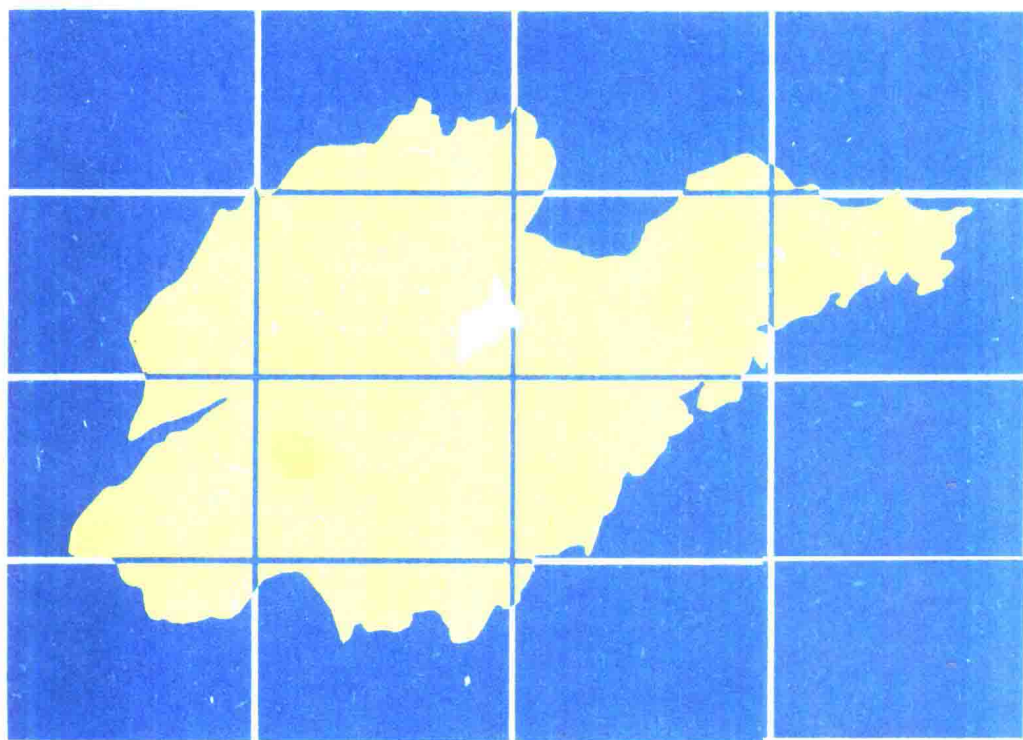

山东青州地震研究与地震区划

王华林 主编



地震出版社

山东青州地震研究与地震区划

王华林 主编

地震出版社

1995

内 容 提 要

本书是“山东青州市地震小区划”成果的全面总结,汇集了22篇论文,反映了青州市地震小区划工作中的新思路、新认识和新成果。主要内容有:区域地震地质和地震活动特征研究,青州市及邻区地震构造环境研究,潜在震源区重新判定,青州市城区及所辖乡(镇)地震危险性分析,青州市城区场地稳定性评价、工程建筑场地综合分区、地震动参数小区划和地面震害预测。

本书可供从事地震地质、工程地震、地震预报及工程勘探和工程建筑的科技人员及有关院校师生参考。

山东青州地震研究与地震区划

王华林 主编

责任编辑:朱向军

责任校对:李俊

*

地 震 出 版 社 出版

北京民族学院南路9号 邮编 100081

中国地质大学轻印刷厂印刷

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 11.75印张 301千字

1995年10月第一版 1995年10月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1255-5/P·787

(1686) 定价: 20.00元

《山东青州地震研究与地震区划》编委会

主 编：王华林

副主编：王志祥

编 委：王华林 王志祥 魏光兴 陈时军
孙昭民 王硕卿 王志才 杨峰杰
刁守中 刘西林 姜早峰 周翠英

前 言

城市地震小区划是当代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地震孕育、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地震破坏的检验。因此，地震小区划是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、土地有效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地震给人民生命和国家财产带来的危害。

青州市位于郯庐断裂西侧、北西向诸城-惠民地震带上。境内有北西向双山-李家庄断裂、益都断裂和北东向上五井断裂通过。在青州市城区南十几公里的双山-李家庄断裂与上五井断裂交汇处发生过 1829 年益都-临朐 $6\frac{1}{4}$ 级地震，诸城-惠民地震带与沂沭地震带交汇处发生过公元前 70 年安丘 7 级地震。在 1976 年国家地震局颁布的《中国地震烈度区域划分图》上，青州市位于Ⅷ区内；1984 年，山东省地震局将安丘-临朐强震构造区判定为未来 10 年 6 级地震危险区。改革开放以来，青州市的城市和经济发展十分迅速，这给青州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，青州市人民政府于 1992 年 3 月 26 日委托山东省地震局承担了“青州市城区地震小区划”工作。为此，山东省地震局组织了所属的有关科研单位、青岛海洋大学和山东矿业学院的科研人员，开展了青州市所辖乡（镇）的地震烈度评定和青州市城区 42km^2 的地震小区划工作。

针对青州市所处的地震构造环境，按照国家地震局制定的《地震小区划工作大纲》的要求，我们进行了区域地震地质和地震活动特征研究、青州市及邻区地震构造环境研究、潜在震源区重新判定、青州市城区及所辖乡（镇）地震危险性分析、青州市城区场地稳定性评价、工程建筑场地综合分区、地震动参数小区划和地面震害预测。围绕这些内容开展了野外考察和测量，如探槽开挖和活动断裂填图、卫星影像处理、工程钻探、波速测试、卓越周期测试、浅层人工地震勘探和断层气测量、原状土动三期实验、 ^{14}C 年代测定、热释光年代测定和断层泥显微结构鉴定、标准贯入、容重和颗分实验等。在此基础上进行了全面、系统和综合的室内分析、计算和研究工作。

本项目下设 10 个二级课题和 20 个三级课题。主要参加人员有王华林、王志祥、魏光兴、陈时军、孙昭民、王硕卿、王志才、杨峰杰、刁守中、姜早峰、刘西林、申旭华、周翠英、崔桔梅、李同仁、徐峰、林怀存、刘希强、耿杰、钱瑞华、杨和乃、梁更国、陶九庆、杨丽军、李永庆、李言竹、霍兆罔、许坤福、赵雷、卢金川、李慧军、周东海、朱树怀、蒋伟、张渤涛、杨主恩、计凤桔、彭贵等。

本文集是在前人工作基础上，对上述工作的概括和总结。在文集的组稿过程中，我们力图突出这次工作中的新发现、新认识和新成果。例如，华北地区大地震复发活动周期和迁移规律，山东及邻区断裂活动的时空非均匀性，安丘-临朐强震构造区的地震活动趋势和不同震级档次重复间隔以及中国东部地震活动趋势预测，益都断裂带和上五井断裂的活动性状和分段性，山东及邻区的盆地构造与地震的关系和临朐盆地的新构造活动特征，潜在震源区判定原则和方法的细化及近场区潜在震源区的修改和增补，青州市所辖乡（镇）地震危险性分析和城区地震

动参数小区划结果,青州市城区建筑场地类别的综合分区和稳定性评价结果。这些成果已由国家地震局地震烈度评定委员会审定通过,在青州市城区规划、新建工程建筑设计、已建工程建筑震害预测和抗震加固工作中得到了应用,收到了良好的经济效益和社会效益。在介绍这项工作的同时,也向读者介绍了我们采用的一些研究技术思路和方法。例如,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青州市城区地震小区划中的应用,模糊聚类分析方法在青州市城区建筑场地综合分区中的应用,青州市城区土层剪切波速剖面的建立,地层对比、 ^{14}C 年代测定、断层泥热释光年代测定和 SEM 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,活动断裂填图、卫星影像增强处理、探槽开挖、断层气测量、浅层人工地震勘探和工程钻探等多种方法在断裂活动性鉴定中的应用,以及工程活动断裂评价与对策方法在双山-李家庄断裂工程评价中的应用。这些研究技术思路和方法在青州市城区地震小区划工作中得到了检验,是行之有效的。相信它们可供从事此项工作的科技人员借鉴。

本文集本着百花齐放、推陈出新的方针,汇集了 22 篇科研论文。毋庸置疑,这些文章既反映了青州市城区地震小区划工作中的新思路、新认识和新成果,又难免会存在某些不足和疏漏,甚至对同一个问题并举了不同认识。

青州市人民政府支持了该项目的研究。项目执行过程中,得到了青州市人民政府和有关部门的领导,山东省地震局汤永安总工程师、李金泉副局长,潍坊市地震局林玉海局长的关心和支持。在此一并致以感谢。

王华林

1995 年 5 月

目 录

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| 青州市城区地震小区划成果综述 | 王华林等(1) |
| 华北地区大地震复发周期及迁移特征 | 王华林等(9) |
| 山东断裂活动的时空非均匀性研究 | 王华林等(21) |
| 山东地区及沿海海域地震活动性分析和地震趋势预测 | 刘希强等(27) |
| 山东及邻区盆地构造及其与地震的关系 | 耿 杰(36) |
| 山东历史地震活动特征 | 季同仁等(47) |
| 沂沭断裂带弱震与活断层关系研究 | 魏光兴等(55) |
| 沂沭断裂带北部地区地震重复性研究 | 刁守中等(61) |
| 青州及邻区现代构造应力场与震源破裂特征研究 | 周翠英等(67) |
| 沂沭断裂带北部中小地震背景空段的追踪研究 | 刁守中等(75) |
| 青州及邻区地壳厚度和介质参数的测定 | 林怀存 刘希强(82) |
| 青州及邻区卫星影像的线性构造解译 | 杨峰杰等(88) |
| 青州及邻区断裂分段活动及其与临朐盆地的关系 | 孙昭民 王志才(95) |
| 临朐盆地新构造活动特征 | 王志才 孙昭民(103) |
| 青州及邻区第四系划分与沉积速率研究 | 王华林 王硕卿(110) |
| 青州市城区地震小区划潜在震源区判定 | 王华林 王志祥(117) |
| 双山-李家庄断裂的工程评价与对策 | 王硕卿 王华林(125) |
| Rn 射气测量在隐伏断层研究中的应用 | 刘西林(134) |
| 模糊聚类法在青州市城区建筑场地综合分区中的应用 | 王硕卿 姜早峰(142) |
| 青州市城区波速和场地卓越周期分区及相关性研究 | 姜早峰(152) |
| 青州市城区地震动参数小区划中的土层剪切波波速剖面的建立 | 陈时军(161) |
| 青州市城区地震危险性分析和地震动参数小区划及其若干问题 | 陈时军(165) |
| 附录一 | (176) |
| 附录二 | (178) |

青州市城区地震小区划成果综述

王华林 王志祥 魏光兴 陈时军
孙昭民 王硕卿 王志才 杨峰杰

一、引言

青州市位于郟庐断裂带西侧、北西向惠民-诸城地震带上,在其东南的安丘-临朐强震构造区发生过公元前 70 年安丘 7 级地震和 1829 年临朐 $6\frac{1}{4}$ 级地震。安丘 7 级地震距今已有 2000 多年,临近大地震周期的倍数点,所以地震危险性的研究十分迫切。为了解决青州市抗震设防和地震减灾问题,必须集中力量解决下面一些关键性问题:

(1)断裂和地震活动在空间和时间域上分布的非均匀性,尤其是北西向惠民-诸城地震带的活动性。

(2)近场区断裂活动性状和地震活动趋势。

(3)青州市城区有无断裂通过及其活动性状;如何评价青州市城区的场地稳定性和工程建筑场地类别。

(4)青州市城区地震动参数小区划;不同区域 50 年超越概率为 63%、10%和 3%的地表土层水平加速度峰值和反应谱;青州市所辖乡(镇)50 年超越概率为 10%的地震烈度。

在青州市城区地震小区划工作中,对以上诸问题我们采用了先进的、考虑地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法,整个技术思路如图 1 所示。

二、区域地震构造背景

青州市位于华北地震区内。区域主要断裂带有郟庐断裂带、河北平原断裂带、山西断裂带和燕山-渤海断裂带。郟庐断裂带总体为北北东向右旋走滑逆断裂带。河北平原断裂带和山西断裂带为右旋张性断陷带,主要由新生代盆地和凸起组成,总体呈北北东向排列。燕山-渤海断裂带是一条北西西向复合断裂带,在与上述北北东向三大断裂带相互交汇处彼此改造,形成一条复杂的扭曲畸变的断裂带。郟庐、河北平原、山西和燕山-渤海四条断裂带是区域性的地壳、上地幔变异带及航磁、重力和形变梯度带。华北地区 7 级和 7 级以上强震都分布在这四条区域性的主要断裂带上。北北东向断裂和北西西向断裂是华北地区主要的控震断裂,它们相互交切在空间分布上构成了华北地区强震活动非均匀图象。

山东及邻区断裂活动具有明显的时空非均匀性。断裂活动的空间非均匀性主要表现在断裂活动具有分区性、分段性和分带性。全新世活动断裂集中在强震构造区内,断裂活动沿断裂走向显示出强、弱交替活动和有规律地逐渐衰减,北北东向沂沭断裂带和聊考断裂带以及这两

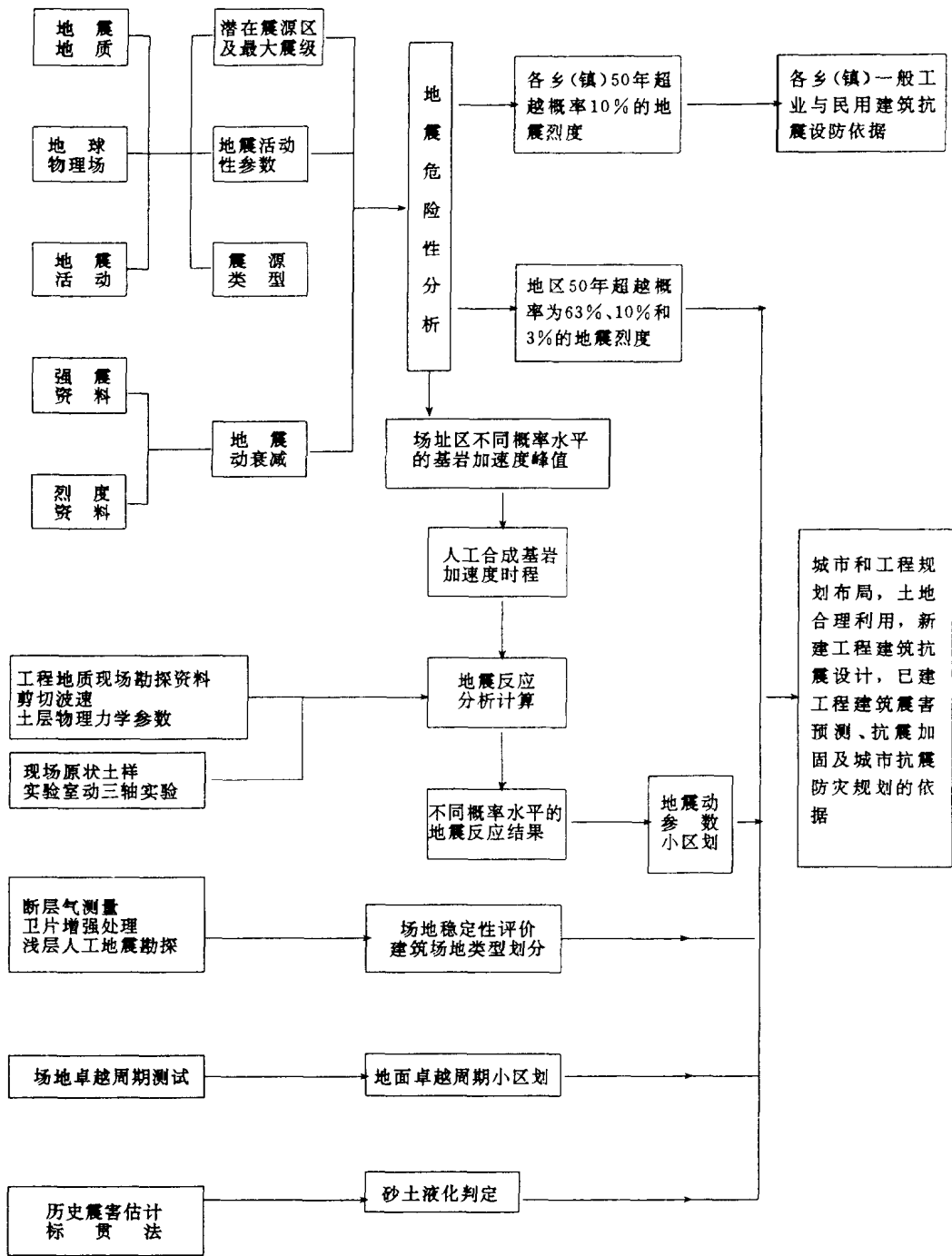


图1 青州市城区地震小区划工作技术思路框图

条断裂带内的平行断裂显示出东强西弱的分带活动特征。断裂活动的空间非均匀性必然导致地震活动的非均匀性。这种断裂和地震活动的非均匀性为潜在震源区的边界划分和震级上限确定提供了重要依据。断裂活动时间非均匀性表现在晚更新世晚期(2万—3万年)是山东及邻区断裂的整体活动时期,全新世以来断裂活动强度趋于减弱,活动范围趋于缩小,粘滑破裂显

示出上千年的群聚破裂周期。这种断裂活动的时间非均匀性和粘滑破裂的周期性,为我们判定断裂的地震危险程度提供了重要依据。

地震活动与盆地构造密切相关,强震多发生在断陷盆地内或断陷盆地与隆起过渡带靠近盆地的一侧。不同性质的盆地其地震活动强度、频度和发生地震的位置不同。盆地性质和形成时代大致相同的盆地,地震活动强度与盆地的第四系厚度、面积和体积呈正相关。复式地堑盆地具有地震活动强度大、频度高的特点,地震发生在盆地的边缘或边缘外侧。压扭和混合型箕形盆地的地震活动强度大于张扭型盆地的地震活动强度,地震发生在盆地陡深一侧及其外缘。两拉分盆地之间的段落往往发生强烈地震。复式地堑盆地和拉分盆地的面积、第四纪厚度和盆地体积越大,发生地震的强度和释放的能量也就越大。

三、区域地震活动特征

华北和山东地区地震活动在空间上的非均匀性主要表现为条带、网络、重复、迁移和震源优势分布在特定深度。郯庐断裂带、河北平原断裂带和山西断陷带构成了华北地区三条巨型的北北东向强震活动带。燕山-渤海断裂带与上述三条北北东向断裂带复合形成了十分醒目的北西西向复合地震带。华北7级以上地震沿这四条地震带分布形成地震活动条带。山东地区还可进一步划分出菏泽-临沂和惠民-诸城两条北西向地震带。从地震强度、大地震复发周期、断裂破裂位移量和滑动速率以及地震释放的能量分析,华北地区以山西地震带活动最强,郯庐地震带次之,河北平原地震带相对弱为特征。地震总体由西向东迁移,即由山西地震带向河北平原地震带和郯庐地震带迁移。地震活动呈逆时针迁移,具有填空性。填空的位置是北北东、北东向断裂与北西西、北西向断裂交汇网络结点,形成五星形、三角形和菱形的迁移图象。华北地区在一个大的地震活动期中,同一地区重复发生大地震有渤海区、临汾地堑和渭河地堑三个地区,重复间隔为55—400a不等,渤海强震构造区是一个地震活动的敏感区。山东地区的强震和中强地震具有沿沂沭断裂带和聊考断裂带东西交替发生,以及沿北西西向渤海-蓬莱-威海带东西迁移的现象。

华北和山东地区地震活动的时间非均匀性主要表现在地震活动的周期性。将古地震、历史地震和现代地震放在同一个时间域来考虑,华北地区存在3000a左右的大地震复发活动周期,每一个活动期持续1000a左右,活跃期又可进一步分为250—300a的地震活动幕,活跃幕内含有10—27a的地震群聚活动时段。大地震复发活动周期具有分带特征。山西地震带每条断裂上大地震复发活动周期为2000a左右,郯庐地震带每条断裂上大地震复发活动周期3000a左右,河北平原地震带每条断裂上大地震复发活动周期为5000—7000a。大地震强度和复发周期与发震断裂的方向、性质和深部构造条件密切相关。北北东—北东向右旋走滑断裂地震强度大、周期短、北西西—北西向左旋走滑断裂地震强度小、周期短。断层走向与上地幔隆起平行的地震断裂上地震强度大、周期短;与上地幔隆起斜交的地震断裂上地震强度小、周期长。山东地震活动与华北地震活动具有同步消长关系,渤海-威海带东、西段存在20—60a的迁移周期。

从地震活动期、幕、时段分析,目前华北地区处在大地震活动期的后期,地震活动水平在强度和频度上将低于1966—1976年华北地区的地震活动高潮期的水平。根据地震活动周期、地震消逝率和地震迁移特征分析,山西地震带与燕山-渤海地震带的西北交汇处的延庆盆地发生大地震的可能性最大。滑动自回归模型预测华北在1996年前后有发生6级以上地震的可能

性。能量释放速率、极值理论统计预测和缺震估计结果表明,未来 50a、100a 内郟庐地震带有可能发生个别 7 级以上地震和多次 6 级左右地震;河北平原地震带和燕山-渤海地震带在频度和强度上将有所降低,但仍有可能发生 6.5 级和 6.5 级以上地震。地震活动的周期律和地震活动趋势预测结果,为确定地震危险性分析所需的地震活动性参数提供了依据。

华北一系列强震的地面变形组合、震源断层面解以及套芯法和水压致裂法测定的应力资料表明,华北现代区域构造应力场以北东东-南西西间挤压、北北西-南南东向引张为主要特征,其与水平面的夹角小于 20° 。以青州市为中心的 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ (34.5° — 38.5° N, 116.5° — 120.5° E) 工作区范围的单震、单台和平均震源机制解结果为 P 轴为 $86^{\circ} \pm 9^{\circ}$, T 轴为 $356^{\circ} \pm 9^{\circ}$, P、T 轴的仰角小于 10° ,说明工作区范围处在同华北地区基本相同的构造应力场之中。华北地区的震源破裂性质以北北东的高倾角右旋走滑断裂活动为主,兼有与之共轭的北西西向左旋走滑断裂活动。工作区震源破裂以北北东 (20° — 40°) 和北西西 (290° — 310°) 为主,兼有近南北和近东西向破裂。北北东向破裂性质为左旋压扭性质,北西西向破裂为左旋张扭性质。这些结果为判定潜在震源区的破裂取向和震源类型提供了依据。

四、青州市及邻区地震构造条件与地震活动特征

多种卫星影像增强处理方法获得的 1:20 万青州市及邻区卫星影像解译图和 1:5 万的青州、临朐地区卫星影像线性、环形构造显示,本区有北西、北东、东西和南北四组断裂。不同地质时期的构造应力场具有继承性和渐变性,导致各级断裂的力学性质也具有继承性和渐变性,断裂活动具有分段性,同一条断裂在不同区段表现出活动强度和力学性质的差异。北西—北北西向和北东向断裂是第四纪活动断裂,其中,北西—北北西向断裂的活动强度大于北东向断裂的活动强度。东西和南北向断裂第四纪没有活动或活动弱。

活断层填图、探槽开挖、断层气测量、工程钻探和地震活动资料表明,本区断裂活动的最突出特点是分段、分带和沿断裂走向有规律衰减。组成北西向益都断裂带的益都断裂、双山-李家庄断裂和张店-仁河断裂活动由北东向南西衰减,益都断裂带活动由南东向北西衰减,由南东向北西划分出安丘、临朐和博兴-辛店三个新构造区,分别具有发生 7—7.5 级地震、6.5—7 级地震和 6—6.5 级地震的构造条件。上五井断裂活动具有明显的分段性,双山-李家庄断裂以北和沂源断裂以南的两段落第四纪活动弱。两断裂之间的段落第四纪活动最明显,其中,北段张性右旋走滑运动,南段压性右旋走滑运动。沂沭断裂、上五井断裂和广饶-齐河断裂的活动强度由南东向北西依次减弱。造成断裂活动分段、分带和有规律衰减的原因是断裂活动的平行消减和牵带作用以及断裂规模及其与区域压应力方向夹角的差异。

临朐盆地是由共轭走滑断裂控制的挤压掀斜盆地,其北西和北东边界分别为上五井断裂和双山-李家庄断裂,它们联合控制着盆地的发展、演化。盆地的沉降运动具有时空非均匀性。沉积中心靠近双山-李家庄断裂,说明双山-李家庄断裂的活动强度大于上五井断裂的活动强度,与断裂卫星影象特征和断裂活动性鉴定结果相一致。晚更新世盆地沉降速率较大,全新世以来处于缓慢沉降状态。临朐盆地处在挤压抬升,第四纪沉积面积缩小,逐渐走向消亡的发展阶段。

惠民-诸城地震带共记载发生 $M_s \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震 15 次,其中 7 级地震 1 次, $6 \frac{1}{4}$ 级地震 1 次, $4 \frac{3}{4}$ —5.9 级地震 13 次。沿地震带地震活动强度由南东向北西逐渐减弱,中强地震具有原地重

复和成组活动的特点。多种方法预测结果表明,惠民-诸城地震带未来 50a 缺失 5.5 级地震。地震震源深度统计资料表明,青州市及邻区的地震密集分布在 10—25km 的深度范围内。

沂沭断裂带北部中小地震背景空段的追踪研究结果表明,沂沭断裂北部中小地震空段原为正常活动空段,但从 1990 年开始,形成了约 100km 的中等地震空段。综合地方震尾波 Q 值资料、现代地裂缝资料及地震活动性参数资料进行分析,认为该空段属于闭锁性质的地震空段。

利用新发掘的历史地震资料,采用地震重复率曲线方法、平均地震矩率法和平均位错速率法求得沂沭断裂北部地区 5 级、6 级、7 级和 7.5 级地震的平均重复间隔分别为 150a、590a、2300a 和 5000a。本地区古地震研究结果表明,单条断裂 7 级以上地震的周期为 5000a 左右,7—7.5 级地震的消逝率为 0.4 左右,发生 7 级以上地震的危险程度不高。综合分析认为,安丘—临朐强震构造区已进入闭锁阶段,正在孕育新的地震。目前,该地区近期小震分布条带不甚明显,地震频度和释放能量较低,没有低 b 值异常,认为今后几年不会发生中强地震。

利用 37 个地震资料计算得出青州市及邻区的平均地壳厚度为 37.3km, V_P 为 6.2km/s, V_S 为 3.58km/s, $V_{P//}$ 为 6.39km/s, $V_{S//}$ 为 3.74km/s, $V_{P//}$ 为 8.04km/s, 虚波速度 V_4 为 8.45km/s, \bar{Q} 为 371。青州市及邻区的 Q 值高于沂沭断裂带南段、长岛、烟台等地,反映这一地区的介质强度比其他地区大。

五、青州市城区稳定性评价及地面震害预测

多种卫星影像增强处理、 R_n 气和 γ 射线测量及浅层人工地震勘探资料表明,青州市城区及邻近地区有北北西、北东、东西和南北向四组断裂,其中双山-李家庄断裂是通过青州市城区西南角的一条至关重要的断裂,它通过青州市城区的段落为 III 级 C 类活断裂,具备发生 5—6 级地震的构造条件。双山-李家庄断裂是一条“警告断裂”,具有中强—弱活动度,处在高危险阶段,2070 年为中强地震发生的逼近时间。结合国内外一些地震断裂震中烈度和震害指数衰减关系的研究成果,提出了各类工程建筑避开双山-李家庄断裂的安全距离(王硕卿等,本文集)。

历史地震影响场资料的分析结果表明,青州市城区历史上遭受的地震破坏主要来自郯庐地震带和惠民-诸城地震带内发生的地震。公元前 70 年安丘 7 级地震,青州受到破坏,“山崩、坏城廓室”。1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震,青州“树房倒垂至地,坏官民房无数,人畜死亡甚多”。这两次地震的影响烈度分别达 VII 度和 VIII 度。1829 年益都、临朐间 $6\frac{1}{4}$ 级地震,使青州、临朐“民舍倾倒,压死数百人”,影响烈度达 VI—VII 度。青州市城区没有砂土液化的记载。

宏观和微观液化势判定结果表明,青州市城区地下 15m 以上地层中有两个可液化层,分别为第二层粉质粘土中的粉土夹层和第三层粉土层。标准贯入法液化判别结果显示 7 号和 13 号孔附近在 VII 和 VIII 度情况下可产生轻微液化。本次砂土液化判定是在取历史最高地下水水位(2m)情况下进行的。目前青州市城区地下水一般在 20m 以下,随着青州市经济发展,用水量还将进一步增大,地下水恢复到历史最高水位的可能性很小。因此,青州市城区砂土液化的可能性甚小。

六、青州市城区工程建筑场地综合分区

青州市城区位于山前平缓地带,第四系厚度由南向北,由 40m 逐渐加深至 160m 左右。

根据地下 15m 范围内土层厚度加权平均得到的各孔 15m 内平均承载力、场地地形地貌、第四系厚度和土层结构(α),将青州市城区分为 A、B、C₁ 和 C₂ 四个工程地质区。A 区,第四系厚度较薄,土层 15m 以上平均承载力高,场地土类型为中硬土。B 区:第四系厚度 40—60m,土层 15m 以上平均承载力较高,场地土类型为接近中硬土的中软土。C 区:第四系厚度较大(80—160m),土层 15m 以上平均承载力中等至较低,场地土类型为中软土。由 C 区到 A 区,土层抗震结构由弱到强。

青州市城区 15m 以上地层的平均剪切波速在 210—240m/s。南阳河两岸为波速低值区, V_{s_m} 值在 210—225m/s 之间,低值区两侧为 V_{s_m} 高值区, V_{s_m} 值在 225—240m/s 之间。5 个深孔的波速测试结果表明,剪切波速大于 500m/s 的土层深度在 30—40m 范围内,该深度层为 Q₂ 粘土和砾石层。综合分析,最终确定本区覆盖层的厚度为 40m。该深度层作为地震动输入的反射界面和判定工程建筑场地类别的覆盖层厚度。根据波速测试结果和《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》的建筑场地类别判定原则,认定青州市城区的场地土类型属中软土,工程建筑场地类别为 II 类。

依据各测点的场地卓越周期测试结果,将青州市城区划分为 A、B、C 三个区域。A 区,位于城区西南部,属于山前平原的后缘,第四系较薄,场地卓越周期为 0.20—0.24s,反映场地土为中硬场地土,建筑场地类别属 II 类强建筑场地。B 区,位于青州市城区中心地带,属山前平原的中部,场地卓越周期为 0.24—0.30s,反映了场地土为中软土,建筑场地类别属 II 类建筑场地。C 区,位于青州市城区东北部,属山前盆地的前缘地带,场地卓越周期为 0.30—0.40s,建筑场地类别为 II 类弱建筑场地。场地卓越周期大小与第四系厚度密切相关,场地卓越周期由南向北由小变大,与第四系厚度由南向北、由小变大相一致。

选取场地卓越周期(T)、土层 15m 以上平均承载力(f_m)、剪切波速(V_{s_m})和土层结构(α)及第四系厚度(H)作为基本因子,通过数据标准化、标定和聚类分析,对青州市城区建筑场地进行了模糊聚类综合分区。模糊聚类分析的结果将青州市城区分为五个子区,并分析、对比了各子区的基本特性和抗震性能,为青州市城区规划、工程布局和土地使用提供了依据。

七、地震危险性分析与地震小区划

潜在震源区判定及其参数确定是地震危险性分析和地震小区划的重要环节。充分吸收区域地震地质、地震活动性和深部地球物理场的研究成果,在青州及邻区断裂和地震活动性综合评价的基础上,依据不同震级档次潜在震源区判定标志,潜在震源区边界、震级上限、破裂取向及其概率和空间分布函数确定原则和方法,对青州及邻区(117°30'E 至 119°30'E, 36°00'N 至 37°30'N)潜在震源区进行了重新判定,将《中国地震烈度区划图(1990)》中划分的安丘 7.5 级和临朐-博兴 6.5 级两个潜在震源区划分为安丘 7.5 级(边界作了修改)、临朐 7 级和博兴-辛店 6.5 级三个潜在震源区,增补了中石马和高青两个 6 级潜在震源区,并对这五个潜在震源区的地震空间分布函数进行了重新确定和分配。安丘(7.5 级)、临朐(7 级)和博兴-辛店(6.5 级)

三个潜在震源区划分的根本依据是工作中发现了临朐盆地东边界的双山-李家庄断裂有全新世的活动剖面 and 益都断裂带及沂沭断裂、上五井断裂和广饶-齐河三条北北东-北东东向断裂的活动强度由南东向北西方向逐渐衰减这两个基本事实。

利用潜在震源区判定、地震活动统计区划分和地震活动性参数确定的研究成果,采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,选取适合本地区的震源模型和地震动衰减关系,通过分析、计算获得了青州市所辖 27 个乡镇 50 年超越概率为 10% 的地震烈度。27 个乡镇的地震烈度计算值为 6.8—7.1 度。根据《中国地震烈度区划图(1990)》的地震烈度归划原则,青州市所辖 27 个乡镇的地震基本烈度为Ⅵ度,可满足各乡镇一般工业和民用建筑的抗震设防要求。

为了满足青州市城区地震动参数小区划的需要,选取了 5 个控制点,分析计算获得 50 年超越概率为 63%、10% 和 3% 的地震烈度为 5.7 度、7.0 度和 7.6 度,相应的归划烈度为Ⅵ度、Ⅶ度和Ⅷ度。给出了青州市城区地震烈度和基岩水平加速度 50 年和年超越概率曲线及相应的基岩水平加速度反应谱。设计部门可根据工程抗震的设计要求,在超越概率曲线上查取所需要的地震烈度和基岩水平加速度峰值。

震源破裂机制、地震波传播路径和场地条件是影响地震动的主要因素。地震动参数小区划就是在充分考虑上述诸因素的基础上,通过一定的技术途径,给出具体场地的地震动参数在空间上的变化,为建筑规划和抗震设计提供依据。在地震地质、地震活动和地震危险性分析的基础上,进行了基岩加速度时程的合成,共合成 15 条不同超越概率的基岩加速度时程。选取工程钻探、常规实验、波速测试和动三轴实验的有关参数,并以人造地震动时程作为输入,应用一维剪切波理论对青州市城区 37 个控制点进行了土层地震反应分析、计算,获得了各控制点 5 条基岩加速度时程输入时的 50 年超越概率为 63%、10% 和 3% 的地表土层水平加速度峰值和相应的水平加速度反应谱。依据实际计算结果,结合工程建筑场地类别的划分结果,对青州市城区不同超越概率水平下的土层水平加速度峰值和反应谱参数进行了区划,划分出 A、B、C 三个区域,给出了各区域的设计地震参数(陈时军,本文集)。

八、结论与讨论

综上所述,华北地区、山东地区和青州及邻区的断裂和地震活动的最突出特征是空间和时间域分布上的非均匀性。断裂和地震活动的空间非均匀性主要表现为分区、分带和分段,形成条带、网络、重复和迁移特征。断裂和地震活动的时间非均匀性主要表现在活动期、活动幕和活动群聚时段不同尺度的周期律特征。青州市城区地震小区划工作采用地震活动时空非均匀性的地震危险性概率分析方法,正是基于断裂和地震活动具有突出的时空非均匀性特征的考虑。地震危险性分析引入超越概率的含意是基于目前地震预报水平和工程建筑投入的经济能力两方面的考虑。安丘-临朐强震构造区已进入闭锁阶段,但 7—7.5 级地震的消逝率为 0.4 左右,近期内没有发生中强地震的征兆,这大大降低了这一地区的地震危险程度。双山-李家庄断裂是一条通过青州市城区西南角的重要断裂,不同重要程度的建筑物要避开适当的距离。青州市所辖乡镇的地震基本烈度为Ⅵ度,可作为一般工业和民用建筑的抗震设防依据。青州市城区工程建筑场地类别总体上为Ⅰ类建筑场地,但又进一步细划出不同的区域。各区域的土层结构(α)、卓越周期(T)、第四系厚度(H)、15m 以上平均承载力(f_m)和剪切波速(V_s)及抗震性能

存在差异,青州市城区规划、建筑布局和抗震设计时应充分注意这种区域上的差异。根据地震动研究结果,青州市城区划分出 A、B、C 三个地震设防小区域,具体工程抗震设计可按各区的地震动参数进行。青州市城区地震小区划的系统研究成果,从工程建筑使用安全、可靠,投资经济、合理的方面为青州市城区和工程规划布局、土地合理利用、新建工程建筑抗震设计、已建工程建筑震害预测和抗震加固及城市抗震防灾规划提供了科学依据。

华北地区大地震复发周期及迁移特征

王华林 王 健 梁更国 杨丽军

一、引 言

大地震的复发周期和迁移特征的研究对地震监测预报、地震危险性分析和地震区划有重要意义。

有关华北地区的大地震复发周期和迁移特征已有不少学者进行过研究^[1-10],获得了许多有意义的认识和成果。但由于种种原因,这些研究有的针对某一条具体的地震断层进行古地震研究,有的则偏重于历史和现代地震进行大区域的研究。就地震活动时空域而言,这些研究仅限于时空域的局部,缺乏完整性。古地震延拓了地震活动的历史,现代地震记录了震源错动力信息,历史地震是连接现代地震和古地震的桥梁,使地震资料连接和完整。基于这一思想,本文把古地震、历史地震和现代地震作为时间域,把郯庐地震带、河北平原地震带和山西地震带围限的华北断块作为空间域,以郯庐地震带、河北平原地震带和山西地震带作为研究单元,研究了华北地区大地震复发周期及迁移特征,以期对华北地区大地震的活动有一个较为系统、全面地认识。

二、大地震复发周期

鉴于华北地区具有7级和7级以上地震可留下供鉴别的古地震地质证据及不易被文字记载所遗漏的特点,因此,本文的大地震是指7级和7级以上地震。华北地区已揭露的古地震和文字记载的 $M_s \geq 7$ 级地震和现代地震分布如图1。自公元前70年以来,华北地区共发生21次大地震(表1),其中历史地震15次,现代地震6次。21次地震中,郯庐地震带发生7次,河北平原地震带发生6次,山西地震带发生8次。另外,在郯城地震断裂、益都断裂、华县地震断裂、怀来-涿鹿盆地北缘断裂、玉皇庙-西羊坊断裂、洪洞地震断裂、五台山北麓活动断裂、菏泽地震断裂、三河-平谷地震断裂、唐山地震断裂和海城地震断裂上也发现多期古地震事件(图1),这些断裂上的古地震事件和大震周期总结如表2中。由表1和表2所列出的地震事件作 $M-T$ 图(图2)。

表1 华北地区 $M_s \geq 7$ 级历史地震和现代地震一览表

| 编号 | 发震时间 年 月 日 | 震 中 位 置 | | | 震 级 | 发震断层 | | 发震间隔 (a) |
|----|---------------|---------|--------|------|--------|------|------|-------------|
| | | 北纬 | 东经 | 地 名 | | 走向 | 性质 | |
| 1 | 1976. 7. 28 | 39. 7 | 118. 5 | 河北滦县 | 7. 1 | NE | 右旋正断 | |
| 2 | 1976. 7. 28 | 39. 4 | 118. 0 | 河北唐山 | 7. 8 | NE | 右旋正断 | 0 |
| 3 | 1975. 2. 4 | 40. 7 | 122. 7 | 辽宁海城 | 7. 3 | NW | 左旋正断 | 1 |
| 4 | 1969. 7. 18 | 38. 2 | 119. 4 | 渤 海 | 7. 4 | NNE | 右 旋 | 6 |

续表

| 编号 | 发震时间 年 月 日 | 震中位置 | | | 震级 | 发震断层 | | 发震间隔 (a) |
|----|---------------|------|-------|---------|-----|------|------|-------------|
| | | 北纬 | 东经 | 地名 | | 走向 | 性质 | |
| 5 | 1966.3.22 | 37.5 | 115.1 | 河北宁晋 | 7.2 | NE | 右旋正断 | 3 |
| 6 | 1937.8.1 | 35.4 | 115.1 | 山东菏泽 | 7.0 | NE | 右旋正断 | 29 |
| 7 | 1888.6.13 | 38.5 | 119.0 | 渤海 | 7½ | NE | 右旋正断 | 59 |
| 8 | 1830.6.12 | 36.4 | 114.3 | 河北磁县 | 7½ | NE | 右旋正断 | 58 |
| 9 | 1695.5.18 | 36.0 | 111.5 | 山西临汾 | 8.0 | NE | 右旋正断 | 135 |
| 10 | 1683.11.22 | 38.7 | 112.7 | 山西原平 | 7.0 | NE | 右旋正断 | 12 |
| 11 | 1679.9.2 | 40.0 | 117.0 | 河北三河-平谷 | 8.0 | NE | 右旋正断 | 4 |
| 12 | 1668.7.25 | 34.8 | 118.5 | 山东郯城 | 8½ | NNE | 右旋正断 | 11 |
| 13 | 1626.6.28 | 39.4 | 114.2 | 山西灵丘 | 7.0 | NEE | 正断 | 42 |
| 14 | 1597.10.6 | 38.5 | 120.0 | 渤海 | 7.0 | NE | 正断 | 29 |
| 15 | 1556.1.23 | 34.5 | 109.7 | 陕西华县 | 8.0 | NE | 正断 | 41 |
| 16 | 1548.9.12 | 38.0 | 121.0 | 渤海海峡 | 7.0 | NW | 正断 | 8 |
| 17 | 1501.1.19 | 34.8 | 110.1 | 陕西朝邑 | 7.0 | NE | 正断 | 47 |
| 18 | 1303.9.17 | 36.3 | 111.7 | 山西洪洞 | 8.0 | NNE | 右旋正断 | 198 |
| 19 | 1038.1.9 | 38.4 | 112.9 | 山西定襄 | 7¼ | NE | 右旋正断 | 265 |
| 20 | 512.5.21 | 38.9 | 112.8 | 山西原平-代县 | 7½ | NNE | 正断 | 526 |
| 21 | 公元前 70.6.1 | 36.3 | 119.0 | 山东诸城-昌乐 | 7.0 | NW | 左旋正断 | 582 |

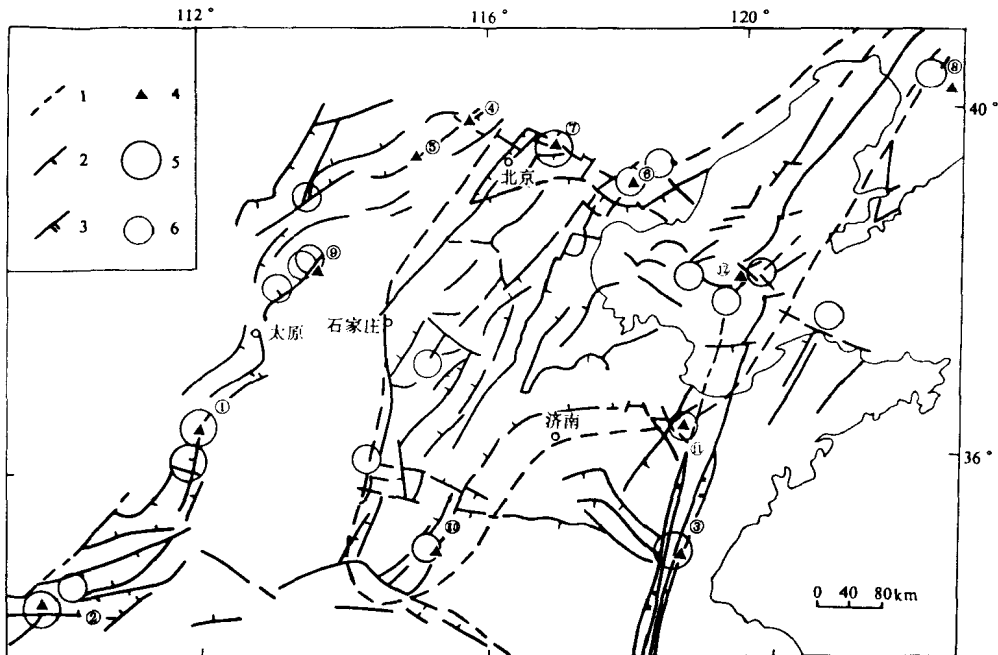


图1 华北地区大地震($M_s \geq 7$ 级)和已揭露的古地震分布图

1. 活动断裂; 2. 正断层; 3. 逆断层; 4. 古地震点; 5. $M \geq 8$; 6. $M = 7-7.9$

- ①洪洞地震断裂; ②华县地震断裂; ③郯城地震断裂; ④怀来-涿鹿盆地北缘断裂; ⑤王皇庙-西羊坊断裂;
⑥唐山地震断裂; ⑦三河-平谷地震断裂; ⑧海城地震断裂; ⑨五台山北麓活动断裂; ⑩菏泽地震断裂;
⑪益都断裂; ⑫渤海震区断裂