



中国城市活动断层探测丛书

主 编 徐锡伟

副主编 方盛明 丁志峰 冉勇康 杜 玮

# 广州市活动断层探测 与地震危险性评价

梁 干 吴业彪 等 ◆ 著



科学出版社

国家发展和改革委员会项目“城市活动断层试验探测”(2004-1138)资助出版

“我国地震重点监视防御区活动断层地震危险性评价”项目(1521102200025)资助出版

“中国地震活动断层探索”项目资助出版

## 中国城市活动断层探测丛书

主 编 徐锡伟

副主编 方盛明 丁志峰 冉勇康 杜 玮

# 广州市活动断层探测 与地震危险性评价

梁 干 吴业彪 等 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书根据对广州市目标区及其周边地区活动断层高分辨率航卫片解译、浅层地震勘探准确定位、钻孔联合探测、地震地质调查和古地震探槽开挖等大量活动断层探测、鉴定及深部地震反射探测工作等,构建了三维第四系地层框架,在此基础上进行了地震危险性评价和基于强地面运动计算等地震危害性评估,为广州城市规划建设避让活动断层灾害提供了科学依据。

本书可供高等学校构造地质、地球物理探测、构造物理试验、工程地质与地震工程专业师生,科研院所研究人员,工程建设部门人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

广州市活动断层探测与地震危险性评价/梁干等著. —北京:科学出版社, 2013. 9

(中国城市活动断层探测丛书/徐锡伟 主编)

ISBN 978-7-03-037757-9

I. ①广… II. ①梁… III. ①活动断层-探测-广州市②地震活动性-研究-广州市 IV. ①P548.265.1②P315.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 123977 号

责任编辑:谢洪源 张井飞 韩 鹏/责任校对:刘亚琦

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>

北京天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 9 月第一次印刷 印张:28 1/2

字数:650 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《中国城市活动断层探测丛书》编委会

主 编 徐锡伟

副主编 方盛明 丁志峰 冉勇康 杜 玮

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

包东健 柴炽章 陈宇坤

冯希杰 郭文生 郭玉贵

郭跃宏 韩竹军 火恩杰

胡 平 李炳乾 李自红

梁 干 马贵仁 闵 伟

沈 军 宋 权 苏 旭

田勤俭 王 彬 吴卫民

吴业彪 杨晓平 于贵华

袁道阳 张建国 张黎明

张新基 章振铨 赵国敏

## 本书主要作者

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 梁 干 | 吴业彪 | 章林云 |
| 郭良田 | 郭钦华 | 潘建雄 |
| 康 英 | 陈小芳 | 陈庞龙 |
| 马浩明 | 申旭辉 | 方盛明 |
| 刘保金 | 周 庆 | 冉洪流 |
| 赵伯明 |     |     |



# 总 序

大地震是对城市破坏性最大、危害最严重的突发性自然灾害。例如，美国旧金山（1906 年）、哈萨克斯坦阿拉木图（1911 年）、日本东京（1923 年）、危地马拉南埃昆特拉（1976 年）和中国唐山（1976 年）均遭到过大地震的毁灭性破坏，这些城市在地震时顷刻间被夷为平地。1976 年唐山地震死亡人数达 24.2 万人，成为 20 世纪地震人员伤亡之最。20 世纪 90 年代以来，随着经济的高速发展、社会财富的迅猛增长和人口的高度集中，城市地震不但造成了大量的人员伤亡，而且经济损失也呈直线上升趋势。例如，美国洛杉矶北岭地震（1994 年）造成的直接经济损失达 350 亿美元；日本阪神地震（1995 年）使大阪和神户地区的地面建筑、公共交通设施等遭到了致命性的创伤，造成 6400 多人死亡，直接经济损失高达 1000 亿美元；土耳其伊兹米特地震（1999 年）造成 18 000 多人死亡，直接经济损失达 200 亿美元；台湾集集地震（1999 年）造成 2400 多人死亡，直接经济损失达 92 亿美元。

巨大的城市地震灾害主要是由位于城市之下的活动断层突然快速错动所导致的直下型地震引起的。此外，城市附近活动断层导致的地震也可诱发城区活动断层的活动，加重断层线上建筑物的破坏和地面灾害。

大量的震例表明，活动断层不仅是产生地震的根源，而且地震时沿断层线的破坏最为严重，人员伤亡也明显地大于断层两侧的其他区域。7.0 级以上地震往往造成地表数米的错动，目前的抗震设防措施还难以阻止这样大的错动对人工地面设施的直接毁坏。例如，1976 年唐山地震震中区破坏殆尽的严重震灾带沿唐山 5 号断层这一发震断层分布；1995 年日本阪神地震的重灾带集中在野岛-会下山-西宫断层沿线，据 1995 年 3 月日本朝日新闻报道，90% 以上的震亡人数集中在沿断层 2~3km 的宽度范围内；1999 年土耳其伊兹米特地震的重灾带集中在北安纳托利亚断层西段的北分支上，建在该断层上的建筑物基本上全部倒塌，而在两侧距断层仅几十米的建筑物主体结构的破坏则轻得多；1999 年台湾集集地震也将建在车笼埔断层上及其两侧十几米范围内的几乎所有建筑物夷为平地，包括一个坚固的地下军火库，而十几米以外的建筑物则基本完好；同样，汶川地震的重灾区带也主要沿龙门山推覆构造带中段的北川-映秀断裂和彭县-灌县断裂线状分布。

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 世纪我国因地震造成的死亡人数占全世界地震死亡人数的 55%。在我国各种自然灾害引起的死亡人数中，因地震造成的死亡人数也占 55% 左右。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的地震袭击。1900 年以来，死亡人数在 20 万以上的城市地震就发生在我国（1976 年唐山）。

我国有近二分之一的城市、近三分之二百万以上人口的大城市，包括 22 个省会城市均位于地震基本烈度Ⅶ度或Ⅶ度以上的高烈度区。更为严重的是，北京、上海、天

津、西安等数十个大中城市的城区范围内都已发现活动断层存在的迹象。

许多城市位于第四纪松散沉积物覆盖区，城市建筑环境复杂，断层在地表出露不明显。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，迄今为止尚未能对城市活动断层的展布位置及其地震危险性做出清楚的了解，给城市的安全留下了严重的隐患。例如，在北京地区的一些活动断层上曾发生过 1679 年三河-平谷 8 级地震、1730 年颐和园 6½ 级地震、1057 年大兴 6¾ 级地震等，它们都对北京城区造成了严重的破坏。20 世纪六七十年代的石油物探资料表明，北京市城区还存在良乡-前门-顺义断层、莲花池-西四断层和车公庄-德胜门断层等，1976 年唐山地震时，这些断层沿线的震害都明显加重，但这些断层的活动性尚不清楚，一旦活动引发直下型地震，其造成的人员伤亡和经济损失将不堪设想。

21 世纪是我国经济腾飞和西部大开发战略实施的重要时期。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，地震产生的破坏将更加严重。通过开展活动断层的探测和评价，准确了解活动断层的分布和危害性，并采取有效措施，可以大大减轻地震灾害。

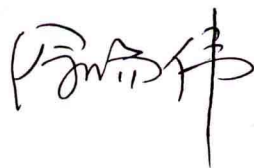
目前我国地震形势依然严峻，地震对城市的威胁不容忽视，开展大城市活动断层探测与地震危险性评价是减轻城市地震灾害的当务之急。通过开展大城市活动断层探测与地震危险性评价，使城市新建的重要设施、生命线工程、居民小区等尽可能地避开活动断层，对已建在活动断层上的重要建筑设施尽早采取防范措施，能有效地减轻城市地震损失，保障人民生命财产安全，保持社会稳定和经济建设可持续发展，实现国务院提出的防震减灾十年目标。

受国家发展和改革委员会资助，以及地方政府的大力支持，中国地震局牵头组织实施了“城市活动断层探测与地震危险性评价”科学工程，计划用 10 年左右的时间分阶段对人口在 100 万以上、存在活动断层且地震危险性高的重要大城市进行活动断层探测。2004~2008 年已对包括北京、上海、天津等在内的 20 个大城市开展了活动断层探测，鉴定出了 26 条具有发震能力的地震活动断层，查明了这些活动断层准确的空间位置、规模、活动性和地震危险性，针对性地提出了活动断层危害的防范对策和工程措施。

本丛书是对上述探测成果的一个阶段总结，包括城市活动断层试验探测期间获得的活动断层鉴定、地震危险性评价和危害性分析等理论方法的重要进展和部分城市活动断层探测、鉴定及其地震危险性和危害性评价等方面的主要成果，可为相关城市在进行土地利用、地震应急预案和抗震设防标准制定等工作时参考，提高我国大城市抗御地震灾害的能力，提高我国地震预测预报和震害预防的科学技术水平，有效减轻地震灾害及其对社会经济的冲击和影响，保障社会稳定与人民生命财产安全，显著提高社会经济可持续发展能力；也可对相关城市的重要建筑设施、生命线工程合理地避让活动断层及其危害影响带提供科学依据，对于必须通过危害影响带的建筑设施采取针对性的防灾措施，降低地震造成的经济损失，对于已停止活动的断层的甄别，可合理地节省与其相关的大量建设资金；还可为目前正在开展的地市级城市活动断层探测提供借鉴、技术储备和实践经验。



本科学工程实施过程中得到了中国地震局局长陈建民、前局长宋瑞祥、副局长刘玉辰、赵和平、修济刚、阴朝民等，以及中国地震局发展与财务司司长牛之俊，震害防御司前司长卢寿德、前副司长任利生、副司长韦开波、处长李永林等的关心和支持；丁国瑜、马宗晋、滕吉文、石耀霖、邓起东、谢礼立等院士在项目实施和研究过程中给予了技术指导和帮助，在此一并表示衷心感谢。



2011年3月6日



# 前 言

综观国内外发生在城市的直下型破坏性地震资料,均证实地震活动断层是造成地震灾害的元凶,1976年中国唐山7.8级地震、1995年日本阪神7.2级地震、1999年土耳其7.4级地震和中国台湾集集7.6级地震都因有活动断层直接通过城市或人口密集地区而造成深重的灾难。凡是断层通过的地带,其附近的建筑物和设施均遭到毁灭性破坏。因此,开展城市地震活动断层调查探测,评价其地震危险性,对城市规划与重大工程布局有着重要的指导意义,这是城市抗御地震和减轻地震灾害的根本性措施之一。

广州市是我国华南地区最大的中心城市,人口稠密,经济繁荣,在国民经济建设中占有极为重要的地位。2010年,广州市总面积7434.4km<sup>2</sup>,常住人口1270.96万人。据初步核算,2011年,广州市实现GDP 12 303.12亿元。广东位于东南沿海地震带较为活跃的地段,曾发生11次6级以上破坏性地震。在地质构造上,广州处于珠江三角洲断陷盆地的北部,第四系沉积厚度0~40m,下伏上白垩统一古近系红色岩层,厚300~1500m,基底为花岗岩或下古生界浅变质岩系,隐伏了多条活动断层。历史上,珠江三角洲断陷盆地发生过近10次破坏性地震,广州及其周边地区曾多次发生破坏性地震,如1372年广州4 $\frac{3}{4}$ 级地震和1915年广州4 $\frac{3}{4}$ 级地震。专家认为,珠江三角洲及其以南的滨海地区存在发生中强地震的构造背景。

几十年来,地震部门、地矿部门、相关研究单位及工程部门等从各自的业务需要对区内断层做了不同程度的勘察工作,各种调查探测与研究结果表明,市区范围内存在的活动性断层在晚更新世至全新世都有明显的活动迹象,其中广州-从化断裂、瘦狗岭断裂、珠江口断裂属区域性大断裂,规模大、切割深,且直接通过城区,本区历史上破坏性地震的发生与它们的活动密切相关,但都缺乏深入系统的专门调查研究,对这些断层的隐伏位置、活动性等仍缺乏足够的证据。根据中国第四代地震动参数区划成果,广州处在地震基本烈度Ⅶ度的范围内,具有发生中强地震的构造背景。因此,查明广州市及其邻近地区已知主要断层活动性,确定活动性较强的活动断层的准确位置,评价它们的地震危险性和危害性,判定广州地区是否存在发生直下型地震危险的可能性,预测最大震级地震发生的位置等,满足城市规划与建设等方面的需要,有助于政府采取切实有效的措施,减轻地震灾害,保障人民生命财产安全,维护社会稳定和可持续发展。

前人在广州及周围地区进行了大量的地质工作,广州-从化断裂、瘦狗岭断裂、珠江口断裂被反映在1:25万、1:20万、1:5万等地质图及相应的区域地质调查报告中。广州-从化断裂、瘦狗岭断裂、珠江口断裂的总体延伸方向基本清楚,广州-从化断裂在太和镇以北出露清晰,太和镇至越秀公园、象岗山亦有露头断续出现,即使是城区,在地下铁道等地下工程中亦有零星发现,瘦狗岭断裂、珠江口断裂也存在类似情况。从20世纪70年代开始,随着工程地震烈度复核工作的开展,对这些断裂的新活动

性考察与研究日渐增多,特别是 80 年代以来,广州地铁以及各类应当进行工程地震、工程场地地震安全性评价的重点工程很多。一方面,对这些断裂的考察与工程钻探大为增加,如用传统地质地貌方法作跨断裂的阶地变形测量,观测断裂带显示的新破裂强度、新地层切割情况,用地貌特征分析来判定断裂的新活动性。另一方面,采用热释光(TL)测年分析结果来判定断裂的最新活动年龄;还有一些跨断裂进行的化探工作,通过测量沿断层逸出的汞、氢气的含量来确定断裂的新活动性等。此外,由于工程的需要,在断层隐伏地段,也有一些物探工作,其目的主要是判定工程场地内断层存在的可能性。

但总体上,前人对广州市第四系覆盖区的隐伏活动断裂的探测与研究相对薄弱,缺乏系统、详细的工作,还不能满足城市发展的需要。

20 世纪末,日本、土耳其和中国台湾等相继发生了城市直下型强烈地震,产生了严重的经济损失和人员伤亡,引起了各国政府的高度重视。《国务院关于进一步加强对防震减灾工作的通知》(国发[2000]14号)要求:“在城市规划和西部大开发中要避开地震危险地段和活动断层,在大城市特别是省会城市和重要经济开发区要积极开展地震活动断层的探测工作,积极为城市规划和西部大开发中重大工程建设的选址和抗震设防提供决策依据。”

为了贯彻落实国务院的指示精神,有效地减轻城市地震灾害,保障人民生命财产安全,保持社会稳定和经济建设可持续发展,中国地震局 2000 年提出“大城市活动断层探测与地震危险性评价”项目,并发出开展“大城市活动断层探测与地震危险性评价”项目立项工作的通知(中震科发[2000]16号),要求各省、自治区、直辖市根据国务院的通知精神,结合本地的实际情况,抓紧时间积极与地方政府、有关部门联系,争取在中央和地方同时立项。广东省地震局根据中国地震局的通知精神,将广州市活动断层探测与地震危险性评价项目列入广东省防震减灾“十五”重点项目规划中。因此,中国地震局根据广东省地震局的申报情况,将广州市列入“十五”期间“中国数字地震观测网络”建设工程“大城市活动断层探测与地震危险性评价”分项。

2004 年,国家发展和改革委员会批准了中国地震局申报的“中国数字地震观测网络”工程项目(发改投资[2004]1138号)。“广州市活动断层探测与地震危险性评价”作为分项目“大城市活动断层探测与地震危险性评价”中的子项目也被正式批准投入建设(中震发财[2004]110号)。广东省地震局、广州市人民政府地震办公室 2004 年开展广州市活动断层探测与地震危险性评价工作,2007 年中国地震局组织验收通过。

按照中国地震局《城市活动断层探测与地震危险性评价工作大纲(试行)》规定,根据广州市的具体地震条件、地质构造特征、地貌特点、发展规划、防震减灾需要等实际情况以及经费投入、工程期限等因素,查明广州市城区及其邻近地区(即目标区)具有发生直下型地震能力的主要活动断层的空间位置、产状、规模和活动性,评定其地震危险性和地震危害性,为城市建设发展规划、国土利用规划和抗震设防等基础工作提供科学依据。工作区范围:北纬  $21^{\circ}55'14''\sim 23^{\circ}32'27''$ ,东经  $112^{\circ}41'33''\sim 114^{\circ}00'32''$ ,东西长 135km,南北长 180km,面积约  $24\,500\text{km}^2$ 。目标区范围:北纬  $23^{\circ}00'15''\sim 23^{\circ}18'16''$ ,东经  $113^{\circ}09'35''\sim 113^{\circ}33'03''$ ,东西长 35km,南北长 35km,面积约  $1326\text{km}^2$ 。选择目标区内的广州-从化断裂、瘦狗岭断裂、珠江口断裂共 3 条断层作为



主要调查和鉴定对象。

在技术方法选择上,由于广州与珠江三角洲的第四系覆盖层厚度较薄,一般为10~40m,需要探测的主要活动断层只有少部分裸露,大部分隐伏地下,而且第四系地层下为较厚的白垩系至古近系的中生界和新生界地层等,再考虑到这些断层的隐伏部位分布在建筑物和人口密度最大的中心城区等现实情况,宜采用地震地质调查、层序地层分析对比、钻井探测、多手段地球物理探测,配合适当的槽探揭露等技术途径,开展广州市活动断层探测与地震危险性评价工作。

主要技术工作内容按工作性质和先后次序分为五步。

#### 1) 活动断层试验探测、初查与断层活动性初步鉴定。

探测的主要内容包括:浅层人工地震探测、钻孔探测等。初查与断层活动性初步鉴定包括: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、航卫片的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浅层人工地震探测、钻孔探测,结合目标区地震地质调查、沿断层的条带状地质-地貌调查等工作,综合编制基础图件,建立第四系地层层序,初步确定各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。

布设深层人工地震探测剖面,探查广州地区活动断层深部发育状态和孕震构造特征。布设适量的流动地震台,结合广州遥测台网,进行地震精确定位,探测现代地震与城区活动断层的对应关系,结合深地震反射和折射剖面,圈定孕震构造位置,判断震级上限。

#### 3) 活动断层地震危险性评价。

在主要活动断层的地球物理勘探以及活动性初步鉴定等工作的基础上,针对活动断层上断点埋深情况,选择合适的部位,在断层两侧进行钻孔探测、探槽开挖。通过详细的岩心样品分析、探槽剖面分析以及年龄样品测试,系统获取断层的活动年代、古地震期次、重复间隔和位错量以及形变速率等数据。根据取得的定量数据,对各条活动断层的地震危险性进行综合评价,推断未来地震的发生地点和震级上限以及发震概率。

#### 4) 活动断层地震危害性评价。

结合活动断层探测所得到的数据和地震危险性分析结果,综合评价未来地震地表破裂带的位置、长度、宽度和幅度。根据探测到的震源位置、破裂方式、震级上限、破裂尺度以及基岩和盖层特征,计算震时强地面运动分布。考虑到直下型地震在活动断层附近的强破坏性,需同时计算近断层强地面运动。

结合广州市的具体情况,提出未来城市发展规划、国土利用、重大工程选址的活动断层避让范围,以及沿活动断层带强化监测预报与抗震设防的建议、措施等一系列防范对策。

#### 5) 活动断层地理信息系统建设。

综合地震活动断层探测、危险性与危害性评价结果,建立广州市地震活动断层及其危害性的基础数据库和地震活动断层对策咨询的地理信息系统。同时,负责筹划广州市活动断层与地震危险性评价的基础数据库建设所需要的软件和硬件仪器设备,建立相应的信息咨询服务部。

本项目由中国地震局、广东省人民政府、广州市人民政府、国家发展和改革委员会(2004-1138)共同出资建设,广东省地震局组织实施完成。项目管理方式实行项目负责人制、招投标制、监理制和合同制管理。参加本项目技术工作的广东省地震局及技术协作单位的主要科技人员有黄剑涛、梁干、吴业彪、康建国、李运贵、章林云、郭良田、康英、潘建雄、郭钦华、陈小芳、陈庞龙、马浩明、杨选、陈杏、陈贵美、林伟、吴华灯、胡文灼、邓荣佐、卢邦华、邱亦超、蒋维强、黄日恒、李晋、聂树明、吴英琴(广东省地震局),马曙、于涛、何朝晖、洪建双(广州市人民政府地震办公室),申旭辉、洪顺英、荆凤、欧阳新艳、陈正位(中国地震局地震预测研究所),方盛明、刘保金、孙振国、赵成斌、鄢少英、冷欣荣、石金虎、潘记顺、李吉昌、寇鲲鹏、李彬、王宏宁、姬计法(中国地震局地球物理勘探中心),周庆、冉洪流、陈连旺、陈国光、李红(中国地震局地质研究所、地壳应力研究所),赵伯明、李彩霞、陈靖、刘洋、马跃、王挺(北京交通大学),黄平安(广东省地质局 756 地质大队),梁致荣(中山大学),刘伟(广州市城市规划勘测设计研究院岩土工程研究室),王秀艳、王成敏(中国地质科学院地下水科学与工程重点开放实验室),冯炎基(广州地理研究所),吴汝利(广东核力工程勘察院),谈晓冬(中国科学院南海海洋研究所),陈芳、陈炽新(南海地质调查局)等。参与本书有关内容撰写的主要人员有梁干、吴业彪、章林云、郭良田、郭钦华、潘建雄、康英、陈小芳、陈庞龙、马浩明、申旭辉、方盛明、刘保金、周庆、冉洪流、赵伯明。全书由吴业彪、梁干、潘建雄、陈庞龙负责统撰、修改与补充,吴业彪、梁干最终定稿。

在本项目实施过程中,中国地震局各级领导自始至终给予关心和支持,震害防御司前司长卢寿德、司长杜玮、前副司长任利生、司长韦开波的大力支持在管理上为项目顺利实施提供根本保证。中国科学院院士邓起东、“大城市活动断层探测与地震危险性评价”项目首席科学家徐锡伟研究员、丁志峰研究员等多次亲临现场,为项目实施提供关键技术指导;项目组专家和监理汪一鹏研究员、杨主恩研究员、卢造勋研究员和于贵华副研究员提供重要的技术咨询和质量把关,帮助解决众多技术疑难问题,使项目得以顺利完成并达到预期目标。项目实施中,广州市科技和信息化局领导多次听取项目进展汇报,在经费上给予大力支持。广东省地震局副局长吕金水、研究员黄河生、研究员彭承光、高级工程师任镇寰对工程项目给予积极的支持和热情的帮助,中国地震局地球物理勘探中心、地质研究所、地壳应力研究所、地震预测研究所,北京交通大学,广东省工程防震研究院,广东省地震工程勘测中心,广东省地震局地震监测中心等单位先后承担项目专题的施工任务,为本项目的如期完成作出贡献。在此,对关心和支持本项目的领导、专家以及各施工单位表示最诚挚的谢意!



# 目 录

## 总序

## 前言

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 区域地震构造环境简析            | 1   |
| 第一节 区域大地构造环境              | 1   |
| 第二节 区域构造地质和第四纪地质环境        | 3   |
| 第三节 区域新构造运动特征             | 13  |
| 第四节 区域地球物理场特征             | 24  |
| 第五节 区域地壳形变特征              | 32  |
| 第六节 区域地震活动性               | 34  |
| 第七节 区域构造应力场分析             | 71  |
| 第二章 广州市第四纪地质环境分析          | 79  |
| 第一节 广州市第四纪地层研究历史概况        | 79  |
| 第二节 广州市第四纪地层重点钻孔剖面        | 85  |
| 第三节 广州市第四纪地层时代的确定         | 99  |
| 第四节 广州市第四纪地层沉积环境分析及地层综合划分 | 110 |
| 第三章 广州市主要隐伏断层试验探测         | 113 |
| 第一节 隐伏断裂浅层纵波地震勘探          | 113 |
| 第二节 隐伏断裂浅层横波地震勘探          | 130 |
| 第三节 隐伏断裂钻探及探槽探测           | 140 |
| 第四章 广州市主要断层综合定位与活动性鉴定     | 146 |
| 第一节 广州-从化断裂探测与活动性鉴定       | 149 |
| 第二节 瘦狗岭断裂探测与活动性鉴定         | 197 |
| 第三节 珠江口断裂探测与活动性鉴定         | 233 |
| 第五章 广州市及邻区深部地震构造环境探测与研究   | 278 |
| 第一节 概述                    | 278 |
| 第二节 探测方法原理                | 279 |
| 第三节 野外工作方法                | 281 |
| 第四节 地震数据处理                | 292 |
| 第五节 资料分析与解释               | 297 |
| 第六节 广州市及邻区深部地震构造环境探测结果    | 308 |
| 第六章 广州市主要断层地震危险性评价        | 311 |
| 第一节 概述                    | 311 |
| 第二节 区域地球动力学背景与地震环境        | 314 |

|                    |                                   |            |
|--------------------|-----------------------------------|------------|
| 第三节                | 广州市及周边地区中强地震的影响和构造条件分析·····       | 320        |
| 第四节                | 数值模拟分析·····                       | 327        |
| 第五节                | 广州市主要断裂潜在地震的最大震级及破坏性地震发生概率评估····· | 340        |
| 第六节                | 广州市主要断层地震危险性评价结果·····             | 346        |
| <b>第七章</b>         | <b>广州市主要断层地震危害性评价·····</b>        | <b>348</b> |
| 第一节                | 概述·····                           | 348        |
| 第二节                | 方法体系与理论基础·····                    | 350        |
| 第三节                | 震源计算模型的建立及优化·····                 | 360        |
| 第四节                | 地下速度结构模型建立及优化·····                | 368        |
| 第五节                | 强地震动计算与合成·····                    | 378        |
| 第六节                | 预测结果与分析·····                      | 381        |
| 第七节                | 主要活动断层的危害性评价·····                 | 408        |
| 第八节                | 危害性评价结果分析·····                    | 423        |
| <b>第八章</b>         | <b>广州市活动断层信息管理系统建设·····</b>       | <b>428</b> |
| 第一节                | 广州市活动断层信息管理系统设备配置·····            | 428        |
| 第二节                | 广州市活动断层信息管理系统结构·····              | 429        |
| 第三节                | 广州市活动断层数据库·····                   | 430        |
| 第四节                | 广州市活动断层信息管理系统的服务应用层·····          | 432        |
| 第五节                | 工作小结·····                         | 432        |
| <b>主要参考文献·····</b> |                                   | <b>433</b> |

# 第一章 区域地震构造环境简析

## 第一节 区域大地构造环境

在包括广东在内的华南地区的大地构造属性上,不同的学者各有精辟的论述。以黄汲清为代表的槽台多旋回学派把东南沿海地区划为华南加里东褶皱系。以陈国达为代表的地洼与动定递进说学派则把东南沿海划为华南地洼区,此外张文佑、张伯声等学者均有各自独到的见解。

华南加里东褶皱系,被视为在加里东时期区内处于地槽发展阶段,形成巨厚的以类复理石、硅质岩、碳酸盐岩建造与含炭质页岩建造为主的地槽型沉积建造,并夹酸性及中至基性火山岩建造等。地槽早期即新元古代震旦纪—早古生代寒武纪,沉积了厚度达12 000m的类复理石与硅质岩建造;地槽晚期,即奥陶纪—志留纪,沉积了厚达8000m的类复理石与笔石页岩建造。志留纪末期的加里东运动结束地槽历史,形成地槽褶皱带,但在褶皱带形成期内,岩浆侵入活动不强烈,导致褶皱基底硬化程度较低,表现以冒地槽褶皱带为其特征。

泥盆纪开始至中三叠世,地槽转入准地台发展阶段,形成早、晚期以单陆屑建造为主,中期以碳酸岩建造为主,整个沉积厚度为4000~8000m,不整合于地槽褶皱带基底之上。

晚三叠世开始,华南加里东褶皱系活动明显加强,印支运动导致地台盖层发生宽展型褶皱,断裂活动也随之加强。燕山运动时期,拱曲裂陷作用盛行,沉积盆地发育,形成巨厚的陆屑与火山岩建造,沉积厚度超过10 000m,侵入岩浆岩活动异乎寻常,显示地壳运动异常剧烈。

新生代末,处于喜马拉雅运动期,断陷盆地既有结束也有发生发展,新生代盆地沉积厚度可达7000~10 000m,以碎屑岩建造、膏盐建造与含油含煤建造为其特征。岩浆活动以中至基性火山喷发活动为主,一般不强烈,但是某些裂谷型盆地及滨海地区的大陆型裂谷带,来自地幔基性玄武岩浆上涌极为明显。

至于把华南地区视为华南地洼区的人,认为华南现今大地构造发展已进入地洼区发展阶段。从地质历史分析法的角度出发,华南地区在新元古代震旦纪—早古生代志留纪时期,处于地槽区发展阶段,加里东运动结束地槽区发展历史,自泥盆纪开始,转入相对稳定的准地台发展阶段,直至中三叠世。晚三叠世开始,地台活化,转入地洼区发展阶段直至现今,认为地洼区是不同于地槽区的新型活动区。

总之,华南地区自燕山运动时期以来,其大地构造性质强烈活动,现今存在的主要构造痕迹及活动性与燕山运动时期活动的主要构造骨架关系相当密切。

按黄汲清先生的观点,华南加里东褶皱系可以进一步划分为多个Ⅱ级、Ⅲ级及Ⅳ级构造单元。广州市活动断层探测区域主要处于粤北、粤东北-粤中拗陷带(Ⅱ<sub>5</sub>)内,西



以北东向吴川-四会深断裂与粤西隆起区（Ⅱ<sub>1</sub>）、云开大山隆起区（Ⅲ<sub>3</sub>）为界，东南以北东向的政和-海丰断裂带与粤东隆起分开，向北与湘东南拗陷沟通。粤北、粤东北-粤中拗陷带可进一步划分为三个Ⅲ级构造单元，它们是粤北拗陷、粤中拗陷及永梅-惠阳拗陷。在此基础上，各自又可进一步划分为多个Ⅳ级构造单元（图 1-1）。兹将与区域关系较密切的Ⅳ级构造单元分述如下。

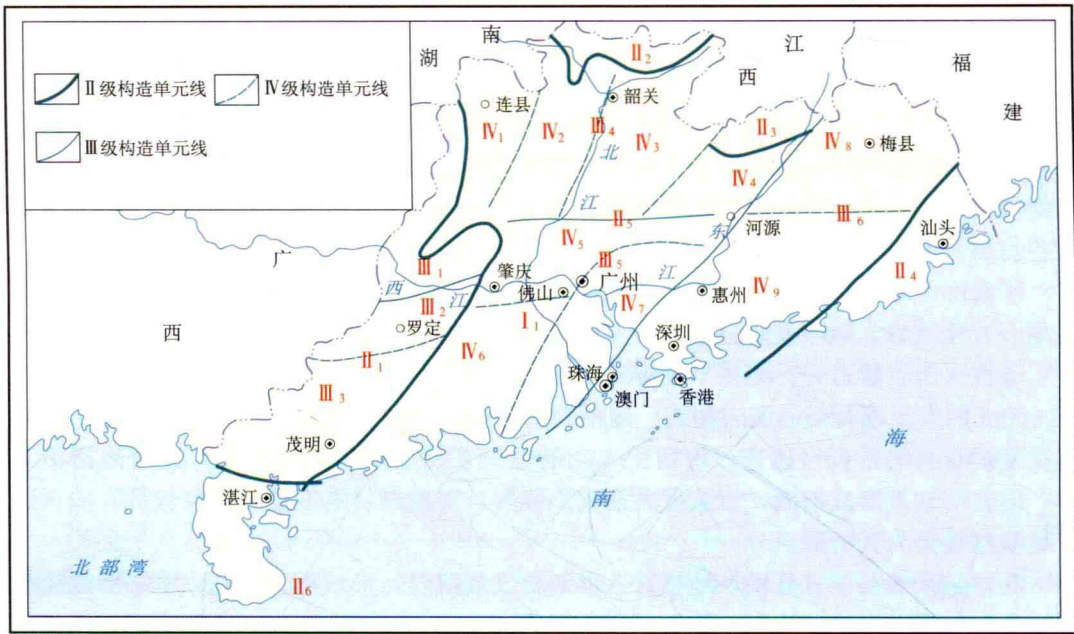


图 1-1 广东省构造单元示意图（据广东省区域地质志资料编）

Ⅰ<sub>1</sub>. 华南褶皱系；Ⅱ<sub>1</sub>. 粤西隆起区；Ⅱ<sub>2</sub>. 诸广山隆起区；Ⅱ<sub>3</sub>. 九连山隆起区；Ⅱ<sub>4</sub>. 粤东隆起区；Ⅱ<sub>5</sub>. 粤北、粤东北-粤中拗陷带；Ⅱ<sub>6</sub>. 雷琼拗陷；Ⅲ<sub>1</sub>. 大瑶山隆起；Ⅲ<sub>2</sub>. 罗定拗陷；Ⅲ<sub>3</sub>. 云开大山隆起区；Ⅲ<sub>4</sub>. 粤北拗陷；Ⅲ<sub>5</sub>. 粤中拗陷；Ⅲ<sub>6</sub>. 永梅-惠阳拗陷；Ⅳ<sub>1</sub>. 连县凹褶断束；Ⅳ<sub>2</sub>. 乳源凹褶断束；Ⅳ<sub>3</sub>. 翁源凹褶断束；Ⅳ<sub>4</sub>. 和平凹褶断束；Ⅳ<sub>5</sub>. 花县凹褶断束；Ⅳ<sub>6</sub>. 阳春-开平凹褶断束；Ⅳ<sub>7</sub>. 增城-台山隆断束；Ⅳ<sub>8</sub>. 永梅凹褶断束；Ⅳ<sub>9</sub>. 紫金-惠阳凹褶断束

粤中拗陷（Ⅲ<sub>5</sub>）：位于广东中部，北起佛冈、南临南海，东西两侧为河源及吴川-四会断裂所夹持。区内于东莞、增城、市桥、珠海等地局部出露元古界至寒武系褶皱基底，晚古生代至中三叠世时期，大部分地区下拗接受沉积，沉积了厚约 7000m 的碎屑岩、碳酸盐岩的含煤建造，沉积中心在花都、龙门一带。印支运动使古生代地层形成宽展型褶皱并伴有走向断裂的发育，构造线以北东至北北东走向为主，其次是东西向构造。燕山运动期，拱曲裂陷作用强烈，沉积盆地得到充分的发生发展，断裂活动强度达到极致，岩浆活动最为强烈。新生代以来，沿广州-从化断裂、河源断裂，以及珠江三角洲地区，断陷盆地继承或新生发展，仍以拗陷沉积为其主要特征。

粤中拗陷细分三个Ⅳ级构造单元，它们是：

花县凹褶断束（Ⅳ<sub>5</sub>），位于清远、三水、肇庆、广州一带，为晚古生代拗陷带的一部分，主要有花都复式向斜与高要-清远复式向斜。

阳春-开平凹褶断束（Ⅳ<sub>6</sub>）：夹持于吴川-四会与鹤城-金鸡断裂间，北邻咁石东西

向断裂构造，包括阳春褶皱束、开平褶皱束与其间的水源隆起（天露山隆起）。晚古生代褶皱束地段为沉积拗陷，沉积厚度达 5100m。

增城-台山隆断束（Ⅳ<sub>7</sub>）：西界为广州-从化断裂、鹤山-金鸡断裂，东界为河源断裂所夹持的断块，北至增城地区，南临南海，是粤中拗陷内的相对隆起区，晚古生代沉积薄，多处褶皱基底暴露于地表。

永梅-惠阳拗陷（Ⅲ<sub>6</sub>）：西以河源断裂带为界与粤北及粤中两个拗陷为邻，东以政和-海丰断裂带为界与粤东隆起相伴，其内以东西佛冈-丰良断裂带东段为界进一步划分为两个Ⅳ级构造单元。该断裂带以北为永梅凹褶皱束Ⅳ<sub>8</sub>，远离本区域，在此不复赘述；南为紫金-惠阳凹褶皱束（Ⅳ<sub>9</sub>），它是一个晚古生代形成的凹陷，沉积了厚 4000～5000m 的由地台型陆屑建造组成的地台盖层构造层，经印支运动形成宽展型褶皱，晚三叠世至早侏罗世强烈拗陷形成厚达 6000～7000m 的海相砂页岩建造，中、新生代岩浆活动强烈，白垩纪—古近纪、新近纪红色断陷盆地发育，断裂构造错综复杂。

第二节 区域构造地质和第四纪地质环境

一、区域构造地质环境

(一) 地层

本研究工作区、目标区出露地层按地质年代可分为：新元古界前震旦系云开岩群或长安岩组、新元古界震旦系，古生界寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系，中生界三叠系、侏罗系、白垩系，新生界古近系及第四系（表 1-1）。兹分述如下。

表 1-1 区域地层划分简表

| 界   | 系   | 统   | 阶（组）                              | 代号                 | 岩性组合特征                                                                |
|-----|-----|-----|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 新生界 | 古近系 | 第四系 | 以三角洲相、河流相、湖沼相及冲积-洪积相等堆积为主，详见表 1-2 |                    |                                                                       |
|     |     | 始新统 | 华涌组                               | E <sub>2</sub> h   | 火山碎屑岩、集块岩、火山角砾岩、粗面岩、流纹岩、玄武岩与浅灰至紫红色砂砾岩、含砾砂岩、砂岩粉砂岩、泥岩与凝灰质砂岩，厚 270～1000m |
|     |     |     | 宝月组                               | E <sub>2</sub> y   | 紫灰、紫红色砾岩和砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩互层，局部夹火山岩，厚 130～1100m                         |
|     |     |     | 埗心组                               | E <sub>1-2</sub> b | 深灰至灰黑色泥岩、粉砂岩、砂岩互层，夹含砾砂岩、油页岩与火山岩，厚 100～900m                            |
|     |     | 古新统 | 莘庄组                               | E <sub>1</sub> x   | 暗红至紫红色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与泥岩，夹石膏及泥灰岩等，厚数十米至 500m                       |