

活动断裂探测与地震 区划研究

——以山东威海地区为例

王华林 主编



地震出版社

PDG

活动断裂探测与地震区划研究

——以山东威海地区为例

王 华 林 主编

地 震 出 版 社

1998

内 容 提 要

本书是“山东威海活动断裂探测与地震区划研究”成果的系统总结。全书共分八章，全面、详细地论述了城市建设中活动断裂探测与地震区划研究的工作思路、内容、方法和成果。主要包括：地震构造背景和地震活动特征研究、活动断裂探测、潜在震源区判定、地震危险性分析、场地稳定性评价、工程建筑场地分区、地震动参数区划、地面震害区划和场地工程地震综合区划。

本书可供从事工程地震、工程地质、工程建筑、地震地质等学科的科技人员、管理人员和有关院校师生参考。

活动断裂探测与地震区划研究

——以山东威海地区为例

王华林 主编

责任编辑：张友联

责任校对：王花芝

地 震 出 版 社 出版发行

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

*

787×1029 1/16 11印张 3插页 282千字

1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷

印数 001-800

ISBN 7-5028-1567-8/P·955

(2010) 定价：16.00元

编 委 会

主 编： 王华林

编 委： 王华林 向宏发 陶俊君 王硕卿

邓起东 陈时军 虢顺民 姜早峰

刁守中 李桂群 郝书俭 王克鲁

蔡克明 王方建

前 言^①

活动断裂探测与地震区划研究是当代地质学、地震学和工程学中的一个重要研究方向。它的科学性和可靠性依赖于人们对断裂与地震成因关系以及强震孕育、破裂和传播过程的认识程度；它的实用性和合理性又必须经受工程建筑抗御断裂和地震活动引起的破坏的检验。因此，活动断裂探测与地震区划研究是地质科学和地震科学在工程建设领域中的实际应用，是城市合理规划、工程优化布局、国土综合利用和建筑抗震设计的一项基础工作。其目的是最大限度地减轻断裂和地震给人民生命和国家财产带来的危害。

威海市位于北西西向燕山-渤海地震带的东段，近场区有规模较大的北西向海西头-俚岛断裂，威海市区内有北西向神道口隐伏断裂和东西向城南河隐伏断裂。在威海市西北海域北西向断裂与北东向断裂交汇处发生过1948年威海北西海域6级地震。在1992年国家地震局颁布的《中国地震烈度区划图》上，威海市位于Ⅶ度区内，处在6级地震潜在震源区内。威海市地质地貌单元复杂，有基岩山区、海相泥质淤泥、海陆交互相泥砂沉积和山前陆相亚粘土与砂砾互层沉积。威海市所处的特殊地震构造环境和复杂的工程地质条件，为我们开展不同地质构造和工程地质条件下活动断裂探测与地震区划研究提供了场所，创造了条件。

改革开放以来，威海市的城市和经济迅速发展十分迅速，这给威海市的防震减灾工作提出了更高的要求。在充分吸收国内外许多城市防震减灾的经验和教训的基础上，本着经济发展与防震减灾一起抓的原则，威海市人民政府于1994年8月16日委托山东省地震局承担了“威海市活动断裂探测与地震区划研究”工作。为此，山东省地震局组织山东省工程地震研究中心、国家地震局地质研究所、威海市地震办公室、山东省地震预报研究中心、青岛海洋大学、山东矿业学院、威海市勘察院等的科研人员，对威海市中心区(20.4km²)、威海经济技术开发区(36.8km²)、威海高技术产业开发区(20km²)、威海环翠省级旅游度假区(村)(18.8km²)和温泉镇(区)(12km²)，共计108km²，按《工程场地地震安全性评价工作规范(DB001-94)》中规定的Ⅰ级工程要求开展了活动断裂探测与地震区划研究工作。

按照国家地震局颁布的《工程场地地震安全性评价工作规范(DB001-94)》的要求，结合当地的地震构造环境和场地地质条件，确定的主要研究内容包括：区域地震地质背景和地震活动特征研究，近场区和场址区活动断层探测，场址区稳定性评价，潜在震源区重新判定，场址区地震危险性分析；场址区建筑场地分区，地震动参数小区划和地面震害小区划。围绕这些内容开展了大量的野外工作，取得了丰富的第一手资料，进行了室内分析、实验和综合研究。主要工作量包括：工程地震钻探，钻孔73个，总进尺1072m，取土工试样165块。地质考察，地层观测线长620km，观测点260个，剖面100条，剖面素描图80张，取岩土样13件；断裂考察路线650km，考察点560个，剖面41条，其中钻探或开挖剖面7条，取样59件。野外岩土物理力学性质测试，标准贯入试验151次；波速测试64孔，测点1044个；地脉动测试110点，220个分向卓越周期值。地球化学和物理探测，气汞法化探测量7条测线，总长

① 王华林、陶俊君执笔。

4760m; 浅层地震物探测量 6 条测线, 总长 1200m。室内实验, 原状土动三轴测试 27 块, 砂土动三轴测试 3 件; 颗粒分析样 19 块, 土工常规实验 13 块; ^{14}C 年代测试 10 块, 热释光 (TL) 法年代测试 11 块, 电子自旋共振 (ESR) 测试 8 块, 断层泥石英形貌 (SEM) 试验 10 块, 显微构造分析试样 8 件; 孢粉样品分析 19 块。卫片解译, 1:20 万卫片判读 12000km²; 1:5 万卫片判读 1080km²; 标准假彩色合成和 KL 变换范围包括威海市及邻区, 1:20 万, 面积约 12000km²; 标准假彩色合成、KL 变换、纹理分析、彩色编号、对比变换、垂直分割、直方图均衡比增强处理范围包括威海市, 比例尺 1:5 万, 面积约 1080km²。计算机分析、计算, 地震活动性分析 248 小时; 地震危险性分析 385 小时; 地震动参数分析、计算 726 小时; 斜坡稳定性分析 32 小时; 卫星影像增强处理 22 小时; 地球物理反演计算 110 小时。资料收集, 文字报告 (地质、水文、勘察) 15 份; 工程勘察剖面图 149 份; 钻孔收集及分析 570 个; 其他有关图件 21 张。

本项目下设 12 个二级课题和 11 个三级课题。参加本项目的有研究员 8 人, 教授 2 人, 副研究员 10 人, 副教授 4 人, 高级工程师 12 人, 博士研究生 3 人, 硕士研究生 1 人, 助理研究员 6 人, 工程师 10 人, 初级技术人员 12 人, 辅助工作人员 14 人。参加本项工作和本书编写的主要人员有王华林、向宏发、陶俊君、王硕卿、邓起东、陈时军、饒顺民、姜早峰、刁守中、李桂群、郝书俭、王克鲁、蔡克明、王方建、王立功、刘西林、苏鸾声、莫得志、周翠英、王健、王志才、蒋海昆、刘希强、毕运珂、郑成斌、蒋伟、李家骥、徐世浙、任鲁川、汪丙柱、李如成、李师汤、褚宝贵、于之水、李建华、张晚霞、陈建英、李永庆、林传勇、王基华、史兰斌、张培仁、刘惠敏、计凤桔、杨主恩、彭贵、周焕鹏、孙兰纶、曹文海、李家灵、华爱军、赵兴兰、郭爱香、王红卫、董旭光、陶九庆、张玲等。

本书是在前人工作基础上, 对上述工作的概括和总结。全书共分八章。第一章, 介绍山东威海活动断裂探测与地震区划研究工作区的基本概况、技术途径与研究思路; 第二章, 介绍区域地震构造、主要活动断裂、地球物理场、断裂和地震活动时空非均匀性, 地震活动带、段划分, 现代构造应力场与震源错动性质及历史地震影响场分析的研究成果; 第三章, 介绍大比例尺卫片增强处理, 野外地质调查与填图, 探槽开挖, 地球化学和浅层人工地震探测, 工程钻探以及孢粉分析、 ^{14}C 年代测定、热释光 (TL) 年代测定、电子自旋共振 (ESR) 年代测定和断层物质显微结构鉴定所获得的近场和场址区断裂活动性综合探测的最新研究成果; 第四章, 介绍潜在震源区判定的细化原则、方法和标志, 近场区潜在震源区重新判定和地震危险性重新评价的结果; 第五章, 建立近场区和场址区第四纪地层年代表, 给出五个场址区的第四系厚度等值线、工程地质分区、土层剪切波速分区、场地卓越周期分区和建筑场地类别区划的系统结果; 第六章, 介绍地震反应分析计算模型选取和参数确定, 地震动加速度时程合成, 地震反应分析计算的方法以及场址区不同超越概率水平 (50 年 63%、10% 和 3%) 的地表水平加速度峰值和反应谱区划结果; 第七章, 给出地震地质灾害评价与区划结果, 包括场址区斜坡稳定性分析与分区和砂土液化判定与区划结果; 第八章, 给出工程地震综合区划的数值模型和区划结果, 提供了一种综合考虑场地动力学参数 (包括第四系厚度、土层剪切波速、场地卓越周期、土层剪切模量、地震水平加速度峰值和反应谱周期) 的主组分分析数值模型。

在本书的成文过程中, 我们力求突出本次工作中的新发现、新认识和新成果。归纳起来, 我们的工作在以下几方面取得了新的进展。第一, 首次对威海市近场区 30km 范围内的断裂活

动性给出了定量评价,查明近场区主要断裂有北西—北西西、北东—北东东、南北向和东西向四组共17条,其中前第四纪断裂5条,早更新世断裂4条,早、中更新世断裂5条,中更新世断裂3条,近场区陆地部分不存在晚更新世以来的活动断裂;第二,活动断裂探测形成了多学科多途径的综合探索路子,对场址区的三条主要断裂,除了开展常规的大比例尺卫片增强处理、地质调查与填图、探槽开挖外,还开展了地球化学和浅层人工地震探测以及工程钻探,查明了断裂的空间分布、活动性质、活动强度和活动时代,在断层和地层年代确定方面进行了孢粉分析、 ^{14}C 年代测定、热释光(TL)年代测定、电子自旋共振(ESR)年代测定和断层物质显微结果鉴定(SEM)多方法综合测定,不同方法相互印证,获得了更为可靠和可信的结果;第三,从新构造运动、深部构造环境、构造应力场、断裂活动习性和地震活动特点入手,对燕山-渤海断裂带的渤海-威海段进行了系统分段,对其地震活动潜势进行了估计,提出了潜在震源区判定的细化原则和方法;在此基础上对近场潜在震源区的边界、震级上限和不同震级档的空间分布概率密度函数进行了重新判定,修改了地震危险性分析的核心内容;第四,取得了几个场址区第四系厚度、工程地质分区、地层剪切波速分区、场地卓越周期分区、地震动参数区划和地震地质灾害区划系列基础成果,为威海市城市合理规划、工程优化布局、土地综合利用和建筑抗震设计提供了安全可靠、经济合理的依据;第五,综合考虑影响地震场地工程抗震性能的动力学参数,引入K-L变换的主组分分析方法,研究了第四系厚度、土层剪切波速、场地卓越周期、土层剪切模量、地表水平加速峰值和反应谱周期之间的相关性和相关系数矩阵的特征值及对应的特征向量,建立了场地工程地震综合区划数值模型,划分出五个抗震性能不同的区域,从而使工程地震区划评价更加科学合理。这些成果在威海市城市规划、国土利用、新建工程抗震设计、已建工程建筑震害预测和抗震加固工作中得到应用,收到了良好的经济效益和社会效益。

在介绍本次工作成果的同时,也向读者介绍了我们采用的一些技术思路和研究方法。首先,针对威海市位于燕山-渤海地震带上这一基本事实,加强了北西西向燕山-渤海断裂带详实研究,使考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法在威海地震区划研究中得以良好的应用。其次,介绍了地层对比、孢粉分析、 ^{14}C 年代测定、热释光年代测定、电子自旋共振年代测定和断层物质显微结果鉴定等多种方法在断层活动年代和破裂形式研究中的应用以及卫片影像增强处理、活动断裂填图、探槽开挖、地球化学探测、浅层人工地震勘探和工程钻探等多方法在断裂活动性鉴定中的应用。再者,介绍了场地工程地质结构评价、土层剪切波速和场地卓越周期测试等多方法在场地建筑类别判定中的应用以及斜坡稳定性定性和定量分析和砂土液化定性和定量判定方法在地震地质灾害评价与区划研究中的应用。最后,介绍了K-L变换的主组分分析方法在场地工程地震综合区划中的应用,利用多因子综合考虑影响场地工程抗震性能的动力学参数,进行多因子相关研究和场地工程地震区划,克服了单因子区划的局限性和片面性。这些技术思路和研究方法在山东威海活动断裂探测和地震区划研究中得到了检验,证明是行之有效的,相信它们可供从事此项研究工作的科技人员借鉴。

本书是全体参加工作人员的劳动结晶,也是研究过程中各方面关心和支持的结果。威海市人民政府支持了本项研究工作。项目实施过程中得到了本项研究工作的技术顾问、山东省地震局总工程师汤永安研究员和兰州地震研究所侯珍清研究员的指导和关心;得到了威海市人民政府邵恒斋副市长、张璞副市长,威海市建委、科委、国土规划局、经委、计委、威海

经济开发区、威海高技术产业开发区、威海市环翠区等部门负责人，山东省地震局李金泉副局长，中国地震局地质研究所曹树民副所长、丁梦麟高级工程师，中国地震局原震害防御司卢寿德处长、孙福梁副处长的关心和支持。中国地震局地球物理研究所时振梁研究员、鄢家全研究员、高孟潭研究员、中国地震局地质研究所张裕明研究员和中国地震局地壳应力研究所徐宗和研究员对本项目的阶段成果进行了咨询和审阅，并提出宝贵的建设性意见，在此一并致以感谢。

本书由王华林统稿和定稿。

目 录

前 言

第一章 场址区概况、研究的关键问题与技术思路	(1)
第一节 场址区概况	(1)
第二节 关键问题和技术思路	(2)
第二章 区域地震构造背景和地震活动特征	(6)
第一节 区域地震构造背景	(6)
第二节 区域地震活动特征	(14)
第三章 近场区及场址区地震构造环境研究	(26)
第一节 近场区断裂活动性研究	(26)
第二节 近场区地震活动性研究	(38)
第三节 场址区主要隐伏断裂的综合探测研究	(42)
第四章 场址区地震危险性分析	(62)
第一节 潜在震源区判定	(62)
第二节 地震活动统计区及有关参数的确定	(66)
第三节 地震动衰减关系	(69)
第四节 地震危险性分析	(70)
第五章 场址区工程地质条件和建筑场地类型评价	(74)
第一节 场址区工程地质条件与分区	(74)
第二节 场址区土层剪切波速测试及分区	(91)
第三节 场址区地面卓越周期测试及分区	(99)
第六章 场址区地震动参数小区划	(106)
第一节 场地地震反应分析模型及其参数的确定	(106)
第二节 基岩地震动加速度时程合成	(109)
第三节 场地地震反应分析计算及结果分析	(111)
第四节 地震动参数小区划	(112)
第七章 地震地质灾害评价与区划	(122)
第一节 场址区斜坡稳定性分析与分区	(122)
第二节 场地砂土液化判定	(134)
第八章 场址区场地工程地震综合区划	(143)
第一节 场地工程地震综合区划模型	(143)
第二节 场地工程地震综合区划	(147)
参考文献	(163)

第一章 场址区概况、研究的关键问题与技术思路^①

第一节 场址区概况

威海市位于山东半岛东端,三面临海,西与烟台市接壤,总面积 5426km²,人口 238.6 万。威海市辖三市一区:文登市、荣成市、乳山市和环翠区。威海活动断裂探测与地震区划研究区在环翠区。威海市是我国 14 个开放城市之一,交通、通信方便,是我国第一个与韩国通航的城市。威海市区依山傍海,景色秀丽,气候宜人,有温泉和众多的文化古迹,是旅游、疗养、避暑胜地。威海市不仅具有优越的自然环境,还有丰富的农牧渔业和矿产资源,城市建设独具特色,以其得天独厚的山、海、泉、城、岛五大自然景观为优势,正以其独具的魅力吸引着国内外众多的游客和投资者。

山东威海活动断裂探测与地震区划研究的研究区由五个子场区组成(图 1-1)。威海市中心区是威海市人民政府和环翠区人民政府的所在地,占地面积 20.4km²;威海高新技术产业开发区位于市中心区之西,占地面积 20km²;威海环翠省级旅游度假区是张村镇所在地,占地面积 18.8km²;威海经济技术开发区位于市中心区之南,在嵩泊镇辖区内,占地面积 36.8km²,含 1.5km²的保税区;温泉区在温泉镇辖区内,占地 12km²。研究区有低山和丘陵剥蚀地形,坡积裙堆积地形,河流冲积平原堆积地形和海积平原堆积地形。不同研究区的地形地貌和工程地质条件不同。同一研究区不同区域的地形地貌和工程地质条件差异很大,第四纪厚度变化大,土层结构复杂。

山东威海活动断裂探测与地震区划研究的研究区位于燕山-渤海地震带的东端。历史上威海市邻近地区曾发生过多次中强地震,最强地震是 1948 年威海西北海域 6 级地震。近场区内发育有规模较大的北西向海西头-俚岛断裂和北北东向断裂系。山东威海活动断裂探测与地震区划研究的研究区内发育北西向神道口和东西向城南河两条隐伏的第四纪活动断裂,1948 年威海西北海域 6 级地震时,在这两条断裂的交汇处出现喷砂冒水现象。

威海市地震构造环境和工程地质条件比较复杂,前人进行了不同程度的研究。70 年代,山东省地震地质队、中国科学院地质研究所和中国科学院海洋研究所,对胶东半岛地区进行了地震地质考察,对一些主要断裂进行了描述,完成了一份具有重要价值的考察报告。80 年代,威海市城市抗震防灾领导小组和威海市地震办公室,开展了威海市地貌调查和烈度区划研究工作,编制了威海市中心区地质图、第四系等厚线图及烈度区划图。80~90 年代,蔡克明(1983, 1986, 1987, 1992, 1994a)、张公德(1984)和迟镇乐(1992)等人对威海及邻区的两次破坏性地震,即 1939 年乳山 5.5 级地震和 1948 年威海西北海域 6 级地震的地震影响场和发震构造以及威海市区地震地质进行了研究。这些研究结果,为我们进行威海活动断裂探测和地震区划研究提供了线索和基础。

^① 王华林、陶俊君执笔。

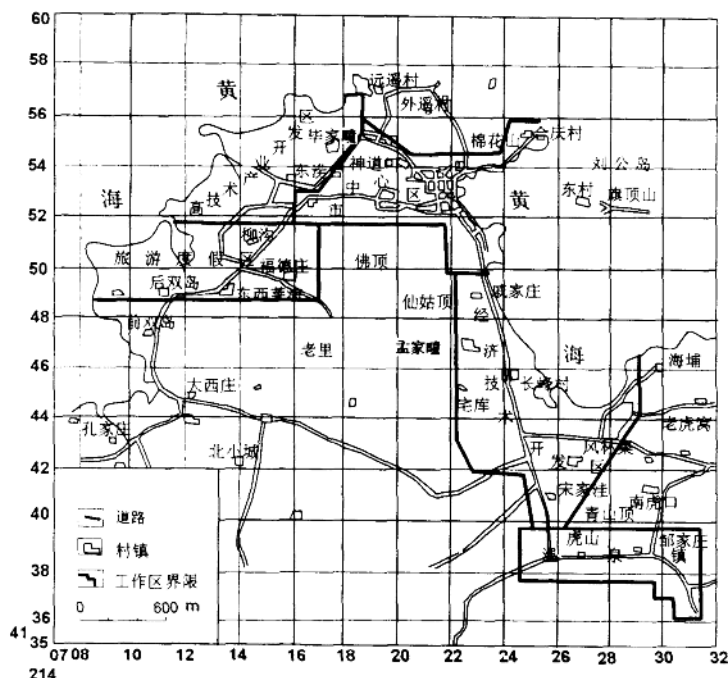


图 1-1 威海市活动断裂探测与地震区划研究区位置图

第二节 关键问题和技术思路

一、关键问题

鉴于威海市位于燕山-渤海地震带上,其西北海域发生过 1948 年 6 级地震;以往该地区地震构造环境和工程地质条件工作程度较低,存在着不少需要进一步查清的工程地震问题。为了能够获得威海活动断裂探测与地震区划研究的可靠成果,需要通过大规模系统工作,集中力量解决一些关键性的问题。

(1) 威海活动断裂探测与地震区划研究工作必须着重研究断裂和地震活动在空间和时间上分布的非均匀性,尤其是从新构造运动、深部构造环境、构造应力场、断裂活动习性和地震活动特点入手,加强断裂带和地震带分段性研究,这对位于燕山-渤海地震带上的威海市显得更为重要。

(2) 通过近场区活断层填图和实地考察以及深入细致的地震活动性研究,确定近场区断裂活动情况和不同震级档次地震的时间间隔,对近场区潜在震源区重新判定是威海市地震区划研究的关键。

(3) 通过多方法确定威海市研究区内隐伏断裂空间分布及其活动习性,利用工程地震钻

探、波速测试、卓越周期测试综合资料,对各区场地稳定性和建筑场地类型进行评价,为威海市城市规划、工程布局提供重要依据。

(4) 利用现场实测、实验和室内分析、实验资料,结合地震危险性分析结果,对威海市各研究区进行边坡稳定性评价和砂土液化判定,从而实现地面震害小区划,为工程建筑的地基抗震处理提供科学、合理的基础资料。

(5) 利用考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法,通过土层地震反应分析计算,对威海市各研究区进行地震动参数小区划,提供与《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》和国际抗震设计接轨的50年超越概率为63%、10%和3%的地面水平加速度峰值和反应谱,保证威海市各研究区的不同区域未来工程建筑抗震设计既安全、可靠,又经济、合理。

二、技术思路

本项研究工作分为活动断裂探测与地震区划研究两部分。活动断裂探测既是地震区划研究的基础,也是工程建设必须考虑的重要因素。地震区划研究则是城市规划、工程布局和抗震设计基础工作。

在威海活动断裂探测研究中,充分考虑了威海市近场区和场址区断裂出露和分布状况,采用了有针对性的多种研究方法。具体研究方法是:在消化和吸收构造地质、地形地貌、水文地质、地球物理和地震活动资料的基础上,采用大比例尺卫片影像增强处理技术,确定断层位置和定性评价断裂的活动性,划分出露区和隐伏区活动断层。出露区活动断裂,采用野外考察、测量、填图和探槽开挖研究方法。隐伏区活动断裂,首先,利用地球化学探测方法,确定断层的具体位置;然后,进行高精度浅层人工地震(或地质雷达)勘探,确定断层断错的地层层位和断距;再在断层两侧进行工程钻探,建立地层剖面年代表,确定断裂活动时代,对活动强烈,断错接近地表的断层进行大规模探槽揭露,以获得断裂活动更加可靠、详实的证据。利用孢粉分析、 ^{14}C 年代测定和热释光(TL)年代测定方法确定出露区和隐伏区断裂活动时代。此外,利用断层物质电子自旋共振(ESR)测试和石英形貌(SEM)鉴定方法确定出露区断裂活动时代和破裂方式。在此基础上,评价活动断裂对工程建设的影响,估计断裂的地震活动潜势,为潜在震源区判定、地震危险性分析和地震动参数区划提供依据。

威海活动断裂探测工作的整体技术思路如图1-2。

在威海市地震区划工作中,我们采用了先进的、考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法。这一方法是目前国际上和我国一些重大工程和重要城市地震区划所普遍采用的方法,如大亚湾核电站、中央电视发射台、鲁南地震区划和山西临汾市地震小区划都采用了这一方法。具体分析方法是:在较大区域范围内以及场址及其附近地区,根据地震地质、地球物理场和地震活动性分析研究,确定对场址区地震危险性分析有贡献的潜在震源区及其有关参数;同时确定适合于本地区的地震动衰减关系;在此基础上运用地震危险性分析统计模型,计算出未来50年内不同超越概率水平(63%、10%、3%)的烈度值、基岩水平加速度峰值及反应谱;根据钻探、浅层人工地震勘探、断层气、波速和卓越周期测试结果,评价场地稳定性和划分建筑场地类型;通过场址区工程钻探、土的物理力学性质和动三轴试验以及波速测试等取得的土动力学资料,分析、计算场址区不同控制点土层对地震的响应,给出

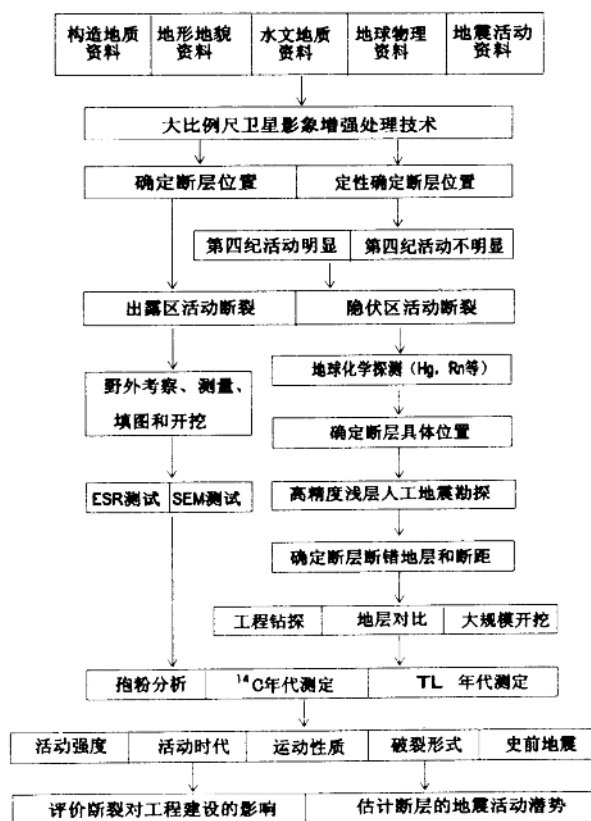


图 1-2 威海市活动断裂探测工作技术思路框图

各控制点 50 年超越概率为 63%、10% 和 3% 的土层水平加速度峰值及加速度反应谱；根据各控制点分析计算获得的地震动参数 ($A_{\max}$ 、 $\beta_{\max}$ 、 T_g) 和工程场址土层结构、波速测试、卓越周期测试结果，综合分析研究，进行地震动参数小区划，给出所划分的不同区域内的设计地震动参数，供工程建设布局和抗震设计使用。为了提供工程建设抗震设计避开的场地卓越周期，给出了各研究区各测点的卓越周期，并进行了场地卓越周期区划。利用钻探标准贯入试验、土层物理力学试验、实地测量、动三轴实验和地震危险性分析结果，通过多种方法，对各场地进行了斜坡稳定性分析和不同地震烈度条件下的砂土液化判定，从而进行地面震害小区划，为工程建筑地基处理、国土综合利用和工程合理布局提供了科学、可靠的依据。

威海市地震区划工作的整体技术思路如图 1-3。

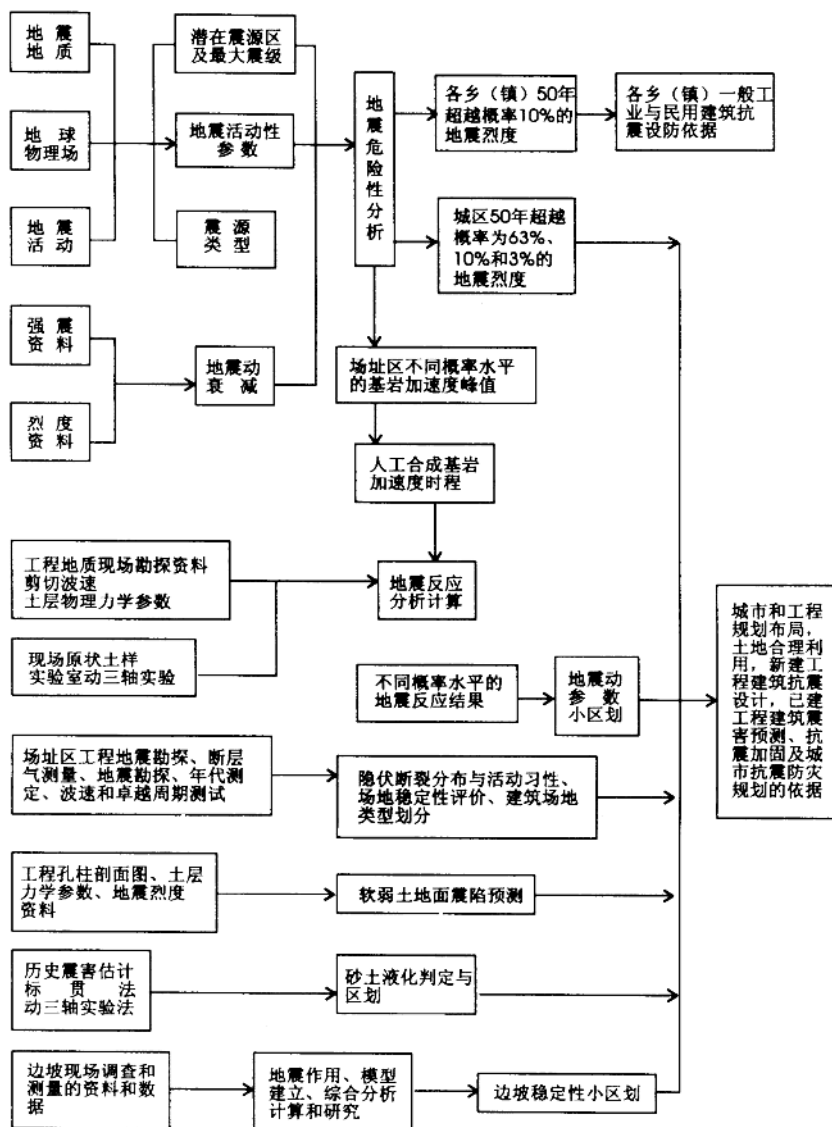


图 1-3 威海市地震区划工作技术思路框图

第二章 区域地震构造背景和地震活动特征

第一节 区域地震构造背景^①

地震的发生有其特定的地质构造条件。本区地震活动的分析研究表明,地震活动与地质构造关系十分密切,特别是6级以上地震与断裂活动和深部构造差异有良好的相关性,强震活动无论在空间上还是在时间上均表现出明显的非均匀性。通过这些问题的研究,将为研究区内地震带和潜在震源区的划分提供地震地质和地球物理场依据。

一、区域地震构造特征

威海市位于华北地震区的东部,其大地构造分区属华北断块区,处在北黄海拗陷区与鲁东隆起的接合带上。华北断块内部在构造和地貌上总体格局是北北东向的隆起区与沉降区相间。新构造期以来,继续保持着隆起区的上升和沉降区的下沉,这种隆起与沉降相间分布格局,控制着华北断块内部的地震分布(邓起东等,1980;徐杰等,1985)。

鲁东隆起是一个边界为深大断裂所围限的次级三角形构造块体,沂沭断裂带、燕山-渤海断裂带和响水河断裂带构成块体的西、北和东边界。由元古代变质岩和花岗侵入岩组成,中生代在中部胶莱地区形成断陷盆地。隆起区内的北东向五莲-荣成缝合线,在新构造期对两大断块无明显控制作用。新生代该区处在整体隆起剥蚀阶段,形成多级夷平面。整个块体上升速率不均匀,南部和中部上升速率最低,中北部地区缓慢上升,北部沿海地区,第四纪断裂活动强烈。区内地震活动水平不高,有史记载,没有发生6级以上地震。

北黄海凹陷区为中生代以来形成的板内裂谷盆地,由一系列凹陷和凸起组成,内部差异运动强烈,控制凹陷和凸起的断裂多为张性正断层,该区以小震活动为主。

区域地质构造复杂,主要有北北东、北东、北东东、北北西、北西、北西西、近南北和近东西向八组断裂。其中北北东-北东和北北西-北西向断裂与华北拗陷内部地震活动密切相关,形成了郯庐地震带、南黄海地震带和燕山-渤海地震带,其中燕山-渤海地震带对威海市的地震危险性影响最大。

二、主要活动断裂带

为了探讨区域内地震活动特征和强震构造标志,为地震带的划分提供地震地质依据,对几条规模巨大的活动断裂带(图2-1)进行了详细研究。

区域内发育多组断裂,其中以北北东-北东向和北西西-北西向为主,近东西向次之。主要活动断裂有北西西向燕山-渤海断裂带、北北东向沂沭断裂带、北东向响水河断裂带和北北东-北东向断裂系。以上主要断裂和次一级断裂联合构成了本区域的断裂构造格架,具有菱形网

^① 李桂群、王华林、徐世浙、李家骥、任鲁川、汪丙柱执笔。

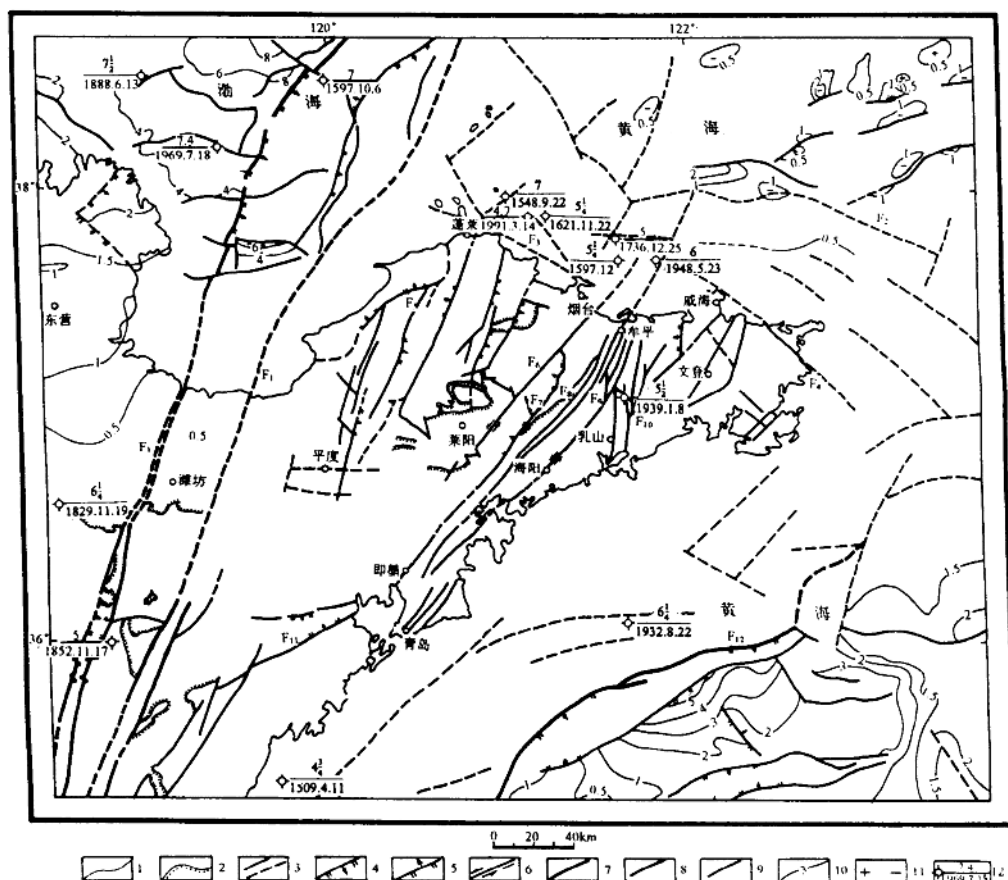


图 2-1 山东威海市区构造纲要图

1. 实测及推测地质界线; 2. 角度不整合界线; 3. 实测及推测性质不明断裂; 4. 正断层; 5. 逆断层; 6. 平移断层; 7. 深大断裂; 8. 区域主要断裂; 9. 一般断裂; 10. 新生界等值线(km)(鲁北平原为 Q+N); 11. 地陷盆地中隆起高点及地陷中心; 12. 地震震级及发展时间; F₁. 沂沭断裂; F₂. 北黄海弧形断裂; F₃. 长岛-芝罘岛断裂; F₄. 海西头-狸岛断裂; F₅. 黄山馆断裂; F₆. 桃村断裂; F₇. 郭城-即墨断裂; F₈. 牟平-朱吴断裂; F₉. 玉林店-海阳断裂; F₁₀. 金牛山-乳山断裂带; F₁₁. 郝戈庄断裂; F₁₂. 响水河-千里岩断裂

格状特征。

(一) 沂沭断裂带

我国东部巨型构造带——郯庐断裂带在山东境内(向北延伸至渤海海域)及苏北地段部分称沂沭断裂带,它由几条平行的主干断裂及分支断裂构成。由于北西-北西西向断裂的切割和深部构造背景的差异,使断裂带构造活动十分复杂。沂沭断裂带是整个郯庐断裂带上出露最好、规模最大、新活动最强烈的段落(国家地震局地质研究所,1987)。沂沭带的主要构造特征如下:

(1) 重力图显示为一条宽缓的、走向上多扭曲畸变的梯度带,人工地震和大地电磁深测结果表明,断裂切割深度已达莫霍面(张碧秀等,1988)。

(2) 构成鲁东、鲁西两大地块的构造结合带,其两侧的基底类型、盖层类型和地球物理

场特征不同。由于受北西向断裂的切割和深部构造背景的差异,使断裂带构造十分复杂,具有明显分段特点(郑朗荪等,1988)。

(3) 断裂带第四纪活动强烈,全新世以来,断裂以右旋走滑运动为主,沿断裂带多处发现古地震证据。根据断裂水平位移分级、断层陡坎坡折、断层楔的期次和地震断层断错的地层层位关系分析,全新世以来沿沂沭断裂至少发生了3~4次古地震事件,8级大震复发周期为3000~4000年(林伟凡等,1987;王华林,1995c)。全新世以来,断裂的水平位移和垂直位移速率分别为2mm/a和0.5mm/a。

(4) 在沂沭断裂带与北西向断裂(燕山-渤海断裂,苍山-尼山断裂,蒙山断裂,益都断裂等)交汇处,正是重力梯度带扭曲畸变部位,也是形变特征发生转换和强震发生的部位。

(5) 历史记载,沂沭断裂带发生过公元前70年诸城西北7.0级地震、1668年郯城8¹/₂级地震,具有地震活动频度低、强度大的特点。

(6) 流动重力、地磁、形变资料(王华林等,1988)表明,沂沭断裂带近期活动较弱,具有蠕变特点。极微震、小震应力降和Q值的研究(沈萍等,1988)表明,沂沭断裂带中、南段应力集中不明显,北段小震稀少形成地震活动空区(魏光兴等,1994)。

(二) 燕山-渤海断裂带

该断裂带规模很大,总体上呈北西西向展布。断裂活动具有明显的分段性,研究区为断裂带的中东段,其主要活动特征如下:

(1) 该带为重力、航磁和壳幔结构的综合地球物理异常带,在其与北北东—北东向断裂交汇部位出现扭曲畸变,6级以上地震往往发生在这些构造部位,如1679年三河-平谷8级地震和1976年唐山7.8级地震均发生在北西西向综合地球物理异常带向北东方向扭曲畸变的部位。

(2) 断裂带第四纪活动强烈,自西向东活动强度由强到弱,表现在活动时代由新到老,地震震级由大到小。渤海海域段为全新世活动段(胡政等,1990),地震活动强度大,频度高;长岛—烟台段为晚更新世活动段,地震活动强度较大,频度较低;威海段断裂在中更新世晚期活动,地震活动相对较弱。

(3) 断裂带与北北东向断裂交汇部位,是断裂活动强烈的段落。渤海海域段构造极其复杂,呈高角度左旋剪切破裂,断错北北东向断裂,明显改变了北北东向为主的坳陷和隆起构造格局。长岛—烟台段由一组北西西向断裂组成,包括长岛-芝罘岛断裂和黄县断裂,沿断裂发现第四纪晚期活动遗迹;燕山-渤海断裂带与一组北北东向断裂交汇,5级以上地震多与断裂交汇有关。威海段构造较简单,主要由北西向断裂组成,包括北黄海弧型断裂和海西头-俚岛断裂,断裂中更新世晚期活动,以小于5级的中小地震活动为主。

(三) 响水河断裂带

该断裂是区内的一条重要断裂,是华北地台与扬子地台的分界断裂^①。断裂由苏北陆区响水河一带呈北东向延伸入黄海,沿千里岩隆起南侧边缘向北东或北东东向延伸。在区域内构成南黄海北部坳陷与千里岩隆起的分界。在重力图上,表现为北侧正异常区和南侧负异常区的分界,对应明显重力梯度带。沿断裂有一系列隐伏的小侵入体,在磁场图上表现为串珠状磁力正异常。该断裂位于莫霍面梯度带上,其北侧莫霍面构造呈北东走向,南侧呈东西走向,

^① 石油部海洋石油勘探局地调处,北黄海海域地震概查报告,1979。