

闽南地区 城市活动构造与地震

朱金芳 谢志招 曲国胜 等著
李亦纲 黄宗林 陈建强



科学出版社
www.sciencep.com

闽南地区城市活动构造与地震

朱金芳 谢志招 曲国胜 等 著
李亦纲 黄宗林 陈建强

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面介绍了泉州、厦门、漳州城市活断层探测的技术方法和理论基础,内容包括城市活断层试验探测、活断层定年、定位、深部构造环境探测、地震危险性评价、地震危害性评价以及减灾对策等,是作者继《福州市活断层探测与地震危险性评价》专著出版后,又一部反映我国城市活断层探测理论、方法和应用技术的专著,它在许多方面在方法应用和理论研究上更深入。

本书可供地震、地质、地球物理、土地、城建部门人员以及高等院校的本科生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

闽南地区城市活动构造与地震/朱金芳等著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-021285-6

I. 闽… II. 朱… III. ①城市-活动构造-研究-福建省②地震活动性-研究-福建省 IV. ①P548.257②P315.732.57

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第030904号

责任编辑:谢洪源等/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年4月第一次印刷 印张:31 1/2

印数:1—1 200 字数:726 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

城市直下型地震是城市巨灾的元凶和主要风险源,也是影响城市可持续发展的重要灾害源。1976年唐山地震、1995年日本阪神地震、1999年我国台湾集集地震、1999年土耳其的伊兹米特地震、2001年印度古吉拉特地震、2003年阿尔及利亚地震、2003年伊朗巴姆地震等城市直下型地震,几乎给城市带来了毁灭性的打击;2004年的印度洋地震海啸灾难更是造成人类历史上的罕见巨灾,地震对城市、地震对人类社区环境的毁灭性冲击造成的损失,随着城市和社会经济的发展越来越严重。

国内外破坏性强震震害调查表明,城市活断层,尤其是发震断层及场地环境是导致地震巨灾的根源。首先,中强震频发的城市,尤其是存在直下型中强震的城市,其地震灾害风险远远大于无震或弱震区,如日本、我国台湾、环渤海城市群等;其次,强震地表破裂带是导致并加重城市地面建(构)筑物和生命线工程设施严重破坏,形成破坏性灾害的主因,如台湾1999年集集强震沿车笼埔断裂带使石岗水库大坝和大批建筑物毁坏;1999年土耳其的伊兹米特地震沿地表破裂带造成建筑物和油库的严重毁坏等。隐伏于城市之下的活断层,尤其是发震断层已对城市的发展构成了严重的威胁。

我国是一个活动断层广泛分布的国家,也是一个多地震的国家,地震活动频度高、震级大,地震灾害严重。20世纪全世界1/3大陆地震发生在我国;20世纪我国因地震死亡人数占全世界地震死亡人数的55%;新中国成立以来因地震死亡人数占各类自然灾害死亡人数的一半以上。历史上有许多大中城市,如北京、天津、西安、银川、唐山等,均遭遇过强烈地震袭击。随着我国国民经济的快速增长,都市化进程的加快,人口和物质财富向城市的高度集中,许多大城市将面临着旧城改造,一批新城区将迅速崛起。城市中高层建筑、高架工程和生命线工程越来越多和越来越复杂,一旦发生地震,其破坏也愈加严重。由于过去对活动断层的危害缺乏充分的认识,并受各种条件的限制,未能够对城市活动断层的展布及其地震危险性作出清楚的了解,给城市的安全留下了严重的隐患。因此,应用先进有效的地质与地球物理等探测技术,准确地探明城市及附近活动断层分布,确定直下型地震的震源和危险性是我国城市减灾工作面临的一个非常急迫的实际问题,也是经济建设和社会可持续发展的需要。

福建省东南沿海地区是我国地震重点监视防御区之一,地震活动较为频繁。闽南地区地处我国东南沿海地震带的中段,断裂构造发育,具有发生中强以上地震的地质构造背景。泉州、厦门、漳州三市是闽南地区的政治经济文化中心,也是福建省经济最发达、人口最稠密、财富最集中的地区之一。历史上遭受过多次破坏性地震的袭击,如1604年泉州海外 $7\frac{1}{2}$ 级大地震、1445年漳州 $6\frac{1}{4}$ 级地震和1185年漳州 $6\frac{1}{2}$ 级地震等,有的是直下型地震,造成严重破坏和损失。城市及其周边现今小震及中强地震亦时有发生。前人的有关研究工作表明,泉州、厦门、漳州三市及其周边地区断裂构造发育,以

北东、北西和东西走向的三组断裂为主,第四纪有不同程度的活动,可能存在着晚更新世和全新世活动断层,未来仍具有发生破坏性地震的可能性。根据中国第四代地震动参数区划成果,泉州为具有发生6级地震的潜在震源区,厦门和漳州为具有发生7级地震的潜在震源区(胡聿贤,2001)。多年来,前人在闽南地区进行过大量的区域地质、工程地质和地震地质工作。特别是20世纪七八十年代起,有关部门和单位开展了区域水文地质工程地质调查、区域物化探、区域地质调查和活动断裂地质填图,以及地震小区划和大量的工程场地勘测、钻探与地震安全性评价等工作,还针对地下热水进行了一定范围的水文地质勘探,进行了城市震害预测及减灾对策研究,积累了丰富的基础资料。前人对三城市及周边地区主要断裂的第四纪活动性做过一定的研究探讨,但缺乏系统详细的工作,对第四系覆盖区隐伏断层的探测与研究相对薄弱,特别是对城市活断层的探测与研究现状远远不能满足城市防震减灾与经济发展的需要。

因此,开展闽南三市活动构造探测,查明和鉴定三市主要断层的空间位置、产状、规模和活动性,评估活动构造与地震的关系,对于满足城市规划与建设、土地利用等社会各方面的需求,有效减轻可能遭遇的城市地震灾害,保障人民生命和财产安全,保持社会稳定和可持续发展具有重大的现实意义。

“十五”期间,继福州市之后,泉州、厦门、漳州三市陆续开展了活断层探测与地震危险性评价工作,该项目是福建省政府“十五”重大项目《福建省地震重点监视防御区城市防震减灾体系工程》分项目之一,项目执行时间为2001年至2005年。根据泉州、厦门、漳州三市具体的地震活动和地质构造特征、发展规划和防震减灾需要等实际情况,同时考虑经费投入、工程期限等因素,确定项目总体目标是:查明泉州、厦门、漳州三市城区及其邻近地区具有发生直下型地震能力的主要活断层的空间位置、产状、规模和活动性,评估其地震危险性和地震危害性,为城市建设、土地利用、发展规划和抗震设防等工作提供科学依据。工作区范围的确定以包括或涉及探测城市的区域地震构造单元为原则,目标区是指活断层探测与地震危险性评价所针对的地域。泉州市工作区范围为:东经 $117^{\circ}50'$ ~ $119^{\circ}20'$,北纬 $24^{\circ}14'$ ~ $25^{\circ}35'$,面积 $150\text{km}\times 150\text{km}$;目标区范围为:东经 $118^{\circ}21'$ ~ $118^{\circ}50'$,北纬 $24^{\circ}42'$ ~ $25^{\circ}08'$,面积 $50\text{km}\times 50\text{km}$ 。厦门市工作区范围为:东经 $117^{\circ}30'$ ~ $119^{\circ}00'$,北纬 $23^{\circ}40'$ ~ $25^{\circ}00'$,面积 $150\text{km}\times 150\text{km}$;目标区范围为:东经 $117^{\circ}48'$ ~ $118^{\circ}13'$,北纬 $24^{\circ}25'$ ~ $24^{\circ}40'$,面积 $43\text{km}\times 28\text{km}$ 。漳州工作区范围为:东经 $117^{\circ}00'$ ~ $118^{\circ}30'$,北纬 $23^{\circ}50'$ ~ $25^{\circ}10'$,面积 $150\text{km}\times 150\text{km}$;目标区范围为:东经 $117^{\circ}28'$ ~ $117^{\circ}48'$,北纬 $24^{\circ}25'$ ~ $24^{\circ}40'$,面积 $35\text{km}\times 28\text{km}$ 。根据项目任务,对目标区内的主要断层进行综合分析对比,以经过城区或开发区、具有一定规模、有一定工作基础、已知第四纪有活动为原则,选择确定重点探测的主要断层。同时,根据各阶段的探测成果对目标断层做适当的动态调整。泉州市的目标断层是:清源山断裂、寺角—晋江断裂、乌石山—紫帽山断裂;厦门市目标断层是:文灶—龙山—五通断裂、狐尾山—钟宅断裂、石厝头—高崎断裂、濠头—塔头断裂、筭筭港断裂、适当兼顾探测岛外的海沧—钱屿断裂;漳州市目标断层是:岱山岩—珩坑断裂、珠坑断裂、古塘—大梅溪断裂、九龙江断裂。

城市活断层探测与地震危险性评价工作技术难度大,探索性强,施工环境复杂,探测经验尤其不足。城市活断层探测与地震危险性评价工作也是一项系统工程,涉及到地

壳深浅部构造探测、地球科学综合研究、地震危险性及危害性评价和预测以及城市规划 and 建设等工程性应用的诸多领域。探测和评价工作主要以中国地震局《城市活断层探测与地震危险性评价工作大纲（试行）》为基本依据，借鉴福州市活断层探测和地震危险性评价项目的试验探测及分析评价的技术成果和实施经验，并根据泉州、厦门、漳州三市的地震地质和工程地质特点以及施工条件等实际情况，从技术工作的有效性、先进性和针对性出发，采用地震分析、地质-地貌调查、壤中气汞测量、浅层地震勘探、地壳深部探测、地质钻探、钻孔测井和年代学测试等多种技术方法，以由露头区到隐伏区、由浅部到深部、由控制性探测（初查）到详细探测（详勘）等滚动式渐进探测方式，对泉州、厦门、漳州三市开展了活断层探测、解释、定位与活动性鉴定。在此基础上，探讨活动构造与地震的关系，评价地震危险性和危害性，并建立城市活断层信息管理系统。

主要技术工作内容按工作性质和先后次序分为六个方面或步骤：

1) 初查与断层活动性初步鉴定：通过室内已有地震、地质与地球物理等文献资料收集、汇编和整理，地形图数字化、航卫片遥感信息处理与解译、已有钻孔的地层分层对比与第四系现今构造格架分析，有针对性地开展控制性的地球化学（壤中气汞测量）、浅层人工地震探测，结合目标区地震地质调查、沿断层的条带状地质-地貌填图等工作，综合编制各城市 1:25 万区域地震构造图（工作区）和 1:5 万主要断裂分布图（目标区）等基础图件，建立第四纪地层层序，初步确定目标区主要断层的活动性和空间位置。

2) 目标区及其邻近地区深部地震构造环境探测：地震发生在地壳深部，其孕育和发生与震源附近的地壳结构、物质组成和孕震构造等直接相关。在泉州、漳州、厦门及其邻近地区开展人工深地震反射、折射及宽角折射/反射探测，综合利用地震波速度成像和构造成像方法，揭示目标区及其邻近地区直至深度 15~20km（甚至到下地壳）的地壳精细结构、地壳上部活动断裂的几何形态、深浅构造特征及其与地震发生的关系。

3) 地震危险性评价：在初查和断层活动性初步鉴定等工作基础上，针对目标区内主要断层上断点埋深情况，进行跨断层钻孔探测、探槽揭露、古地震调查和系统的年代测定，确定断层长期滑动习性，综合评价各断层的地震危险性及其未来地表破裂型地震发生的地点和最大震级。

4) 详细探测与综合制图：选择目标区内具地震危险性的主要断层，运用浅层人工地震勘探方法，布置加密测线，进行详细探测，以使主要断层沿迹线的控制和定位精度达到要求，准确确定主要断层的空间位置、产状、规模和活动性质。同时，综合各阶段成果资料，编制 1:1 万断层条带状分布图，修改完善 1:25 万区域地震构造图和 1:5 万目标区主要断层分布图。

5) 地震危害性评价：在活断层地震危险性评价和详细探测的基础上，综合深、浅层地球物理探测成果，建立活断层的三维结构模型，评定主要活断层不同段落未来地震地表变形带特征，并进行强地面运动影响场模拟，针对活断层类型以及城市环境特点，提出城市经济建设中活断层危害防范的对策。

6) 信息管理系统建设：利用高性能计算机，结合各种商用软件的集成和二次开发，建立闽南三市活断层基础数据库和具备对活断层探测成果信息的查询显示、数据管理与

处理等功能的信息管理系统,实现活断层探测的各类信息的整合与管理 and 展示平台。

闽南地区城市活断层探测与地震危险性评价项目由福建省政府及泉州、厦门、漳州市政府共同出资建设,福建省地震局组织实施,中国地震局地质研究所、中国地震局地球物理勘探中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质大学等单位技术协作完成。参加本项目技术工作的主要科技人员有:朱金芳、黄宗林、黄昭、张清香、王善雄、林锦华、黄卿团、庄进耀、王志鹏、谢志招、刘玉森、叶建辉、蔡宗文、张隆、郑师春、黄莉菁、姚道平、陈园田、黄和锵、梁全强、叶盛基、王洪涛、张锦福、游良斌、林松建、赵志伟、连玉平等(福建省地震局);曲国胜、李亦纲、宁宝坤、刘洁、韩竹军、张克旗、卢演涛、田野、谢晓峰、赵瑞斌、陈杰、李岩峰、王海鹰、许建东等(中国地震局地质研究所);张先康、方盛明、刘保金、赵成斌、潘纪顺、杨卓欣、段永红、李长法、袁洪克、潘素珍、石金虎等(中国地震局地球物理勘探中心);徐明才、高景华、柴铭涛、刘建勋、荣立新、王广科、郭庆等(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所);陈建强、田明中、梁世友、姜春亮、王东辉等(中国地质大学)。本专著主要是在闽南地区城市活断层探测工作以及与此相关的后续补充工作的技术成果的基础上,结合作者多年来对活动构造的研究成果,经过进一步资料汇总、修改补充与综合分析完成的。限于篇幅,在内容安排上有所侧重,有些内容做了简化处理。全书由朱金芳、曲国胜、谢志招、李亦纲、陈建强等负责编写,朱金芳最终定稿。谢志招、田野、叶有权、宁宝坤、郑韶鹏、付萍、姚道平、张艺峰等参与了图件制作与处理。

在相关项目实施过程中,中国地震局、福建省政府和泉州、厦门、漳州三市政府有关领导;福建省地震局局长金星,原局长林思诚、黄建发;泉州市地震局局长付建国;厦门市地震局局长叶振民;漳州市地震局副局长张来泉,原副局长刘国平以及福建省地震局和闽南三市地震局的其他有关领导和人员给予了关心与支持,保证了项目的顺利完成。邓起东院士、汪一鹏研究员、卢造勋研究员、杨主恩研究员、陈学波研究员等项目给予了技术指导和帮助。在探测施工过程中,得到了省市公安、城管、交警等有关部门和工作区社会各界的大力支持和配合;在本书撰写过程中,参考并引用了地震、地质、建设等部门和专家的有关研究成果和资料,在此一并表示衷心感谢。

目 录

前言

第一章 区域地震构造环境	1
第一节 区域地质构造概况	2
一、地层与侵入岩概述	2
二、新构造运动特征	4
三、主干断裂构造特征	5
四、闽南地区城市主要断裂及其分布	9
第二节 区域地壳结构与深部构造背景	13
一、重力场特征	13
二、磁场特征	13
三、地壳结构与莫霍面形态	13
第三节 区域构造应力场	14
一、震源机制解	14
二、小震综合节面解	15
第四节 区域地震活动性与动力背景	16
一、地震活动特征	16
二、地壳形变场特征	17
三、地震动力环境	17
第二章 闽南地区第四纪地质环境	20
第一节 福建沿海区域第四纪地层划分与对比	22
一、更新统下部 (2.48~0.73Ma B P)	23
二、更新统中部 (0.73~0.12Ma B P)	24
三、更新统上部 (120~12ka B P)	26
四、全新统 (12ka B P 至今)	28
第二节 闽南地区第四纪地层划分与对比	30
一、泉州市第四纪地层划分与对比	30
二、厦门市第四纪地层划分与对比	53
三、漳州市第四纪地层划分与对比	72
第三节 闽南地区第四纪地层时空格架分析	98
一、第四纪层序地层	98
二、第四纪年代地层格架对比	102
第四节 闽南地区第四纪气候环境	105

第五节 关于东山组时代归属的讨论·····	106
第三章 闽南地区城市主要断裂综合探测与鉴定·····	108
第一节 目标断裂及探测方法综述·····	108
一、概要 ·····	108
二、隐伏断裂地球化学探测 ·····	109
三、钻孔三维层序-构造分析 ·····	113
四、隐伏断裂浅层地震勘探 ·····	122
五、隐伏断裂钻孔探测及年代学鉴定 ·····	131
六、目标断裂综合定位与制图 ·····	131
第二节 泉州市主要断裂综合定位与活动性鉴定·····	132
一、清源山断裂 (F_3) ·····	132
二、寺角—晋江断裂 (F_4) ·····	146
三、乌石山—紫帽山断裂 (F_5) ·····	163
第三节 厦门市主要断裂综合定位与活动性鉴定·····	182
一、文灶—龙山—五通断裂 (F_1) ·····	182
二、狐尾山—钟宅断裂 (F_2) ·····	204
三、石胥头—高崎断裂 (F_3) ·····	217
四、濠头—塔头断裂 (F_4) ·····	219
五、筓筓港断裂 (F_5) ·····	230
六、海沧—钱屿断裂 (F_6) ·····	235
第四节 漳州市主要断裂综合定位与活动性鉴定·····	239
一、岱山岩—玢坑断裂 (F_1) ·····	239
二、珠坑断裂 (F_2) ·····	275
三、九龙江断裂 (F_9) ·····	285
四、古塘—大梅溪断裂 (F_7) ·····	296
第四章 闽南地区深部地震构造环境探测与研究·····	310
第一节 泉州盆地及其邻区深地震反射探测·····	311
一、测线位置与数据采集 ·····	311
二、初至波走时有限差分层析成像·····	314
三、深地震反射资料处理 ·····	319
四、深地震反射资料解释 ·····	326
第二节 漳州盆地及其邻区高分辨折射和宽角反射/折射探测 ·····	332
一、剖面位置与观测系统 ·····	332
二、高分辨折射探测 ·····	334
三、宽角反射/折射探测 ·····	340
第三节 区域深部地壳三维结构·····	368
一、区域深部探测剖面综述 ·····	368
二、闽南地区深部地壳三维结构 ·····	376

第五章 闽南地区城市地震危险性评价	383
第一节 地震危险性评价的技术途径.....	383
第二节 区域地震构造与地震活动性.....	384
一、历史强震分布及其与活动断裂的关系	384
二、区域地壳运动与动力学背景	388
三、区域历史地震活动性分析	390
四、单个地震构造段地震活动水平对比	391
五、地壳深浅部构造关系及地震危险性分析	391
第三节 闽南地区地震危险性数值模拟评价.....	394
一、评价方法	394
二、断层深部不均匀滑动的反演计算	394
三、三维黏弹性有限单元模拟模型的建立	401
四、数值计算结果与分析	404
第四节 泉州市主要断裂的地震危险性评价.....	412
一、主要断裂及其活动性特征	412
二、主要断裂的潜在地震危险性评价	413
第五节 厦门市主要断裂的地震危险性评价.....	417
一、主要断裂及其活动性特征	417
二、主要断裂潜在地震危险性评价	418
第六节 漳州市主要断裂的地震危险性评价.....	419
一、主要断裂及其活动性特征	419
二、主要断裂潜在地震危险性评价	420
第七节 概率法地震危险性评价.....	422
一、闽南地区及其邻区潜在震源区划分	422
二、潜在震源区震级上限的估计	423
三、破坏性地震的复发间隔与发生概率	424
第八节 福建沿海地震危险性综合评价.....	425
第六章 闽南地区城市地震危害性评价	427
第一节 评价方法.....	427
一、隐伏断裂地表变形带预测方法	427
二、强地面运动预测方法	433
第二节 泉州市活断层地表变形带预测.....	438
一、计算参数的确定	438
二、地表变形带预测	440
三、地表变形带特征评价	441
第三节 厦门市活断层地表变形带预测.....	444
一、计算参数的确定	444
二、地表变形带预测	445

三、地表变形带特征评价	446
第四节 漳州市活断层地表变形带预测	447
一、计算参数的确定	447
二、地表变形带预测	448
三、地表变形带特征评价	451
第五节 泉州市活断层强地面运动预测	452
一、介质与断层模型	452
二、三维有限差分模拟计算	452
三、PEXT 方法模拟计算	454
四、近断层强地面运动评价	455
第六节 厦门市活断层强地面运动预测	456
一、介质与断层模型	456
二、三维有限差分模拟计算	457
三、PEXT 方法模拟计算	458
四、近断层强地面运动评价	459
第七节 漳州市活断层强地面运动预测	460
一、介质与断层模型	460
二、三维有限差分模拟计算	461
三、PEXT 方法模拟计算	462
四、近断层强地面运动评价	464
第八节 福建沿海地震危害性综合评价	464
第七章 闽南地区城市活断层信息管理系统	466
第一节 活断层信息管理系统概述	466
一、系统逻辑结构	466
二、系统的功能组成	467
三、数据存储与管理	468
四、数据库内容	469
第二节 活断层信息管理系统的应用服务	471
一、成果展示与查询模块	471
二、系统维护模块	472
三、系统运行机制设计	473
四、系统查询功能实现的技术路线	473
第三节 用户界面及系统特点	474
一、用户界面	474
二、系统特点	475
第八章 主要结论	479
一、区域地震构造环境	479
二、第四纪地层及其沉积环境	479

三、主要断裂产状与活动性	480
四、深部地震构造环境	481
五、地震危险性评价	482
六、地震危害性评价	482
七、活断层信息管理系统	483
主要参考文献	485

第一章 区域地震构造环境

福建沿海及其邻区地处我国东南沿海大陆边缘，靠近欧亚板块与菲律宾海板块的会聚边界——我国台湾地区（图 1-0-1）。菲律宾海板块的向西推挤以及欧亚板块的向东仰冲相互作用于台湾岛，形成以中央山脉隆起区为主的台湾挤压构造变形带，成为现今最强烈的地壳构造变形区之一，发育着大量近南北向活动逆断层，地震活动频度高，强度大。从台湾向西的台湾海峡沉降区和武夷—戴云隆起区等两个北东向活动构造单元的构造变形和地震活动已相应减弱，但仍属我国大陆东南沿海地震活动最强的地区，是东南沿海中强地震活动带的主体活动构造区（马杏垣，1987）。

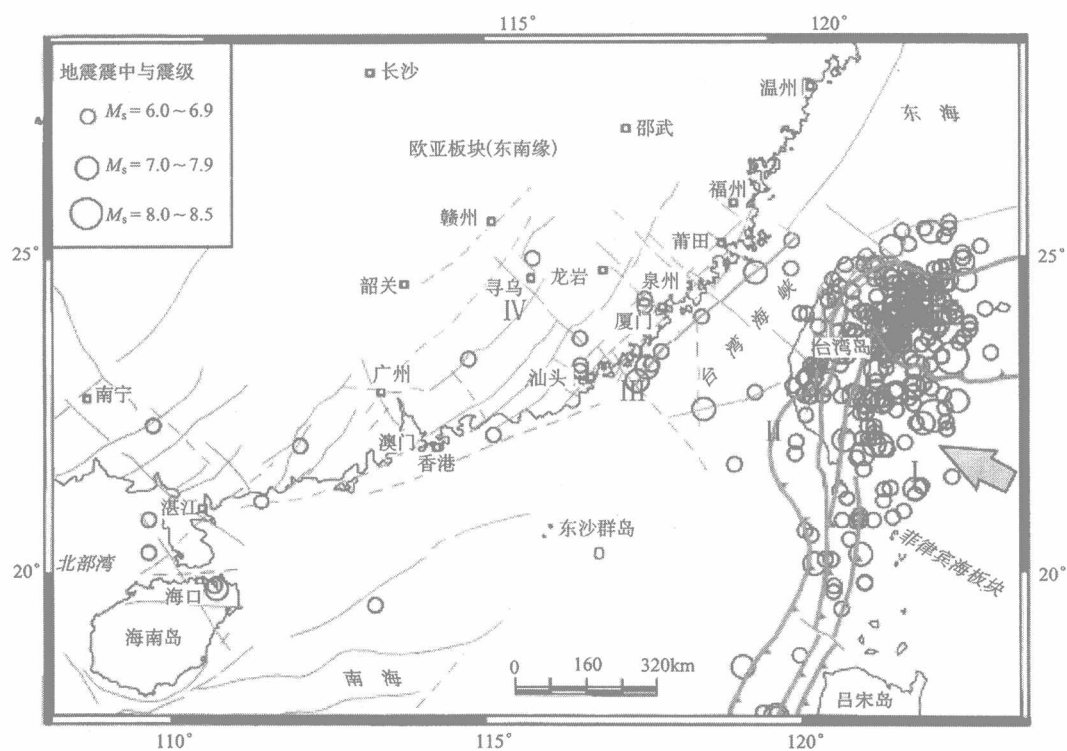


图 1-0-1 东南沿海及其邻区地震构造纲要图

灰色粗线为板缘活动断裂，细线为海峡及内陆地区的弱活动断裂；活动构造单元划分：I．菲律宾海拗陷带；II．台湾中央山脉隆起区；III．台湾海峡沉降区；IV．武夷—戴云隆起区

第一节 区域地质构造概况

一、地层与侵入岩概述

福建沿海及其邻区出露的前第四纪地层主要为石炭系—二叠系、晚三叠世—中侏罗世地层、上侏罗统—下白垩统及新近纪地层, 石炭纪—二叠纪地层仅出露于本区西北角的龙岩一带; 在福清高山及平潭等地有前泥盆纪地层零星分布, 岩性主要为云母石英片岩与变粒岩互层; 在永泰长庆等地还有零星的早、中侏罗世沉积地层出露。零星分布的第四系为典型的海陆交互相沉积(福建省地质矿产局, 1985)。

1. 前第四纪地层

区内广泛出露晚侏罗世地层, 其次为晚三叠世—中侏罗世地层、早白垩世及新近纪地层, 石炭纪—二叠纪地层仅出露于龙岩一带。

(1) 石炭系—二叠系 在区内呈北东走向展布于漳平—龙岩一带, 早期为碎屑岩沉积, 中期为碳酸盐类沉积, 晚期为含煤沉积。自下而上划分为林地组、经畲组、老虎洞组、船山组、栖霞组、鸣山组、泉上组、文笔山组、童子岩组、翠屏山组、罗坑组和长兴组等。

(2) 上三叠统一中侏罗统 以灰色砂岩、粉砂岩和砂砾岩类为主, 局部夹中酸性火山岩。自下而上划分为大坑组、文宾山组、焦坑组、下村组、藩坑组、梨山组和漳平组等。

(3) 上侏罗统 在区内大面积分布, 为一套巨厚的沉积—中酸性火山岩系, 称之为南园群。从下到上又可分为长林组、鹅宅组、赤水组和小溪组。

① 长林组 (J_{3c})。为一套陆相火山碎屑—沉积岩系, 岩性主要为灰白、灰绿、紫红色凝灰质砂砾岩, 长石石英砂岩夹细砂岩、砂泥岩、凝灰岩。属大规模火山喷发前的大陆裂陷盆地沉积, 多见于后期的火山喷发盆地的边缘地带, 岩性及厚度变化较大, 出露较零星。

② 鹅宅组 (J_{3e})。为一套巨厚的中、酸性火山岩系, 可分为两个岩性段。下段主要为灰黑色、深灰色英安质熔结凝灰岩、凝灰岩、安山岩、英安岩、英安质凝灰熔岩, 夹凝灰质粉砂岩、泥岩, 出露较为局限。上段主要为浅灰色、浅灰绿色流纹质晶屑(岩屑)凝灰熔岩夹火山碎屑岩, 流纹岩及沉积岩。

③ 赤水组 (J_{3ch})。为一套巨厚的中酸性、酸性火山岩系, 可分为上、下两个岩性段。下段为深灰色、灰色英安岩, 流纹英安质凝灰熔岩、熔结凝灰岩, 夹少量薄层砂页岩。上段为灰白、紫灰色流纹质晶屑凝灰岩、凝灰熔岩、流纹岩、熔结凝灰岩, 偶夹砂页岩。

④ 小溪组 (J_{3x})。为一套陆相沉积—火山喷发岩系, 常呈盆地形态出露于火山喷发带的中心部位, 分布局限。其主要岩性: 下段为灰、深灰色、紫红色凝灰质粉砂岩, 凝灰质砂岩、砂砾岩夹凝灰岩等; 上段为灰、紫灰色流纹质晶屑凝灰岩, 熔结凝灰岩, 流纹岩夹凝灰质砂岩。

(4) 下白垩统 分布面积略小于南园群, 为一套巨厚的紫红色陆相碎屑沉积-火山喷发岩系, 称之为石帽山群, 呈北东或北东东向发育于多个盆地中。按其岩性特征及接触关系、沉积-喷发旋回, 可分为上、下两个组, 四个岩性段。

① 下组 (K_{1sh1})。下段 (K_{1sh1}^a) 岩性为紫、深灰色凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩; 上段 (K_{1sh1}^b) 岩性为紫灰、深灰色的英安岩、安山岩、英安质凝灰熔岩、流纹质凝灰岩、凝灰质粉砂岩等。

② 上组 (K_{1sh2})。下段 (K_{1sh2}^a) 岩性为紫红、灰紫色粉砂岩、粉砂质泥岩夹英安岩、英安质凝灰熔岩; 上段 (K_{1sh2}^b) 岩性上部为浅肉红色钾长流纹岩, 中部为灰紫、暗紫色流纹岩、流纹质凝灰岩, 下部为紫灰、灰紫色钾长流纹岩夹凝灰岩、细砂岩, 粉砂岩。

(5) 新近系佛昙组 在漳浦、龙海东南沿海地带及金门岛有较广泛出露, 为一套基性火山-沉积岩系, 可细分为 3 个岩性段。区内下段与中段较发育, 上段仅局部地区发育。

2. 第四系 (Q)

第四系分布面积狭小, 并以晚第四纪地层为主, 主要分布在福州盆地、长乐平原、莆仙平原, 以及连江、福清、平潭、永泰、泉州—晋江盆地、漳州—九龙江沉积隐伏区以及东南沿海的河流两岸、滨海平原和红土台地之间的坳谷里。成因类型较复杂, 有残积、冲积、冲洪积、海积和风积等。

3. 侵入岩

区内侵入岩分布面积最大, 占全区总面积一半以上。大多属于燕山期构造变动产物, 其次为加里东期侵入岩, 在沿海地带带有少量新元古代花岗岩类侵入岩出露。

(1) 加里东期侵入岩 为志留纪侵入岩, 在漳浦的六鳌、杜浔、金门岛及同安后田、福清高山—沙埔一带以小岩体产出, 总体呈北东向排列, 主要岩性为浅灰色二长花岗岩类。

(2) 燕山期侵入岩 燕山期侵入岩包括了侏罗纪和白垩纪的侵入岩, 其中晚侏罗世及早白垩世侵入岩体的分布最为广泛, 晚白垩世侵入岩仅小面积零星出露。岩石类型复杂, 从基性、中基性到中酸性, 以至碱性岩类均有出露, 但以中酸性-酸性花岗质岩石为主。

① 早侏罗世侵入岩。主要出露在福清青屿、平潭青峰和流水一带, 岩体常呈北东向产出, 岩性主要为浅灰色含斑中细粒闪长岩和浅灰色中细粒花岗闪长岩。

② 晚侏罗世侵入岩。晚侏罗世侵入岩主要分布于沿海地带宽 20~30km 范围内, 总体呈北东向带状展布。另外, 在西北部亦有较大面积的出露, 其主要岩性为灰白色二长花岗岩类及肉红色钾长花岗岩类, 少量浅灰色花岗闪长岩类。

③ 早白垩世侵入岩。大多出露于晚侏罗世侵入岩带的西北侧, 宽约 20km, 总体呈北东向展布, 在西北部有较大面积出露, 主要岩性为浅肉红色花岗闪长岩类、二长花岗岩类及肉红色钾长花岗岩类、晶洞碱长花岗岩类。

④ 晚白垩世侵入岩。呈较小面积零星分布于早白垩世侵入岩带的两侧, 呈北东向排列, 主要岩性为浅灰-浅肉红色的花岗斑岩类。

二、新构造运动特征

1. 新构造运动基本特征

区域总的地势是西北高,东南低,呈阶梯状下降。西部为中低山,中部沿海为低山、丘陵,东部为台湾海峡和台湾岛。西部地区具有多次间歇性的区域抬升运动,发育多级夷平面、台地和河流阶地。从山地高程和夷平面资料显示隆起区由西向东倾斜,具有掀斜的构造运动特征。

区内新构造期以来的地壳运动,以断裂及断块的差异升降活动为特征,其构造变动主要表现为燕山期及喜马拉雅期所形成的北东-北北东、北西-北西西向断裂的重新复活。区域断裂构造主要为北东和北西走向,新生代以来,断裂活动逐渐减弱,海峡以西陆域北北东-北东向断裂活动明显减弱,一些北西向断裂仍具有一定的活动性;福建沿海海域、台湾海峡及台湾岛第四纪以来断裂仍有较强活动,特别是海域内北东向断裂活动仍很强烈。

更新世中期以前,该区一直处于整体隆升遭受强烈侵蚀、剥蚀的状态,形成了区内多级夷平面。更新世中期,构造运动的相对平静及当时湿热的气候条件,造就了区内普遍存在的红壤化风化壳或残坡积层,形成缓坡状起伏的地形地貌。更新世晚期以来,由于区内断块差异升降活动不断加强,在全面海侵的基础上,各地存在明显的差异。断陷盆地区,如漳州盆地、龙海平原、同安、集美—杏林、泉州盆地等,海侵时接受了更新世晚期以来数米至数十米厚的海相、河流相沉积;而在红土台地区及基岩裸露区,侵蚀作用形成了海拔40~50m、20~30m、10~15m三级海蚀平台,仅在坳谷内堆积有数米厚的海相沉积,内夹有黑色泥炭层或淤泥层。

新构造运动在空间上的差异性明显,表现为北东向断裂所分割的条带状差异及北西、近东西向断裂形成的断块差异。断裂与断块的差异活动严格控制着第四纪盆地、平原及海湾的发育。在沿海地带,北东向断裂的活动控制着第四纪小盆地、平原呈北东向分布及北东向的地堑、地垒系与海湾的发育;北西向断裂活动形成了长轴北西走向的一系列盆地和平原。

2. 新构造分区

在对前人资料进行综合分析的基础上,根据新构造运动发育的差异、地貌形态、第四纪沉积物的分布、断裂活动、岩浆活动、地震活动等特征,对区域新构造分区单元进行划分。福建沿海及其邻区新构造分区为:台湾海峡沉降区(Ⅰ)、武夷—戴云隆起区(Ⅱ)。武夷—戴云隆起区(Ⅱ)又可分为闽东沿海差异隆起区(Ⅱ₁)、闽中掀斜隆起区(Ⅱ₂)和闽西断块隆起区(Ⅱ₃)(图1-1-1)。

2.1 台湾海峡沉降区(Ⅰ)

台湾海峡沉降区位于台湾岛弧与大陆之间,基底为大陆型地壳,新近纪至今的沉积物厚度达数千米。区内断块性质的隆起与凹陷较为发育。在海峡区,北部为隆起与拗陷相间,中部为澎湖隆起,南部为盆地。另外,台湾海峡东西两岸的形态有明显的差异,西侧多为“岩岸”,海岸曲折,而东侧大部分为一片低平的冲积平原,岸线简单而平直。

本区历史上地震活动频繁, 最强地震达 $7\frac{1}{2}$ 级 (1604 年泉州海外)。在澎湖群岛见多次玄武岩喷溢。

2.2 武夷—戴云隆起区 (II)

武夷—戴云隆起区 (II) 大致位于邵武—河源断裂带以东, 滨海断裂带以西, 以继承性断裂活动、断块差异运动为基本特征, 为大面积间歇性抬升区。根据运动形式和幅度的差异, 大致以政和—海丰断裂带和长乐—诏安断裂带为界, 分为闽东沿海差异隆起区、闽中掀斜隆起区和闽西断块隆起区 3 个二级区。

(1) 闽东沿海差异隆起区 (II₁) 该区主要发育有北东向长乐—诏安和北西向闽江、沙县—南日岛、永安—晋江、九龙等断裂带, 总体表现为缓慢的抬升状态。由于长乐—诏安断裂带在第四纪早期的断块差异运动, 形成了沿海地区自西向东有序排列的低山、丘陵、台地、平原和沿海岛链带地貌景观。在不同方向断裂交汇部位, 往往发育第四纪断陷盆地, 如泉州盆地、漳州盆地等。盆地内发育晚更新世—全新世海陆交互相堆积。盆地之外的沿海地区为红土台地平原, 台地海拔一般在 50m 以下。晚更新世以来, 除一些北西向断陷小盆地具间歇性下降外, 大部分地区仍处于缓慢间歇性抬升状态, 普遍发育三级河流阶地。历史上区内发生过一系列破坏性地震, 最大为 1185 年漳州盆地 $6\frac{1}{2}$ 级地震。

(2) 闽中掀斜隆起区 (II₂) 位于政和—海丰断裂带与长—诏带西界断裂之间。区内为强切割的中、低山地貌, 山脉以北东走向为主, 海拔高 800~1200m, 发育有海拔 >1200m、1000m、700~800m、600~650m、350~400m 共 5 个剥蚀夷平面, 自西向东呈台阶式排列。新生代以来长期隆起, 海拔在 1000m 以上, 如戴云山 1858m、苦笋尖峰 1666m, 河流侵蚀深度 500~1000m 以上。横向及纵向切割山脉的北西及北东向河流构成了区内的网格状水系。切割深度达 500~1000m, “V” 型峡谷发育, 河床内多基岩裸露, 河流纵比降很大, 河流阶地不甚发育, 仅在河谷宽广地段, 才发育有相对高度分别为 3~5m、10~20m、30~50m 三级阶地。地势自东向西掀斜上升, 戴云山脉等西坡陡峻, 东坡和缓。高、低二级夷平面也显示西高东低的特点, 表现该区由西向东掀斜。本区温泉众多, 历史上只发生过 5~6 级地震。

(3) 闽西断块隆起区 (II₃) 该区属武夷山和戴云山隆起间的相对低洼地带。新生代以来处于大面积隆升, 晚白垩世发育的断陷红盆普遍抬升成山, 未接受新生代沉积。峰顶海拔一般在 1200m 以上, 属中山区。本区南北又有差异, 闽西北以大面积上升为主, 差异活动不明显; 闽西南断块差异活动较明显, 地形起伏较大。区内温泉较多, 地震活动较弱。1997 年 5 月 31 日在本区发生过永安小陶 5.2 级地震。

三、主干断裂构造特征

福建沿海地处东南沿海地震带, 发育着北东向和北西向二组共轭断裂带 (图 1-1-1)。北东向断裂主要包括长乐—诏安断裂带和滨海断裂带 (牛山岛—兄弟屿断裂), 其中前