

天津市发展计划委员会〈活断层定量评价工程项目〉(1999) 290 资助立项

唐山地震30周年
天津市地震局建局30年
纪念专著系列之四

天津市隐伏断裂探查与评价丛书

天津海河断裂活动性研究

赵国敏 赵根模 陈宇坤 聂永安
李振海 卫鹏飞 李一兵 陈化然
等著

地震出版社

序

天津市地震局作为我市地震工作的主管部门，自1975年5月18日成立以来，在市委、市政府和中国地震局的正确领导下，认真贯彻落实“预防为主，防御与救助相结合”的地震工作方针，坚持走专群结合的道路，在我市地震监测、预测、预防等诸多方面做了大量的工作，取得了突出的成绩。特别是近年来，按照《中华人民共和国防震减灾法》的规定，天津市地震局在我市防震减灾工作中积极推进了“地震监测预报、震灾预防和紧急救援三大体系”建设工作，先后实施并完成了由天津市政府和中国地震局共同资助立项的“九五”项目、“十五”项目和“首都圈工程”项目，“三大体系”建设取得了重要进展，使我市防震减灾能力不断增强，这些都为我市社会经济的可持续发展提供了有力的保障。

“九五”末期，根据我市发展建设和防震减灾工作的需要，天津市政府安排专项经费开展了《天津市海河隐伏断层定量评价》研究，专门研究我市海河断裂的空间分布和活动性。该项研究于2001年10月15日完成并通过了天津市科委组织的专业技术鉴定。由于该项目是我国首次在第四系覆盖层厚达400m以上的特大城市开展的活断层探测工作，研究工作得到了中国地震局和我市有关部门的高度重视。为满足各有关方面的要求，天津市地震局撰写出版了这本《海河断裂活动性研究》专著，这对我市的地震监测、预测研究、地震地质、城市规划、建设和防震减灾等方面的工作来说，无疑是一件好事。希望天津市地震部门的全体干部职工，认真学习和贯彻党的十六届五中全会、全国科技大会、市委八届九次会议精神，树立和落实科学的发展观，继续努力工作，锐意进取，力争为我市的防震减灾工作再创新优势、再上新台阶，为推动我市的创新型城市建设作出新贡献。

杨栋梁

2006年5月20日

前 言

1976年5月~8月,在短短87天内,中国大陆连续发生6次7级以上大地震,其中2次在云南龙陵,2次在四川松潘,2次在河北唐山,地跨东经 $99^{\circ}\sim 119^{\circ}$,北纬 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$,地域之广,地震之大,时间之集中都让世人感到惊愕。它突出表明了中国大陆地震构造空间分布的广泛性,这与板缘地震的空间高度集中性不同,地震潜在震源预测具有更大的难度。从根本上说,这是中国大陆地壳结构复杂,断块构造发育,东西两侧同时受到太平洋板块、菲律宾板块和印度板块挤压碰撞的大地构造环境决定的。

一、城市地震与活断层

上述地震中破坏最大和最具代表性的是唐山大地震,顷刻间唐山市区被夷为平地,24万人罹难,是同期发生的龙陵、松潘地震死难人口总和的1600倍,也是20世纪全球一次地震死难人口最多的。

唐山地震不仅让世人震惊,同时也提出了一些新的问题和启示。

1. 城市震害问题

联合国一项统计表明,20世纪全球地震伤亡与经济损失的95%集中在城市。唐山地震灾害特别巨大的根本原因就在于是典型的城市直下型地震。它表明随着社会经济发展和城市化、现代化步伐加快,那些人口建筑和财富高度集中的城市在面临地震袭击时是十分脆弱的,其直接损失和次生损失都十分严重,典型事件很多,如1906年旧金山地震、1923年关东地震、1948年塔什干地震、1985年墨西哥地震和1995年阪神地震等。

2. 活断层问题

唐山市区及其附近没有著名的区域性深大断裂,只有长度几十公里的小断层。大地震发生位置只有一条北东向,长约20km的断层。这种不知名的局部构造竟发生了近8级的大地震。类似的小型活断层在许多地方都存在,这是大陆地壳破碎程度较高,地震构造分布广泛的反映。它表明大陆地震不仅发生在那些著名的深大断裂带上,在某些小型断裂也可能发生;也说明即使百年老城市下方地体也并非永远都是固若金汤。显然,必须重新审视城市附近地方性小规模断层的活动性和地震危险性。

3. 历史地震问题

唐山市历史上从未发生过破坏性地震,最大地震仅为5级左右,平时小地震也很稀少。唐山以东50km的滦县历史上发生过 $6\frac{1}{4}$ 级地震,这是整个冀东最大地震记录。唐山地区震前的地震区划曾经确定为VI度区,结果却发生了XI度地震。其特点是在长期处于平静、稳定状态下,突然发震,且规模很大。这表明过去地震长期预测和稳定性评价主要根据历史地震记录的局限性,历史上没有大震记录的城市或地点并不都是永远的“安全岛”,还不能完全排除发生破坏性地震的危险。其根本原因有二:一是大陆地震复发周期很长,有的甚至超过了历史记录长度,使后者不能反映地震轮回和时空演化的全貌;另一个可能的原因是城市下

面的新生地震断裂没有被发现或认识。

唐山地震的发生还证实了邢台地震后李四光教授有关地震将沿新华夏系构造向北东方向迁移抵达燕山东西向构造带为止的著名论断。证实了唐山地区北东向断裂与天津平原北东向断裂属于同一复合性构造体系和断裂系统。地震震中分布图像也显示出这种关联性。唐山地震的发生表明这些北东向断裂具有发生大地震的潜在危险。20 世纪 80 年代,丁国瑜院士、马宗晋院士等提出存在唐山—天津—河间—邢台北东向地震带,构成河北平原地震带的重要组成部分,并指出是新生的地震带。又根据历史地震以及唐山地震触发的宁河 6.9 级地震,宝坻 5.8 级地震和通州马驹桥 4.7 级地震沿北西向断裂展布的事实提出存在张家口—昌平—宁河—渤海—烟台北西向地震带(简称张家口—渤海地震带)。这两个地震带交汇部位就在天津。天津市地质构造复杂,隐伏断裂较多,纵横交错,呈隐伏状态,活动性质不明,没有进行过专门研究。1983~1984 年天津地震局在天津市海岸带资源调查中发现在天津地区的全新世地层中保存着大量的几百至几千年前的多期古地震遗迹和断层最新活动的证据。种种迹象表明天津存在发生城市地震的地质构造条件。天津受邻区地震影响较大,唐山大震使天津两万多人殒命。宁河 6.9 级地震发生在天津东部蓟运河断裂附近,是全国十大城市百年来最靠近市区,震级最大的地震,是典型的城市地震。唐山地震与宁河地震使我们认识到加强城市防震减灾基础工作的重要性和重新审视城市附近地下断层性质的必要性。

二、城市发展的地震安全保障问题

华北东部渤海西岸滨海平原,是新生代裂谷盆地历经几千万年沉积充填淤积演变而来。裂谷是在地幔上隆,地壳拉张减薄发生破裂,岩浆喷溢,地壳塌陷形成的。裂谷活动高潮已过去,但余波尚未结束,主要表现为断裂运动和地震活动,至今地震频发,并构成唐山—邢台地震带和张家口—渤海地震带,就是这个构造仍在活动的标志。天津市座落于裂谷盆地内部,两个地震带的交汇部位,地下构造复杂,有些断裂还直接从市区穿过并在市区交汇,但是这些断层活动性质、活动程度不完全明了。而且,唐山地震的主要高烈度异常区,很多分布在天津境内,如宁河、汉沽Ⅸ度区,塘沽和市内的局部Ⅷ度区都与工程地震地质条件有密切关系。由于地处华北裂谷盆地,天津市滨海地区松散沉积层巨厚,地基大部分属于典型软土地基,耐震性能差,对地面加速度、位移、振动周期、振动持时,都产生放大效应,在发生地震时,液化与震陷问题严重,在相同地震情况下,比其他类型地基震害加重。

20 世纪 80 年代以来,天津和全国一样迎来了改革开放大发展时期,经济开发和市政建设高速发展,特别是滨海新区的建设成绩显著。天津已经成为拥有 1000 万人口的国际港口大都市。在这样的形势下,如何构建城市地震安全保障体系,成为地震部门面临的重大挑战。20 世纪 90 年代初期城市建设工业布局遇到了活断层问题。城市建设的客观需要表明查清城市地下断裂构造的活动性和地震危险性是一项重要的基础工作。1995 年日本阪神发生 7.6 级地震,损失惨重,死亡 5000 余人,直接经济损失达 1000 亿美元,是日本关东地震以后损失最大,也是全世界一次地震经济损失最大的地震。地震震级与日本海沟地震相比,并不算大,高损失,大破坏的原因就在于发生在大阪市下方的活断层上,为典型城市直下型地震,最严重的震害带沿断层分布。因此,城市下方的活断层不仅是发生城市直下型地震的直接原因,也是导致震害加重的重要因素。震后日本政府吸取教训,为了强化城市安全保障机制,夯实防震减灾的基础,决定加强内陆城市活断层调查。神户是日本第二大港口,是天津

友好姐妹城市，与天津地理环境也十分相似，都是滨海内陆港口城市。神户的经验教训再次强化了开展天津城市活断层调查必要性和迫切性认识。天津市地震局专家为此及时地开展了预研究。

1996年9月，天津市地震局正式向市政府提出在“九五”期间开展城市活断层研究建议，对于其工程必要性和可行性进行了多层次的论证，丁国瑜院士专程来天津指导此项工作。该建议很快得到了市政府的支持，1998年市政府召开市防震减灾工作会议，将地下隐伏活断层定量评价纳入天津市防震减灾整体规划。1999年5月市政府发展计划委员会正式批准立项，决定以同天津市区关系密切的海河断裂，天津断裂和沧东断裂为调查重点，分期分批进行。从城市发展规划考虑，海河断裂与天津海河下游工业区及滨海新区关系密切，涉及天津工业东移和新的经济增长点布局，同时海河断裂又是天津地区所有断裂中最不清楚的断裂，急需加强探查研究。决定第一期先调查穿越市区与滨海新区的海河断裂，第二期调查天津断裂和沧东断裂。

从本质上讲，研究天津地区断层活动，也可以说是研究华北平原—渤海新生代裂谷盆地内部的现代构造活动特征。由于天津就位于该沉降盆地内部，与其他大城市地质地理环境很不同，这种独特的环境赋予天津的研究具有构造环境的典型代表意义。断层活动性强弱不同，规模不同，活动历史不同，活动周期不同，发展趋势不同，危险性不同，对不同类型工程影响也不同。经过科学探查与评价，一方面可以避免因为不了解或忽视断层的危害性，准备不足而造成类似唐山，神户的后果。另一方面，也可以避免因底数不清，缩手缩脚，延误开发造成土地资源闲置浪费。在探测评价基础上，根据实际情况采取适当的工程技术措施，使我们在城市建设中趋利避害，未雨绸缪，更科学，更安全，更放心，显著地增强城市发展可持续性。

三、工作进展

开展城市隐伏活断层探测评价是实现我国防震减灾十年目标的重要基础性工作。现代大地震现场震害调查表明，断层对震害分布有重要影响，往往重灾区局限于活断层附近几十米范围内。开展城市活断层工作为城市建设发展规划规避地震风险，使地震灾害损失降到最低程度成为可能。

天津市地震局于1999年下半年在调查研究基础上编订了施工设计方案、项目分解、流程规划和人员组织，并于2000年1月正式启动，至2001年9月海河断裂探查评价项目完成。

该项工程的目的任务有：

- (1) 查明海河断裂规模和空间展布特征；
- (2) 查明海河断裂的活动性；
- (3) 查明海河断裂地震危险性及对城市规划的影响；

另外本项工程的组织实施为城市活断层探测工程提供经验也是其任务之一。

该项工程分为两大阶段：

- (1) 第一阶段是采用遥感、人工地震、重力、航磁、大地电磁测深、地球化学、声波地层、钻探和形变测量等多项手段对海河断裂进行系统的探查。探查范围西起武清经市区到滨海，总长度约80km，宽度约10km。

(2) 第二阶段是在系统探查基础上, 综合分析海河断裂的活动特征和运动性质, 并对其地震危险性和危害性进行定性与定量评价。

通过广泛收集资料, 充分吸收、消化、掌握各相关部门有关海河断裂的探查研究成果, 在前人研究基础上对一些关键部分、复杂地段进行专门的野外探查, 采取深部与浅部构造相结合, 定性分析与定量评价相结合, 野外探测与室内分析相结合的原则, 全面、系统地进行分析与综合评价。

依据航磁、重力等资料初步查明海河断裂延伸总长度约 330km, 为走向北西西, 切穿中上地壳的断裂, 其中陆上长度约 180km (太行山前一塘沽)。海域长度约 150km (塘沽—渤海中部), 但该断裂没有完全贯通, 断断续续分布。工作中对武清到塘沽, 包括市中心区域的营口道、成都道、绍兴道等重要街区开展了人工地震探查, 确定了海河断裂在相应地段的准确位置。通过钻孔勘探、样品年代测试获得了断层的活动年代。通过大地电磁测深及与浅层人工地震, 确定海河断裂在地表下至 10km 深度为铲型断裂, 底部有逆冲性质, 上部为正断层。在 10~30km 深度为高倾角近直立断层。查明了深浅构造关系及切割深度。

在近两年的探查与评价过程中, 基本上查清了海河断裂的空间位置、倾向、倾角、上断点、断距、滑动速率、断层应力场等几何学及运动学特征。确定了断层最新活动年代、地震危险地段、最大可能震级、峰值加速度等主要参数和分布图像。

另外, 由于城市活断层探查是在工业、交通、电磁等强干扰环境中进行, 为了取得可靠信息, 对多种探查手段的适用性进行有针对性的试验, 如对人工地震的爆破源、枪源、可控源、数字编码震源(夯源)等都做了试验比较。此外对水域声波探测方法进行了探索, 为后续的断层探查评价积累了宝贵经验。

工作阶段总结中, 完成了 14 个二级报告, 为总报告编写打下了良好基础。最终报告于 2001 年 10 月经过了以马宗晋院士为首的中国地震局和天津相关部门专家组成的联合验收组认真审查, 通过了验收, 并获得中国地震局 2002 年防震减灾优秀成果二等奖、天津市 2002 年科技进步二等奖。该项目的成果已经在天津市工程建设场地地震安全性评价等工作中得到了广泛应用。

四、情况说明

鉴于城市活断层探测评价对城市防震减灾意义重大, 是一项重要基础性工程, 也是一项十分艰巨的任务, 在野外探查施工中存在大干扰背景, 过去经验较少, 有相当的难度。天津地震局高度重视, 将该项工程列入天津地震局“九五”重点项目之一。由局法人代表刘连柱局长任项目总负责, 由副局长赵国敏研究员分管, 聘请赵根模研究员为技术总负责。聘请丁国瑜院士、汪一鹏教授、陈国星教授、李明朗教授和李风林教授等组成项目顾问组。主要完成人员采取老中青结合, 以老带新, 完成任务与锻炼培养年青人才并举, 聘请卫鹏飞、李一兵、聂永安、陈宇坤、龚绍京、陈化然、郑文俊、唐仲兴、王公学、邱虎、崔晓峰、邵永新等十几位业务骨干担任专题负责人。

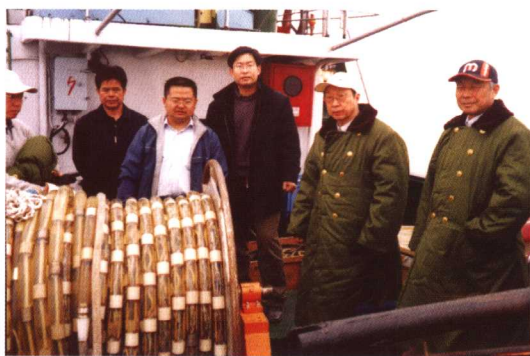
项目实施中始终得到天津市政府、市计委等有关部门及中国地震局的支持与关怀。中国地震局与市计委领导、专家多次亲临施工现场进行指导。中国地震局物探中心、地质科学院物化探中心、中国地震局地质研究所、第一监测中心、原国土资源部第一、二物探大队、航空物探中心、国家海洋局第一海洋研究所、天津市与河北省地矿局钻探队等单位参与承担大

部分野外施工和实验室样品鉴定。工作中得到上海市地震局、大港油田管理局、天津地质矿产局、天津地质矿产研究所、天津市公安交管局、天津市政工程局、天津市园林局及区县地震办公室的热情帮助。本工程项目是在主管部门、兄弟单位的支持协作下得以顺利完成。特别要指出,岳明生副局长、郝晓远副主任、朱世龙司长等领导同志多次亲临现场检查指导,丁国瑜院士对工程从立项申请到完成进行了全程指导,多次就活断层科学理论和研究方法进行答疑教诲;李明朗、宫文欣、李风林、张裕明、汪一鹏、高昌等已年届古稀的老专家都提出了非常重要的建议;徐锡伟、陈国星、王强、田树信、周志勇、肖景华、范哲青、姚江波等资深专家都给予热情的支持与帮助,不一一列举。另外,天津市地震局原局长徐德诗同志在1996~1998年天津城市活断层工程的立项申请、向市政府领导汇报与沟通、人员组织和部署等方面,做了大量基础性工作。在本书的编写过程中,天津市工程地震研究中心的付仲生、杨菲、杨绪连、任峰、刘芳等同志承担了文字录入、排版、绘图和复印工作,为本书的及时定稿做了大量工作。

对上述有关领导机关、管理部门、资深专家、学者、老领导和有关工作人员为本书做出的贡献,我们表示衷心的感谢和最诚挚的敬意。

2003年国家计委批准中国地震局建议,于“十五”期间在全国基本烈度 $\geq$ Ⅶ度、人口数 $\geq$ 100万的20座大城市开展城市活断层探查与评价工作。天津市活断层工作也纳入了这一宏大计划之中。为了总结经验,加强科技交流,推进城市活断层研究,决定在工程项目报告基础上,加以完善和提高,编写天津市隐伏活断层探查与评价系列丛书,本书以海河断裂活动性研究作为丛书第一册。提供有关部门和广大同行参考,并以此作为唐山地震三十周年纪念。

最后应指出,由于城市活断层是一项新的课题。天津市是位于中国北方的新生代裂谷盆地和新生的地震带中的人口密集交通发达的大城市,断裂隐伏于巨厚沉积覆盖层之下,其探测和评价难度很大,特别是华北平原弱活动深隐伏断裂的评价是一项长期的任务,须要慎重、反复斟酌逐步加深认识。相对城市活断层探测的目标和任务而言,本工程投入的探查工作量和时间有限。尤其是作者理论水平有限,本书的缺陷与不足在所难免,敬请广大读者给予批评指正。



照片1 丁国瑜院士大沽口海域声波探测现场指导



照片2 中国地震局和天津市计委领导出席活断层项目验收会



照片3 马宗晋院士主持活断层项目验收会



照片4 中国地震局专家主持人工地震验收会



照片5 人工地震野外施工



照片6 人工地震野外施工



照片7 人工地震夜间施工



照片8 断层气施工现场



照片9 钻探施工现场



照片10 高精度重力探测野外施工



照片11 海河声波探测



照片12 野外考察

目 录

第一章 区域地震构造背景	(1)
第一节 大地构造位置与区域构造演化特征	(1)
第二节 区域新构造运动特征	(7)
第三节 区域深部构造特征	(9)
第四节 区域构造应力场特征	(15)
第五节 区域主要断裂构造	(17)
第六节 区域地震活动性	(29)
第二章 海河断裂的探查	(36)
第一节 海河断裂研究概况	(36)
第二节 海河断裂的航磁、重力及卫片资料解释	(41)
第三节 高精度重力探测	(46)
第四节 地球化学探测	(61)
第五节 高分辨率浅层人工地震勘探	(69)
第六节 大地电磁测深	(87)
第七节 第四纪地层钻孔地质勘探	(95)
第八节 水上声波地层探测	(98)
第三章 海河断裂的构造特征	(105)
第一节 海河断裂空间分布特征	(105)
第二节 海河断裂的深部构造特征	(108)
第三节 海河断裂分段特征	(111)
第四节 海河断裂构造的动力学特征	(122)
第四章 海河断裂的地震学研究	(125)
第一节 天然地震波层析成像	(125)
第二节 天然地震重新定位与地震活动性评价	(133)

第三节	区域应力场及附加应力场研究	(143)
第五章	海河断裂晚第四纪活动	(150)
第一节	天津地区第四纪地层与海相地层分布	(150)
第二节	钻孔地层对比研究	(153)
第三节	水上声波地层探测	(165)
第四节	海河断裂晚第四纪活动特征	(175)
第六章	海河断裂的地震危险性和危害性评价	(181)
第一节	潜在震源区划分	(181)
第二节	最大震级及地震活动性参数估计	(184)
第三节	海河断裂的地震危害性评价	(187)
第四节	结论	(209)
参考文献		(212)
参考资料		(215)

第一章 区域地震构造背景

第一节 大地构造位置与区域构造演化特征

一、大地构造位置

天津市地处华北地区东北部，东临渤海，地貌上为广阔的平原。大地构造上位于华北地台北东部的冀渤断块坳陷（渤海湾裂谷盆地）的中北部和燕山断块隆起南部。冀渤断块坳陷是由古华北准地台演化而来，其北部为燕山断块隆起，西部为太行山断块隆起，东南为埕宁断块隆起，东部与胶辽断块隆起相接（图 1-1-1）。始新世以来，冀渤断块坳陷内部 NNE 向断裂与 NWW-NW 向断裂两侧在喜马拉雅运动中升降差异运动增大，将盆地切割成

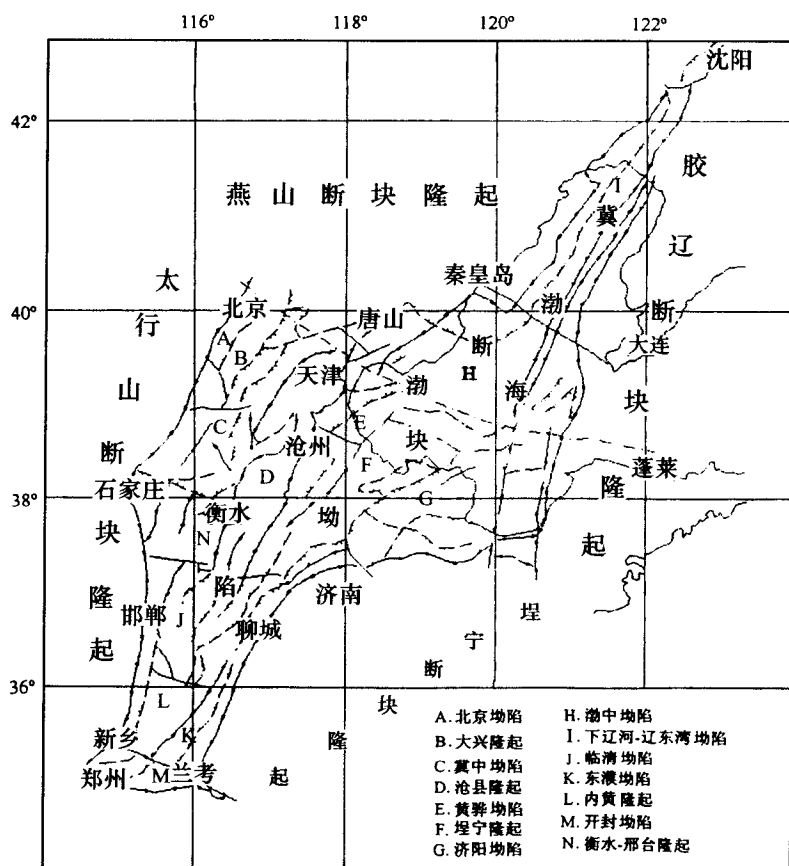


图 1-1-1 渤海湾裂谷盆地构造单元划分示意图（据徐杰，1998）

一系列 NNE 向长条形的次级隆起和拗陷,如冀中拗陷、沧县隆起、黄骅拗陷、埕宁隆起、渤中拗陷等。区域构造线主要以 NNE-NE 和 NW-NW 两组断裂为主。海河断裂则属于华北地台冀渤拗陷中的一条 NW 向的区域性大断裂。

1. 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。为燕山期以来的强烈隆起区,总体走向 EW 向转 NE 向。新生代时期主要表现为间歇性、阶段性抬升,形成多级夷平面。北台期夷平面海拔 1000m 左右,唐县期夷平面海拔 500m 左右。新构造时期持续隆起,第四纪除河谷中有一些堆积阶地外,山区广大地区均为剥蚀区。

2. 太行山断块隆起

东界为太行山山前断裂。该断裂为华北平原(华北断陷盆地)与太行山区的天然界线,是一条规模很大,上陡下缓的正滑脱断裂。断裂带两侧断块间差异运动十分显著,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梯状地貌面。其中形成于老第三纪初的五台期夷平面和新第三纪中、上新世时期的唐县期剥蚀面,以及第四纪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。

3. 埕宁断块隆起

埕宁隆起位于黄骅拗陷东南,西以赵家堡-盐山断裂为界,与黄骅拗陷相邻,北临渤中拗陷,轴向 NNE-SSW,为一向北突出的弧形隆起。其基底和盖层情况与沧县隆起近似。

4. 胶辽断块隆起

胶辽块隆位于冀渤断块的东部。西以郯城-庐江断裂带与冀渤断块相邻,是一个长期隆起区,新生代时期同样以间歇性抬升为主。

四大断块隆起围绕着中间的一块即为冀渤断块拗陷区。该区由 NNE-NE 向、NW-NW 向断裂带构成了基本断裂网络。这些断裂中有的为断至岩石圈的深断裂,有的为切割基底的地壳断裂,有的为断至沉积层的盖层断裂,有数百公里的主干断裂,也有几十公里的一般断裂。按活动时间有老第三纪断裂、新第三纪中、上新世断裂与第四纪活动断裂。这些大小不等的断裂将本区切割成规模不等的次一级构造块体。

二、冀渤断块拗陷的构造演化特征

冀渤断块拗陷的主体是渤海湾裂谷盆地,是一个典型的多旋回的裂谷盆地,经历了结晶基底形成期和沉积盖层发育期两大旋回。其形成与发展是以太古代一早元古代褶皱变质的结晶基底构造为基础,以中晚元古代的台缘裂陷,古生代稳定的地台盆地,中新世盆地一大陆内拱升裂陷为背景,从新生代始新世起逐步形成的老第三纪断陷,新第三纪演化成的大陆裂谷盆地。

1. 太古代一早元古代基底构造形成期

地台结晶基底形成大体经历了长达 20 亿年漫长的地史阶段(39~18 亿年前)。冀渤断块拗陷的结构与周缘三大山区密切相关,鲁西基底由晚太古界的泰山群组成,呈单层结构,上覆层被中上元古界的土门组披盖,缺失下元古界。太行山基底由中上太古界的阜平群、早元古界下部的五台群和上部的薄沱群组成,呈三层结构。燕山基底由中下太古界的迁西群、

上太古界的单塔子群和下元古界下部的双山子群和上部的朱杖子群组成，呈四层结构，后者发育时间最早，活动与固结时间最长，是我国最古老的原始陆核（图 1-1-2）。

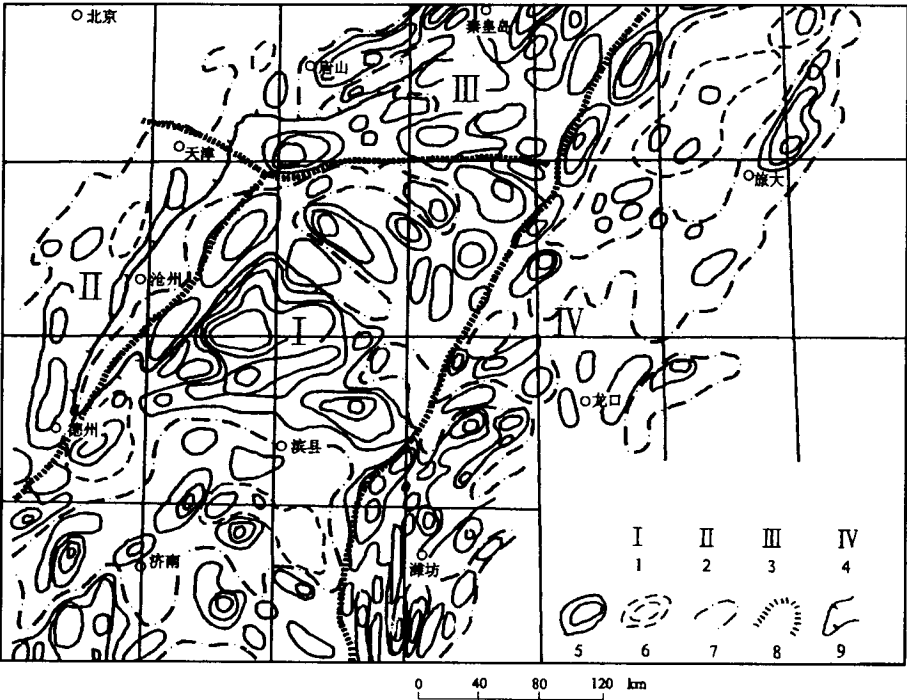


图 1-1-2 渤海盆地航磁成果图

1. 鲁西基底；2. 太行山基底；3. 燕山基底；4. 胶辽基底；5. 正磁异常；6. 负磁异常；
7. 零磁异常；8. 基底分区界线；9. 黄骅盆地界线

区内太古界（Ar）仅在蓟县北部有少量出露，属迁西群。为中、深度区域变质和混合岩化的铁铝榴石角闪岩相的角闪斜长片麻岩，角闪岩和少量变粒岩，变质杂岩组成的一套副变质岩系。

2. 地台盖层发育期

前第三系覆盖层构造发育经历了三个发展阶段：

(1) 中上元古代台缘裂隙发育期（18~5.7 亿年前）。

中条运动后，华北地台虽已形成，但固结程度低，整个地台处于从活动地块向稳定地块转化阶段。

本区只有中上元古界（Pt）在蓟县出露，相当于 18~5.7 亿年前，包括长城系、蓟县系、青白口系，是地台第一个盖层，为一套陆相碎屑建造—滨海相碎屑建造—海相碳酸盐建造。大红峪期见到火成岩建造，为富钾花岗岩（钾氩法测定为 9.93 亿年）。这套沉积岩层，厚度达 10⁴m 左右，韵律层明显，生物发育。

中元古代时在平谷—兴隆海槽内，受近 EW 向断裂构造控制形成了大红峪期火山喷发，火山岩带西起北京平谷，东至天津蓟县和河北遵化、滦县一带，东西长约 150km，南北最宽约 20km，西部最大厚度为 624m，东部最厚近 500m，不同期熔岩溢流和喷发产状基本稳定，

喷发型式以裂隙式溢流为主, 并有少量火山碎屑喷发, 同时也伴有潜火山岩岩脉产出。

(2) 古生代稳定的地台发育期 (5.7 ~ 2.3 亿年前)。

华北地台经蓟县运动上升后, 地台主体虽已成为大陆, 但地台西南与东南两侧海槽还在发育, 直至震旦纪末的一次上升运动才使上述地区最后关闭。华北地台至此整体上升为陆, 为古生代地台盆地的发展奠定了基础。华北地台经历了早古生代与晚古生代两个盆地发育期。其中加里东运动使华北地台整体上升。中奥陶纪—石炭纪经过长达 1.3 亿年的沉积间断。

下古生界 (Pz_1) (5.7 ~ 4.4 亿年前) 为一套海相碳酸盐建造地层, 本区上部缺失上奥陶系—志留系 (2.7 ~ 2.3 亿年前)。

上古生界是一套总厚度 > 1000m 的海陆交互相含煤建造。

华力西期火山岩主要分布在天津蓟县、宝坻与河北玉田之间的蓟玉煤田。经钻探发现了晚古生代煤系, 并在煤系地层中发现不少火山碎屑岩。形成时代主要为晚石炭纪至早二叠纪, 故称为华力西期火山岩。

火山碎屑岩主要分布在上石炭统太原组上部 (赵各庄组) 和下二叠统山西组 (大苗庄组)。火山碎屑物主要为安山岩岩屑和斜长石晶屑, 相当一部分碎屑有圆化现象, 除了正常火山碎屑岩外, 不少是属于向沉积岩过渡的火山碎屑岩。

(3) 中生代—陆盆—大陆内拱升裂陷 (230 ~ 65 百万年前) 发育期。

按照中生代构造与沉积特点, 中生代经历了三叠纪大型陆相盆地发育和晚中生代侏罗—白垩纪大陆内拱升裂陷两个阶段。

三叠纪早期大型陆相盆地期 (230 ~ 195 百万年前) 区域构造展布受前期构造控制为近 EW 向。三叠纪晚期则为大型陆相盆地发育的萎缩期。

晚中生代侏罗—白垩纪为大陆内拱升裂陷发育期 (195 ~ 65 百万年前)。

此期我国大陆除受纬向构造带应力场影响外, 主要来自东侧大洋地块 NW 向应力挤压, 印支运动导致地幔层差异上隆, 使地台内产生拗褶及断褶为主的运动。侏罗纪燕山运动使地壳被强烈扭断抬升而拱曲张裂。NE—NNE 向古沧东隆起和古埕宁隆起扭断抬升, 控制了盆地基本轮廓。地层主要为火山岩和陆相碎屑岩建造, 含有泥岩、砂岩、砾岩及中酸性火山岩、玄武岩, 厚度 1000 ~ 2000m。

据钻孔资料, 中生代燕山期火山岩主要分布在天津市的中部和南部, 如武清、军粮城、赵各庄、中旺一带。其中以中旺一带发育较好, 钻孔中见火山岩 40 多层, 单层厚几米至几十米, 总厚度达 254m, 杨柳青一带发育较差, 仅见 1 ~ 6 层, 一般为 30 ~ 40m; 另外在蓟县以南的邦均、漕溜一带的钻孔中, 见到有安山岩夹玄武岩和凝灰岩, 从岩性特征和地层关系看, 这套火山岩应是燕山期产物。该期火山岩以熔岩类为主, 少部分为火山碎屑岩, 它们都有不同程度的风化。

华北地台经过白垩纪末至第三纪始新世沉积前的长期剥蚀夷平古地貌已准平原化, 而此期正是太平洋板块、印度洋板块对欧亚板块作用方向改变, 由前期左旋挤压变为右旋拉张应力场过渡时期, 导致了华北诸盆地转入扩张型裂谷盆地发育阶段。

3. 裂谷扩张期

(1) 老第三纪裂谷阶段: 裂陷盆地发育期 (65 ~ 20 百万年前)。

晚白垩纪至第三纪初, 太平洋板块向亚洲俯冲加强, 方向由 NNW 转为 NWW。同时印度

板块与亚欧板块碰撞挤压,也开始影响华北,使原有的逆断层系统反向倾滑和侧向扩张,产生与太平洋板块俯冲方向垂直的华北平原等大型盆地。晚第三纪伴随印度板块作用加强与太平洋板块俯冲带东移,使华北大陆地壳向东方蠕散、滑移和俯冲,华北平原—渤海裂谷绞合为大型坳陷盆地。在地幔热对流的垂向应力与水平拉张应力共同作用下,地壳向太平洋方向滑移、旋转,形成一系列铲式正断层组合控制的断陷盆地,呈现为 NNE 向盆地、隆起条状构造,见图 1-1-3。方向垂直华北平原等大型盆地。至晚第三纪,伴随印度板块作用加强与太平洋板块俯冲北东易受裂谷演化旋回性控制,经历了裂陷兴盛—稳定—萎缩三个发展阶段。

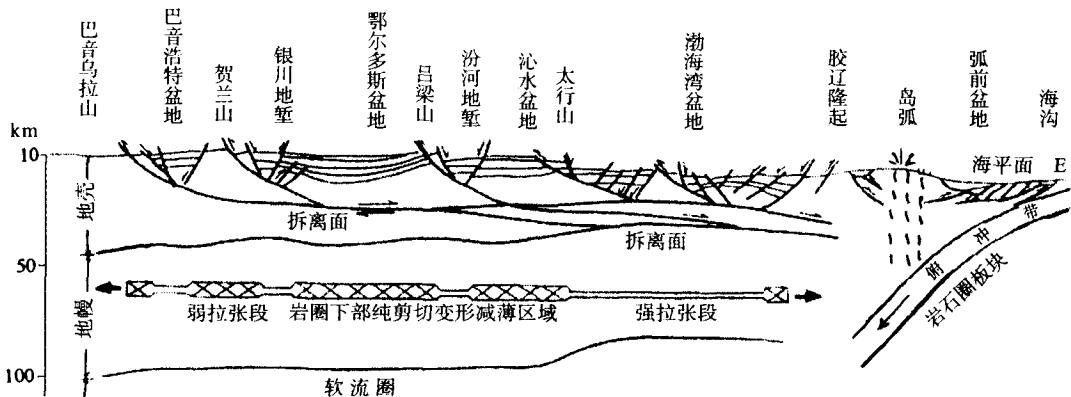


图 1-1-3 华北地区裂谷盆地形成模式图 (据张功成等, 1999)

① 始新世为初始裂陷—裂陷发育阶段。始新世裂谷扩张始于盆地南区。中生代末期华北大区域地幔隆起在右旋拉张应力场作用下,产生华北大型拆离断层,沧东断裂作为一个分支首先活动,控制南部地区裂谷发展形成,地幔上涌活动也同步加强,诱发一定规模碱性玄武岩喷发,形成地堑型盆地及盆地中央的隆起带。

本区缺失古新统,始新统主要分布在坳陷低洼地区。如黄骅拗陷南部与武清凹陷中,厚 400~3600m,红色泥岩夹灰绿色砂岩。上部灰白色砂岩和泥灰岩,厚 500m。

② 渐新世沙三期为裂谷扩张兴盛阶段。此期南区虽有扩张,但强度明显减弱,其扩张量与扩张率分别由前期的 6800m 和 31.4% 减为 3200m 和 8.6%。此期由于拆离断层的持续发展,在沧东、徐黑断裂继续活动的同时,盆地东南侧埕西断裂也开始活动,从而使盆地南区在原“一隆两坳”的基础上发展成为“两隆三坳”的构造格局。

本区渐新统主要分布在东部以及武清一带,以暗色砂岩、泥岩为主,厚为 400~2000m。

盆地北缘的宁河—昌黎,西缘的沧东,东南缘的埕西断裂相继活动,使盆地同周边隆起或与周边山区分开,奠定了盆地的基本轮廓。由于盆缘拆离断裂进一步下切,导致盆内中生代形成的 NE 向的北大港、南大港、涧河等断裂,以及 NW 向的扣村—羊二庄、海河—新港、汉沽—西南庄两组断裂相继发育。

③ 渐新世沙二—东营期为稳定—萎缩发育阶段。此期裂谷扩张同前期相比明显减弱,但扩张中心仍在中北区。南区的扩张量与扩张率为 2100~2500m 和 4.2%~5.9%,而中、北区扩张量与扩张率为 5500~6000m 和 12.7%~24.1%。整个盆地活动继承前期格架继续发展,盆地性质随着扩张量的减小,由前期断陷型逐渐向断坳型过渡(断陷阶段相当于盆

地稳定发育期，断拗阶段相当于盆地萎缩发育期)。

(2) 新第三纪—第四纪后裂谷新构造旋回发育期 (20 百万年至现今)。

① 新第三纪中、上新世盆地扩张十分微弱，最大扩张量仅 300m，扩张率 10%；火山活动减弱，区域性大规律玄武岩喷溢基本停止，取而代之的是局部小规模喷发与侵入，主要分布在少数活动较强的断裂交织点，由此形成以重力为主的沉降阶段。整个华北平原上第三系—第四系地层以近于水平的产状广泛超覆在下第三系及更老的地层之上，形成统一的华北巨型拗陷式盆地。中新统馆陶组以泥岩、砂砾岩为主，厚度 200 ~ 600m，上新统明化镇组主要分布在宝坻以南广大地区，以砂岩、泥岩为主，厚 700 ~ 1500m。

② 渤西地区，特别是歧口、南堡凹陷的中心部分正对应于现今上地壳隆起区，火山活动及新构造活动异常强烈，上第三系玄武岩大面积分布，如南堡凹陷馆陶组玄武岩分布达数百平方千米；歧口凹陷中、北部的海 2、海 3 井明化镇—馆陶组玄武岩和辉绿岩厚度达数百米。经岩石化学分析为偏碱性拉斑玄武岩系列，为较典型的裂谷盆地玄武岩，它们生成于地下 35km 处，这均表明地幔上涌，地壳拉伸减薄的深部构造不是老第三纪时期的延续，而是在新第三纪至今的重现。再注意到与地幔上隆起成镜像对应关系的海域上第三系沉降中心区大量发育的表层断裂都延续到第四纪，出现上第三系地层倾角达 $7^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，大于下第三纪的“陡”构造，盆地外围海兴县大山、小山和新埕 1 井等地，第四系地层频繁的火山喷发与侵入，联系 1966 年以来华北平原与渤海一系列大地震的发生等地质现象和事件，可以认为盆地在老第三纪晚期回返夷平后，新第三纪又开始了一个新的构造旋回。该旋回还属初始阶段，仅在地幔隆起的“热点”部分较明显的表露出来，还没有向外大规模伸展开来。

总括而言，本地区几十亿年以来，经历了长期强烈活动的太一元古代，5.7 ~ 2.3 亿年的古生代有长达 3 亿年的稳定期。2.3 ~ 0.65 亿年的中生代为一个长 1.5 亿年的剧烈活动期。然后进入新生代裂谷发育期，此期为中生代地台活化运动的继续 (表 1-1-1)，并于第三纪晚期进入新构造活动期。

表 1-1-1 渤海湾地区各阶段盆地类型

构造层	亚构造层	盆地类型	备 注
新生界构造层(K_2)	上第三系—第四系构造层($N-Q$)	陆内拗陷盆地	喜山运动
	下第三系构造层(E)	陆内拗陷盆地	华山运动
中生界构造层(M_2)	上白垩统构造层(K_2)	陆内拗陷盆地	四川运动
	上侏罗统一下白垩统构造层(J_3-K_1)		燕山运动
	下侏罗统构造层(J_{1-2})		燕山运动
古生界构造层(P_2-T_2)	上古生界及三叠系构造层($C-P-T$)	克拉通内部拗陷	印支运动
	下古生界构造层($\epsilon-O$)		
中上元古界构造层(Pt_{2-3})	青白口系构造层(Qn)	克拉通内部拗陷槽	蓟县运动
	蓟县系构造层(Jx)		
	长城系构造层(Ch)		
结晶基底($Ar-Pt_1$)			