



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

天津市活动断层探测与 地震危险性评价

陈宇坤 赵国敏 闫成国 等 ◆ 著
李振海 杨 菲 杨绪连



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

天津市活动断层探测与地震危险性评价

陈宇坤 赵国敏 闫成国 等 著
李振海 杨 菲 杨绪连

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据对天津及邻近地区活动断层高分辨率航卫像片解译、地球化学探测、浅层地震勘探与准确定位、水上地震地层探测、电阻率 CT 法探测、钻孔联合剖面探测等大量活动断层探测和鉴定科研工作,建立天津地区新的第四纪标准地层剖面,重新确定天津断裂和沧东断裂的空间位置、延伸长度、几何学和运动学特征,并对天津断裂、沧东断裂的最新活动进行鉴定;在此基础上,结合天然地震层析成像、航磁、重力联合反演、大地电磁测深、深地震宽角度反射/折射探测等,对天津断裂、沧东断裂进行地震危险性定量评价,划分断层未来发生地震的危险区段和最大潜在震级,计算发震概率和地震复发时间;利用基于统计学的格林函数合成法与三维有限差分方法结合的混合计算方法的地震动评价体系,在建立三维震源模型和地下速度结构模型基础上,评估天津断裂、沧东断裂的地震危害性,建立活动断层基础资料数据库与信息管理系统,为天津市城市规划、国土资源开发利用和重大工程建设提供科学依据。

本书可供有关大专院校师生和科研单位从事构造地质、地球物理探测、构造物理试验、工程地质与地震工程等的研究人员以及地质、矿产、规划、设计与建设部门的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

天津市活动断层探测与地震危险性评价/陈宇坤等著. —北京:科学出版社, 2013

(中国城市活动断层探测丛书/徐锡伟 主编)

ISBN 978-7-03-037079-2

I. ①天… II. ①陈… III. ①活动断层-探测-研究-天津市②地震活动性-研究-天津市 IV. ①P548.221②P315.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 047598 号

责任编辑:谢洪源 韩 鹏 张井飞 王淑云/责任校对:林青梅

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

*

2013 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:433 000

定价:138.00 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

编委会 (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

陈宇坤	赵国敏	闫成国
李振海	杨 菲	杨绪连
高武平	王志胜	刘 芳
刘红艳	任 峰	纪 静
张春丽	杨港生	李文栋

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，加断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Ⅷ度以上的高烈度区。更为严重的是，北京、上海、天

津、西安、深圳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 $6\frac{1}{2}$ 级地震、1057 年大兴 $6\frac{3}{4}$ 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 1994 年提出的我国未来十年防震减灾目标。

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规划利用、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,显著提高社会经济发展能力;也可为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。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '韦开波' (Wei Kai-bo), written in a cursive style.

2011 年 3 月 6 日

前 言

地下隐伏活动断层是发生城市直下型地震灾害的元凶，同时也是加重地震灾害的主要因素之一。2008 年汶川 8.0 级特大地震造成了极其严重的人员伤亡和财产损失，该地震是龙门山断裂带突然活动的结果。地震中穿过原北川县县城的映秀-北川断裂的活动形成了地震地表破裂带和大型滑坡带，是导致原北川县城毁灭性破坏的直接原因。因此，开展城市活动断层探测与评价，对于减轻或避免城市地震灾害具有至关重要的意义。

天津是中国北方最大的港口城市，是环渤海地区的经济中心。全市陆域面积 1.19 万 km²，人口 1100 万人。2010 年全市生产总值 9108 亿元，人均 GDP 达到 12 000 美元。这样一个经济发达、人口稠密、地基松软的特大城市，一旦发生破坏性地震，后果将不堪设想。

天津市位于华北地区东北部，北东向河北平原断裂带和北西向张家口-渤海断裂带在天津交汇使得天津市地下隐伏断层纵横交错，加大了破坏性地震的危险性和发生地震以后的危害性。有记载以来，天津境内曾发生 5.0 级以上地震 18 次，最大地震为 1976 年宁河 6.9 级地震。邻区强震波及天津并造成破坏的有 6 次，1679 年三河-平谷 8 级地震和 1976 年唐山 7.8 级地震对天津市的破坏最为严重，唐山地震中天津市境内死亡人数达 2.4 万，直接经济损失达 50 多亿元，从而使天津成为新中国唯一遭受Ⅷ度地震烈度破坏的省会级城市。

天津境内这些规模不等的隐伏断层的确切位置、活动性、深部构造背景都不清楚，已有监测表明，有些断层目前仍在活动，并具有发生破坏性地震的条件。因此，需要对这些断层进行系统探测和评价，甄别活动断层与不活动断层，评价活动断层发生地震的危险性和大小，确定断层发生地震后会造造成多大的破坏，在城市规划建设期间应该如何避让和防范。这些都是政府十分关注和亟须解决的问题。

“九五”期间，由天津市政府下达，天津市地震局承担完成了“海河断裂活动性定量评价”项目，使天津市活动断层探测与地震危险性评价工作走在了全国的前列。“十五”期间，国家做出了在大城市积极开展地震活动断层探测工作的重要决策。2002 年 4 月 12 日，天津市发展和改革委员会与建设管理委员会对天津市地震局上报的“天津市活动断层探测与地震危险性评价”项目可行性研究报告给予了批复。2004 年 6 月 30 日，中国地震局对“天津市活动断层探测与地震危险性评价”项目初步设计方案和投资概算进行了批复，至此，“天津市活动断层探测与地震危险性评价”与北京、上海、兰州、乌鲁木齐等 20 个大城市一起，被纳入了首批国家“十五”重点科学工程计划，确立了中央与地方共同投资实施的模式，由天津市地震局负责组织实施。项目主要探明断层的空间位置、延伸范围与活动方式，科学评价其地震危险性和危害性，给出断层活动影响范围，有针对性地提出防震减灾对策，建设以 GIS 管理的城市活动断层信息咨询

服务系统，为国土规划、城市建设和政府防震减灾决策提供依据与技术支持。

活动断层项目属于重大科学工程，具有工程项目和科学探测研究的双重性。为指导和规范项目的技术过程，提高项目的综合科技水平，确保质量和进度，中国地震局专门组织专家制订了《中国地震活动断层探测技术系统技术规程》（【JSGC—04】），并成立了以徐锡伟研究员为首席科学家的国家“十五”城市活动断层探测项目专家技术组和以邓起东院士为首的项目监理组，对总项目进行汇总，对各城市活动断层分项目进行全程技术咨询、指导和监理。

活动断层项目实施分三个阶段，即项目设计、项目施工和项目验收阶段。项目验收分三级验收：单位工程验收、阶段工程验收和项目工程验收。项目由中国地震局项目管理部门统一组织管理。各个城市分项工程实行单位法人负责制，由单位法人担任项目负责人，并成立相应的项目技术组和项目管理组。

天津市活动断层探测与地震危险性评价项目是国家“十五”活动断层项目的重要组成部分，该项目除了所有城市活动断层探测面临的共同困难，如施工条件差、背景干扰大等问题外，项目实施还存在以下几大技术难题：①天津市位于滨海沉积平原区，软土覆盖层极厚，地下隐伏断层属于完全深隐伏断层，没有露头，也不具备开挖探槽的条件；②沉积物松散，物性差异小，给地球物理探测带来更多的困难；③坑、塘、洼地多，地下水位埋藏浅，且为富矿物质的咸水，给电法等探测工作带来新的困难；④天津市地处华北平原区，断层地震危险性评价方法与我国西部地区不同，探索适应于本地区的地震危险性综合评价方法是项目实施的又一技术难题。

针对上述技术难题，天津市活动断层探测与地震危险性评价的实施原则是：正视困难，迎接挑战；严守规范，注重证据；加强组织领导，实行有效管理。在断层探测与评价中，结合天津滨海地区特有的地震地质条件，坚持有所为、有所不为的工作思路，选择穿过天津市区和滨海新区的天津断裂、沧东断裂作为目标断层，充分利用已有的探测成果、资料，以先进、有效、可靠的探测手段和方法为依托，加强试验探测，选择切实可行的探测技术方法，确定具体工作内容，遵循由郊区到城区，由粗到细，先整体、再局部、后综合，重点突出的工作思路进行隐伏活动断层的系统探测与评价。

根据天津地区地质构造、断层的发育特点、存在问题、技术难题和现有工作基础，依据《中国地震活动断层探测技术系统技术规程》（【JSGC—04】）要求，天津市活动断层探测与地震危险性评价项目工程主要包括五个方面：区域探查与断层活动性初步鉴定；深部发震构造条件探测；断层地震危险性评价；断层详细探测与精确定位；断层地震危害性评价、GIS数据库与信息咨询服务部建设。其中，活动断层试验探测工作与区域探查与断层活动性初步鉴定部分合并，作为断层初步探测与定位探测的前期工作之一。

天津市活动断层探测与地震危险性评价项目由陈宇坤担任总技术负责人，全面负责项目的设计与实施。项目共设置了23个专题项目，这些专题项目均编写了竣工报告及技术报告，并全部通过专题验收。这些专题项目有的以探测工作为主，有的以资料收集与解释为主，有的以综合研究为主，体现了活动断层项目作为一项重大科学工程的特殊性。这些专题包括：①天津市区域地质资料收集和地震地质调查，负责人为卫鹏飞；②天津断层、沧东断层遥感图像处理与解译，负责人为郑文俊、单新建（中国地震局地质研究所）；③天津断层、沧东断层地球化学探测，负责人为李一兵；④试验与控制性

电阻率 CT 法探测, 负责人为刘允秀、田山; ⑤天津断层、沧东断层试验与控制性浅层地震勘探, 负责人为赵根模、徐明才 (中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所); ⑥第四纪标准地层剖面建立, 负责人为邵永新、陈宇坤; ⑦天津断层、沧东断层钻孔初步勘探与地层对比, 负责人为邵永新、陈宇坤; ⑧区域地震构造环境与 1:25 万地震构造图说明书, 负责人为李一兵、卫鹏飞; ⑨沧县隆起与黄骅拗陷关系的研究, 负责人为卫鹏飞、李一兵; ⑩目标区主要断层鉴定与 1:5 万断层分布图说明书, 负责人为卫鹏飞、杨绪连; ⑪航磁、重力勘测资料构造解译, 负责人为陈化然 (中国地震局地球物理研究所)、吴国有; ⑫天然地震波层析成像, 负责人为崔晓峰、李文栋; ⑬高分辨率地震宽角反射/折射试验探测, 负责人为方盛明、张先康 (中国地震局地球物理勘探中心); ⑭远参考大地电磁测深剖面探测, 负责人为徐新学、张宝华 (华北有色地质勘查局地球物理勘探公司); ⑮天津断层、沧东断层钻孔详勘与活动性鉴定, 负责人为邵永新、杨港生; ⑯区域应力场与形变场特征研究, 负责人为姚兰予、郭良迁 (中国地震局第一监测中心); ⑰天津断层、沧东断层、海河断层水上地震地层探测, 负责人为刘保华、郑彦鹏 (国家海洋局第一海洋研究所); ⑱天津断层、沧东断层地震危险性评价, 负责人为陈宇坤; ⑲沧东断层 (天津段)、天津断层人工地震资料解释说明书, 负责人为李一兵、卫鹏飞; ⑳天津断层、沧东断层浅层人工地震详细勘探, 负责人为赵根模、丁志峰 (中国地震局地球物理研究所); ㉑天津断层、沧东断层地震危害性评价, 负责人为赵伯明 (北京交通大学); ㉒天津市活动断层基础数据库与信息管理系统, 负责人为杨绪连、刘芳; ㉓天津市活动断层探测与地震危险性评价项目多媒体展示系统, 负责人为陈树岩 (中国地震局地质研究所)、付仲生。

本项目实行法人负责制, 由赵国敏局长任项目负责人; 陈宇坤博士任项目总技术负责人 (首席专家); 李振海副局长任项目管理组组长, 成员有王玉生、杨港生; 项目监理组为邓起东院士、卢造勋研究员、杨主恩研究员; 项目顾问组为丁国瑜院士、汪一鹏研究员、李明朗研究员。参加本项目的主要人员有: 赵国敏、陈宇坤、李振海、邵永新、杨绪连、崔晓峰、聂永安、杨港生、刘芳、李一兵、卫鹏飞、陈化然、赵根模、付仲生、任峰、郑文俊、刘允秀、姚兰予、田山、吴国有、李文栋、高武平、王志胜、赵阳、王向东、闫成国、邱虎、杨菲、孙晶岩。参加本专著各章节有关内容编写的有陈宇坤、赵国敏、闫成国、李振海、杨菲、杨绪连、高武平、王志胜、刘芳、刘红艳、任峰、纪静、张春丽、杨港生、李文栋等。陈宇坤最终统稿和定稿。张文朋、姚新强负责文字编排和图件绘制。

天津市活动断层探测与地震危险性评价项目实施历时 5 年, 通过多种手段的综合探测, 撰写了 23 个子专题成果报告和总项目技术报告, 编制各类图件百余幅。产出了一批具有重要价值的基础数据和基础图件, 发表了一系列学术论文。通过探测, 确定了天津断层和沧东断层的空间位置、延伸长度、几何特征和断层的第四纪活动特征; 综合评价了两条断层的地震危险性, 划分了断层未来发生地震的危险区段和最大潜在震级, 评估了断层的地震危害性, 对其防灾对策与措施提出了建议; 建立了天津市活动断层基础资料数据库和 GIS 管理系统, 实现了天津市活动断层数据的动态演示、查询和更新。

本书是在总项目技术报告基础上编纂完成的。编写时对相关的内容进行了较大幅度的修改和补充, 突出了项目的成果部分, 使文字更加简洁精炼, 增大了信息含量, 可为

地质、矿产、规划、设计与建设部门的工程技术人员的城市规划建设实践提供参考，也可为科研院所、大学的研究人员提供相关科学研究方面的基础资料。同时，为了让非专业人员也能对活动断层探测研究领域的知识和技术工作有一定的了解，引导大众对地震孕育发生过程的认识，普及防震减灾知识，全书力求做到文字的通俗化和内容的科普化与大众化。

本项目的顺利实施和完成得到了中国地震局和天津市人民政府及各有关单位的大力支持、指导与配合，也离不开各级项目管理单位、专家咨询组和项目实施组的所有技术人员的辛勤劳动，在此一并表示衷心的感谢。本书的出版若能对各类读者有所帮助，编者将深感欣慰。

需要指出的是，由于编者水平有限，本书的不足在所难免，敬请读者谅解指正。

编 者

2011 年 4 月

目 录

总序

前言

第一章 区域地震构造环境	1
第一节 区域构造背景及其演化特征	2
第二节 区域新构造运动与分区特征	8
第三节 区域断裂构造基本特征	11
第四节 区域地震活动性	30
第五节 区域构造应力场与形变特征	37
第六节 小结	46
第二章 第四纪地层及其年代学研究	48
第一节 天津地区第四纪地层研究现状	48
第二节 天津中、南部地区第四纪年代学研究	52
第三节 天津中、南部地区第四纪年代地层剖面	63
第四节 小结	67
第三章 研究区主要地震构造	68
第一节 研究区主要地质构造单元	69
第二节 研究区主要断裂及其构造特征	73
第三节 研究区地震活动特征	82
第四节 小结	83
第四章 天津地区隐伏断层的综合探测	85
第一节 地球化学探测	86
第二节 浅层人工地震探测	93
第三节 水上人工地震地层探测	111
第四节 电阻率 CT 法试验探测	126
第五节 钻孔勘探与地层对比	129
第六节 小结	137
第五章 天津断裂、沧东断裂综合定位和构造特征	139
第一节 天津断裂、沧东断裂的研究历史和现状	139
第二节 天津断裂的定位与构造特征	141
第三节 沧东断裂的定位与构造特征	156
第四节 小结	168
第六章 天津断裂、沧东断裂活动性鉴定	170
第一节 天津断裂的活动性鉴定	170

第二节 沧东断裂的活动性鉴定..... 182

第三节 小结..... 190

第七章 天津地区深部构造探测..... 191

第一节 重力、航磁资料反演与解译..... 191

第二节 天然地震层析成像..... 194

第三节 大地电磁测深..... 199

第四节 深地震宽角度反射/折射探测 203

第五节 小结..... 205

第八章 天津断裂、沧东断裂地震危险性评价..... 207

第一节 天津南断裂、沧东断裂地震危险区段划分..... 208

第二节 天津南断裂、沧东断裂地震危险性评价..... 212

第三节 小结..... 219

第九章 天津断裂、沧东断裂地震危害性评价..... 223

第一节 方法体系与理论基础..... 223

第二节 震源计算模型的建立及优化..... 230

第三节 地脉动观测与结构反演..... 235

第四节 地下速度结构模型建立及优化..... 242

第五节 强地震动计算与合成..... 246

第六节 预测结果与分析..... 248

第七节 地震动最大值分布与分析..... 254

第八节 主要活动断层地震危害性评价..... 259

第九节 地震危害性评价结果分析..... 265

第十节 小结..... 268

第十章 天津市活动断层数据库与信息系统建设..... 270

第一节 天津市活动断层信息系统结构..... 270

第二节 天津市活动断层数据库..... 272

第三节 活动断层信息管理系统的..... 279

第四节 小结..... 286

主要参考文献..... 287

第一章 区域地震构造环境

区域地震构造环境指研究区在板块构造或大地构造中所处的位置、地壳结构和区域应力场。区域构造环境决定了区域地震活动的类型、特点、强度和频度，是地震危险性、危害性评价的基础。

区域所在的冀渤断块拗陷是周边被一系列深大断裂和隆起山区所围限的断陷块体(图 1-1)，拗陷内 NW—NWW 向、NE—NNE 向的断裂将盆地切割成多隆多拗、多凸多凹的多重复合型构造盆地^①。本章主要讨论该区域构造背景及演化特征、区域新构造运动与分区特征、区域断裂构造基本特征、区域地震活动性、区域构造应力场与形变特征等。

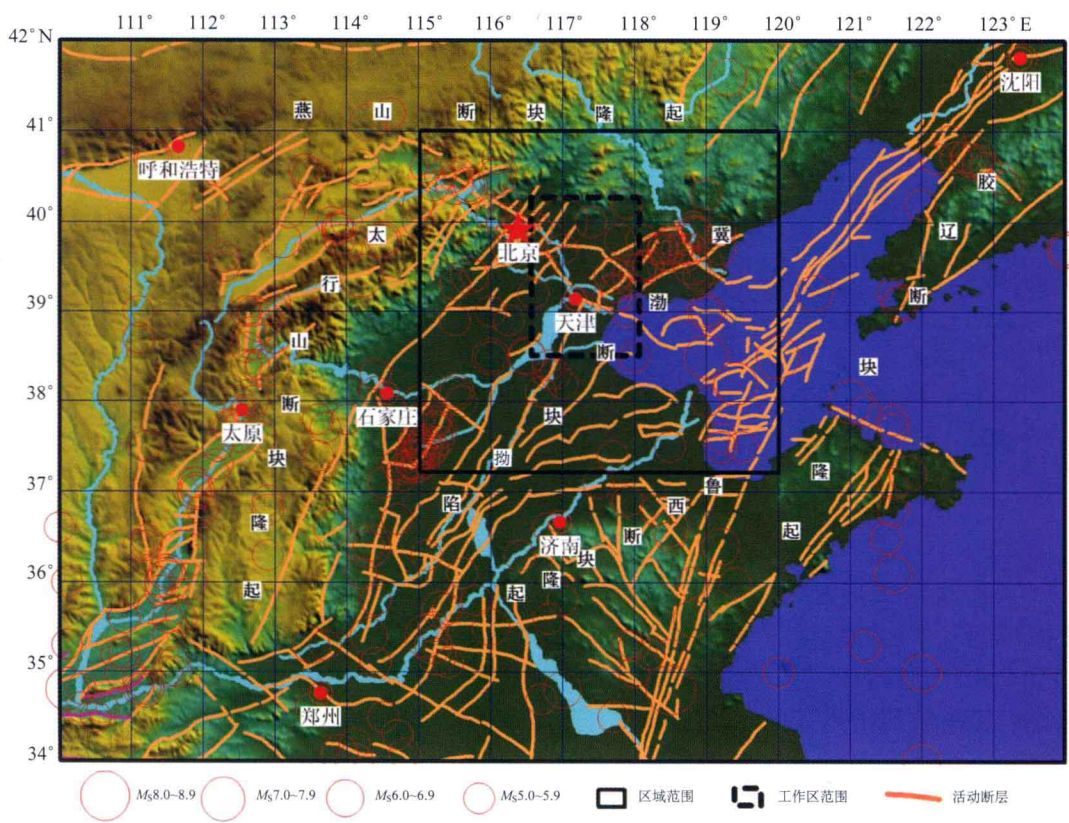


图 1-1 区域地形地貌及位置图 (据 MapGIS 底图修改)

① 邓起东等, 1971. 华北地区构造地震带及地震危险区划分. 地震地质工作会议资料汇编。

第一节 区域构造背景及其演化特征

一、区域大地构造位置

华北地区地处欧亚板块东部，长期以来受到印度板块、欧亚板块和太平洋板块相互作用的影响，特别是受菲律宾板块和太平洋板块向大陆俯冲的影响，形成了近 NEE 向的水平挤压应力场，使原本比较稳定完整的地壳在新生代初期发生显著的破裂和分异，形成以 NE 向为主，NE 向和 NW 向两组断裂组成的构造体系和隆起、拗陷相间的构造格局。这是当今欧亚板块内部主要地震活动区之一，更是中国大陆东部最重要的地震区，历史上曾发生多次 7 级乃至 8 级大地震（图 1-2）。

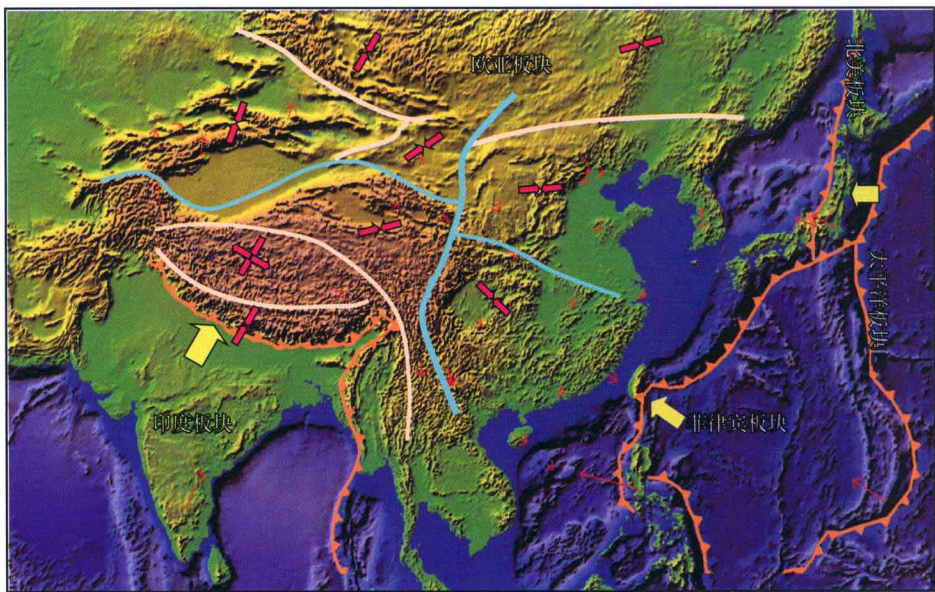


图 1-2 中国大陆及邻区板块构造图（谢富仁，2004）

天津地处华北地区中部偏东北部，东临渤海，地貌上为广阔的平原。构造上位于冀渤断块拗陷中北部和燕山断块隆起南部。区域跨越了燕山断块隆起、太行山断块隆起、鲁西断块隆起、胶辽断块隆起、冀渤断块拗陷等主要二级构造单元（图 1-3）。各断块构造的基本特征如下所述。

1. 燕山断块隆起

燕山断块隆起北界为张家口-北票断裂，南界为南口-孙河断裂、宝坻断裂、蓟运河断裂和昌黎-宁河断裂，为一个内部相对完整，无明显活动断层发育的稳定断块。

燕山断块隆起内的构造线方向和山脉走向均呈 EW 向，向东逐渐转呈 NEE 至 NE 向。燕山期以来，该断块强烈隆起，新生代时期主要表现为间歇性、阶段性整体抬升，形成多级夷平面，地形上呈阶梯状向北倾斜，其中新生代早期的北台期夷平面在延庆、

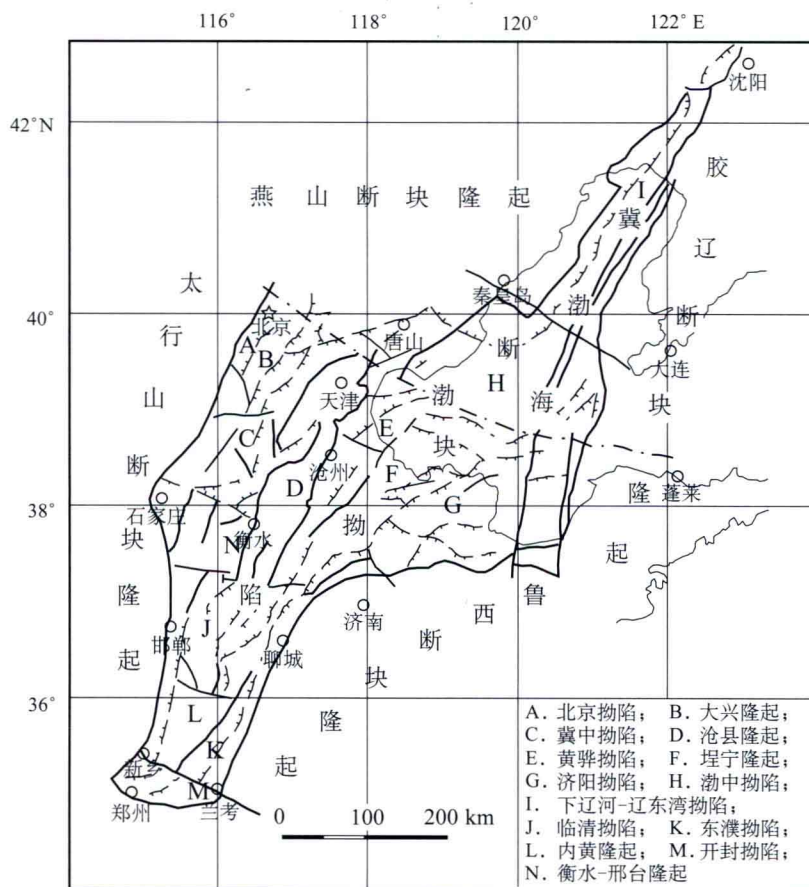


图 1-3 冀渤断块拗陷构造单元划分示意图

怀来以东海拔 1000m 左右，唐县期夷平面海拔 500m 左右。新近纪以来，该断块隆起内部差异运动不明显，广大地区均为剥蚀区，仅个别地段发育孤立的小型断陷盆地，新近纪晚期河谷中发育堆积阶地，断块内部地震活动较弱。

2. 太行山断块隆起

太行山断块隆起以 NNE 向太行山山前断裂与华北平原（冀渤断块拗陷）相隔，西以 NNE 向山西断陷系与鄂尔多斯地块相望。太行山山前断裂是一条规模很大，上陡下缓的正滑脱断裂，断裂带两侧差异运动十分显著，西侧山区表现为间歇性整体抬升，剥蚀和夷平作用形成多级阶状地貌面。其中形成于古近纪初期的五台期夷平面和新近纪中、上新世时期的唐县期剥蚀面，以及新近纪晚期河流谷地中发育的多级阶地在区域上分布广泛，地貌特征明显，反映了断块隆起区较强的以间歇性上升为主的构造运动特点。该断块隆起内部地震活动较弱，破坏性地震主要沿两侧的边界断裂带发生。

3. 鲁西断块隆起

鲁西断块隆起位于冀渤断块拗陷的东南，其东西两侧分别以聊城—兰考断裂带和