分析中作进一步分析。

本区 b 值一般用 1500 年以来的资料加以统计,对不同区域,设不同统计窗,如对北区就分别用:① 去余震序列统计;② 分时段统计;③ 全序列统计三种方法;对南区则用去余震序列分别统计。这样,从北区 22 个 b 值统计中选用 12 个方差较小者,南区选取 4 个,参加下一步的年平均发生率计算。为了便于采用新编中国地震危险区划图的计算方法和程序对本区进行验证,还统计了全区的 b 值, b 值为 0.68;分区分段统计北区 b 值分别为 0.66, 0.67, 0.60, 0.60, 0.58, 0.56;南区 b 值分别为 0.89, 0.78, 0.86, 0.76;其中的扬溧小区 b 值较为稳定,为 0.60。

3. 年平均发生率 ν 及其分配

由于 b 值统计采用多种方案, 相应的 ν 值也有多组数值。考虑到地震活动趋势和未来地震活动水平的差异和震级区间的合理。为此, 采用三种方案分别计算。

第一种方案: 分北、南两个统计单元计算 b 值, 按各单元内的潜在震源区均分各震级间隔的年平均发生率, 这个方案因没有考虑各统计单元地震活动的趋势估计, 故不尽合理。

第二种方案: 考虑各统计单元地震活动趋势来确定各统计单元的年平均发生率。具体地说, 对于北区分段序列统计的 b 值, 主要选用 1846 年以后的资料, 这段时间正值南黄海频繁发震的高潮期, 故由此组 b 值求得的 ν 值已高于平均水平, 可以代表未来南黄海的地震活动水平。对于南区, 因 1500 年以来 5 级地震具有西强东弱的特点, 比值为 0.6:0.4, 以及沪甬小区活跃期的地震活动水平为平均活动水平的 1.8 倍, 故对沪甬小区地震活动性时空不均匀性考虑时, 空间加权数取 0.4, 时间加权取 1.8, 即取南区总年均值的 0.4, 再乘以 1.8, 然后再按各震级间隔对潜在震源区以面积均分。扬溧小区可自成系统, 按其 b 值计算各潜在震源区的 ν 值。

第三种方案: 按全区 b 值求得全区总的 ν 值, 考虑未来地震趋势和活动水平后, 再按各潜在震源区的权重分配, 这实际上是验证方案。

4. 地震动衰减

由于我国强震加速度资料十分贫乏, 无法直接用统计方法求得上海地区的峰值加速度衰减关系, 胡聿贤教授为解决这种困难, 提出烈度与加速度转换方法, 本文采用这一方法。

在统计本区烈度衰减关系时, 共采用区内及邻近地区 4₄—7 级地震 17 次, 34 条烈度等震线, 分别取椭圆长短轴衰减关系的 R_0 为 15 和 10 公里, 利用最小二乘法对上述资料进行拟合, 得到本区烈度衰减关系式为

$$\text{长轴 } I_a = 4.108 + 1.235M - 1.275 \ln(R+15)$$

$$\sigma = 0.392 \quad r = 0.960$$

$$\text{短轴 } I_b = 3.037 + 1.266M - 1.189 \ln(R+10)$$

$$\sigma = 0.375 \quad r = 0.964$$

σ 为方差, r 为相关系数。

胡聿贤教授的烈度-加速度转换法假定在同一震级或震中烈度下, 若两地区某场地的烈度值相同, 则这两场地的地震动参数也相同, 现以美国西部地区作参考区, 烈度和加速度衰减关系分别选用 Chandra(1973)和 Joyner, Boore(1984)的研究成果, 求得本区加速度衰减关系式如下:

$$\text{长轴 } \ln A_a = 6.3005 + 0.6507M - 1.487 \ln(R+15)$$

$$\sigma = 0.433$$

$$\text{短轴 } \ln A_b = 4.976 + 0.6741M - 1.298 \ln(R+10)$$

$$\sigma = 0.421$$

式中, A_a 和 A_b 分别为椭圆长轴和短轴方向上的加速度值, σ 为方差。

5. 地震危险性计算及不确定性校正

由于地震资料统计方案的多样性, 相应可得出多组有关地震活动性参数, 通过多组参