

国家自然科学基金资助项目(40574027)

天津地区 地震灾害与预测

赵国敏 陈化然 蒋 淳 田 山 王建国 著



唐山地震 30 周年
天津市地震局建局 30 周年

纪念专著系列之三

地震出版社

国家自然科学基金资助项目 (40574027)

唐山地震 30 周年
天津市地震局建局 30 周年 纪念专著系列之三

天津地区地震灾害与预测

赵国敏 陈化然 蒋 淳 田 山 王建国 著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

天津地区地震灾害与预测/赵国敏等著. —北京:地震出版社, 2006. 5

ISBN 7-5028-2571-1

I. 天… II. 赵… III. ①地震灾害-研究-天津市②地震预报-研究-天津市 IV. P316. 221
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 095204 号

地震版 XT200400254

天津地区地震灾害与预测

赵国敏 陈化然 蒋淳 田山 王建国 著

责任编辑:宋炳忠

责任校对:李 昭

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

E-mail: seis@ht. rol. cn. net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2006 年 5 月第一版 2006 年 5 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:397 千字

印张:15.5 插页 3

印数:001~500

书号:ISBN 7-5028-2571-1/P·1207 (3198)

定价:50.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

前 言

天津地区位于我国华北平原的东北部，海河流域下游。它东临渤海，北依燕山，南北长 189 km，东西宽 117 km，总面积 11919.7 km²。天津距北京 120 km，为首都之门户。远古时代，天津所在的大部分地区曾是一片汪洋大海，后来海水退落，海河入海口三次北移，带来大量泥沙淤积，使海岸线东移，逐步成为平坦陆地。

天津地区地下构造复杂，断层分布广。历史上多次受到强震波及，1976 年宁河 6.9 级地震对天津产生了很大的破坏和影响。天津市位于国务院确定的首都圈地震重点防御区内，近年来，首都圈中部地区（即京津地区和渤海地区）被划为有中强地震背景的重点监视区，异常情况日趋明显增多，有感地震随时都有发生的可能。

多年来，天津市政府坚持“经济建设同减灾工作一起抓”的指导方针，认真履行“防震减灾法”赋予的职责和义务，认真研究和探索防震减灾工作的规律和方法，经过艰苦奋斗、不懈努力，防震减灾事业取得了长足发展。特别是“九五”以来，天津市成立了天津市防震减灾工作领导小组，初步建立起政府领导、统一管理、分级分部门负责的防震减灾工作领导体制。重点建立了地震监测预报、震灾预防和紧急救援三大工作体系，建设了“天津数字地震遥测台网”、“天津数字前兆观测台网”和“天津地震计算机信息网络系统”，实现了地震观测技术自动化、数字化、网络化。建设了地震分析预报远程会商系统和地震应急决策指挥系统，实现了震情会商和应急、快速响应的现代化。取得了一些强震前地震活动性特征及前兆异常特征的认识，先后对张北 6.2 级强震、5.6 级强余震和唐山 4.4 级地震做出了较为成功的中、短期预测。

本书内容是近些年天津市防震减灾工作部分成果的经验总结。本书分以下几部分：第一部分为区域地质构造背景与地震灾害，包括天津地区地质构造特征，深部构造特征，天津地区地震活动与地震灾害；第二部分为天津地区地震监测预报系统建设情况，包括天津市测震台网，天津市数字化地震前兆台网，天津市地震分析预报技术系统；第三部分为天津地区地震分析预报方法研究成果，包括天津市地震分析预报研究概况，天津地区中短期预报方法指标研究，天津地区地震中短期预报指标效能评价，天津市中短期预报的综合标志和综合

预报方法；第四部分是中国地震局监测预报司资助下研制完成的“震情分析预报新方法软件系统”，及该软件系统在天津地区地震预报中的应用研究成果；第五部分为天津地区两次强有感地震的预报实践经验总结。书中的资料主要取自天津市地震局“首都圈防震减灾示范区项目系统工程成果”“海河隐伏断裂探测与地震活动性评价项目成果”“地震中长期预测物元分析方法研究成果”“大陆强震危险区可拓方法综合预测应用研究成果”“天津市中短期地震预报技术研究成果”等。

随着天津市经济的快速发展和城市化程度的不断提高，人们的生活水平不断提高，政府和公众对地震预测的需求意识日趋增强。由于作者水平有限，书中一定有许多不当或欠妥之处，希望同行批评、指正。总之，希望本书的研究成果能为天津市的防震减灾工作以及经济建设的长期、持续、稳定发展做出一定的贡献。

目 录

第一篇 天津地区地震活动与地震灾害

第一章 天津地区地震预报基础信息	(1)
一、区域构造背景	(1)
二、区域地壳上地幔结构特征	(9)
三、新构造块体划分	(13)
四、新构造断裂带	(14)
五、本区主要断裂构造	(16)
第二章 深部构造特征	(18)
一、资料的搜集、数字化与分析	(18)
二、重、磁异常特征及其与主要构造的关系	(22)
三、重力、磁异常的分离及不同深度界面的反演	(25)
四、重力、航磁综合剖面研究	(36)
五、结果的分析与解释	(41)
第三章 天津地区地震活动与地震灾害	(47)
一、地震活动带	(47)
二、天津及邻近地区地震活动概况	(47)
三、天津及邻近地区地震灾害	(54)

第二篇 地震监测预报系统

第一章 测震台网	(57)
一、天津市数字遥测地震台网	(57)
二、天津市数字强震台网	(71)
第二章 天津市数字化地震前兆台网	(84)
一、主要技术指标	(84)
二、技术系统集成	(85)
三、仪器设备和系统技术指标	(87)
四、成果和效益	(90)
第三章 天津市地震分析预报技术系统	(104)
一、地震分析预报技术系统	(104)
二、关键技术、科学难点与创新	(105)
三、技术系统的集成	(106)

第三篇 地震分析预报方法研究

第一章 天津市地震分析预报方法研究概况	(113)
一、主要研究成果	(113)
二、天津市地震预报基础信息库建设	(114)

三、地震中短期预测基础图件	(117)
第二章 天津地区地震中短期预报方法指标研究	(130)
一、测震学方法指标研究	(130)
二、前兆学方法指标研究	(135)
三、天津地区特色手段、方法研究	(140)
第三章 天津地区地震中短期预报指标效能评价	(163)
一、测震学中短期前兆指标及预报效能评价	(163)
二、宝坻地电阻率(整点值)中短期前兆指标及预报效能评价	(166)
三、水化学中短期前兆指标及预报效能评价	(166)
四、地下水位等流体中短期前兆及预报效能评分	(167)
五、地磁学科中短期前兆指标及预报效能评价	(167)
六、地形变中短期前兆指标研究	(167)
第四章 地震中短期预报的综合标志和综合预报方法	(168)
一、天津地区地震中短期预报的综合标志	(168)
二、天津地区地震中短期综合预报方法研究	(170)
第四篇 天津地区地震预报软件系统	
第一章 系统概况与操作	(175)
一、系统概况	(175)
二、系统操作	(176)
第二章 系统内容及应用实例	(183)
一、文档管理	(183)
二、模糊地震学	(186)
三、统计地震学	(195)
四、综合方法	(198)
五、预报概率	(211)
六、绘图及其他	(214)
第五篇 天津地区两次强有感地震的预报实践	
第一章 宁河强有感地震	(215)
一、2003年4月宁河震群特征的分析研究	(215)
二、震源机制解	(218)
三、地震活动背景	(220)
四、宁河震群的前兆意义及其地震活动性分析	(222)
五、地震前兆与地震预报研究	(224)
第二章 塘沽强有感地震	(232)
一、前兆观测异常情况	(232)
二、震前预测情况及分析	(235)
参考文献	(236)

第一篇 天津地区地震活动与地震灾害

第一章 天津地区地震预报基础信息

一、区域构造背景

天津市位于北纬 $38^{\circ}34'$ 至 $40^{\circ}15'$ ，东经 $116^{\circ}43'$ 至 $118^{\circ}04'$ 之间，地处太平洋西岸环渤海湾边的华北平原东北部，海河流域下游；海岸线北起涧河，南至歧口，长约 133km。全市总面积 1.19 万多 km^2 ，其中平原面积占全市陆地面积的 94.2%。距北京 120km，是我国北方重要的港口城市。

天津市东部濒临渤海，西靠首都北京。地貌十分简单，为广阔的平原，而地下构造却纵横交错，极为复杂。天津地处华北裂谷盆地的中部，其构造骨架，主要是两坳夹一隆，由西向东，为冀中坳陷、沧县隆起和黄骅坳陷。隆起区基岩顶面埋深在千米左右，而坳陷区基岩埋深达八九千米。构造线主要以北北东—北东向和北西西—北西向两组断裂为主。该区中生代以前为稳定地台，燕山运动开始裂解断陷，形成裂谷盆地的雏型，喜马拉雅运动经历了由断陷到断坳的两大阶段，而形成当今之构造格局。海河断裂则属于华北地台冀渤坳陷中的一条横贯东西的区域性大断裂。

1. 稳定地台到裂谷盆地的演化

中国东部渤海湾地区属于中生代裂谷盆地的地质、地球物理依据主要有以下六个方面：

①地壳厚度明显减薄。地震勘探资料表明，华北盆地处于上地幔隆起，地壳相对减薄带，平原区莫霍面埋深为 28~34km，较周围山区的 36~42km 埋深，明显偏高 7~8km。盆地内的次级坳陷较隆起区莫霍面埋深偏浅 2~5km，其中黄骅坳陷埋深为 28~32km，是走向北东的上地幔隆起带，隆起最高部位在渤海西部。

②软流圈明显上隆。大地电磁测深并结合大地热流数据资料表明，包括渤海盆地在内的华北盆地，其软流圈上隆高度为 50~80km，远较周围的山区 80~120km 的埋深为浅。盆地内的隆起区（沧县隆起为 80km）也比坳陷区（冀中、黄骅分别为 70 和 50~60km）偏低，其走向为北东，与整个华北盆地的形态相似，同时与该区的莫霍面形态十分吻合。

③大地热流值较高。据华北盆地与周围山区获得的 60 个大地热流值勾绘的等值线图可知，整个华北盆地为热异常区，最高热流点在渤海西岸歧口为 2.53HFU，异常走向为北东，异常形态同坳陷相似。

④有来自幔源层的熔融形态的玄武岩喷溢和辉绿岩侵入。据分析，本区早第三纪喷发的玄武岩岩浆均来自软流圈，孔店期来自 52km 的熔出深度，沙河街期来自 69km 的熔出深度，东营期则来自 48km 的熔出深度。

⑤裂谷区有“盆—岭”相间的构造样式，就黄骅断陷而言，早第三纪的盆地结构是由上陡下缓的铲式正断层切割形成的地堑、半地堑和半地垒组合的掀斜断块体，它们在空间上则组成盆—岭相间的构造格局，此种结构也见于华北地区的其他坳陷区。

⑥新生代的隆起、断陷与下伏的软流圈和莫霍面起伏呈镜像对应，莫霍面和软流圈上隆区对应于新生代盆地，下陷部位对应于新生代上隆区，此种关系反映了盆地的形成与深部构造之间存在某种因果关系。

2. 裂谷盆地的形成与演化

第三纪裂谷盆地，其形成与发展是以太古代—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—大陆内拱升裂陷为背景，于新生代始新世起逐步形成的早第三纪断陷，晚第三纪—第四纪演化成拗陷的大陆裂谷盆地。

(1) 太古代—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（37 ~ 17 亿年前）。

冀渤拗陷结构与周缘三大山区密切相关，鲁西基底由晚太古代的泰山群组成，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滹沱群组成，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）。

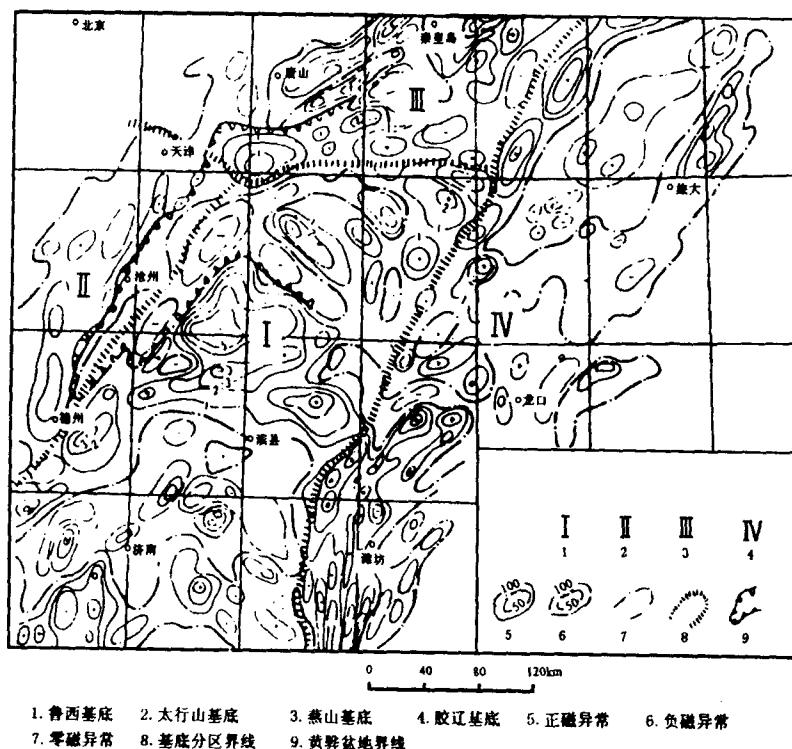


图 1-1 渤海盆地航磁成果图

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 (1800~570Ma)。

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 1700~600Ma, 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, 在海中隆起钻遇, 为富钾花岗岩 (钾氩法测定为 993Ma)。这套沉积岩层, 厚度大 (达万米左右), 韵律层明显, 生物化石发育, 早就享誉中外。

中元古代时在北京平谷—兴隆海槽内, 受近东西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 (570~230Ma)。

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 (Pz1) (600~440Ma) 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 (270~230Ma)。

上古生界是一套总厚度超过千米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 (230~65Ma) 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 (230~195Ma) 区域构造展布受前期构造控制为近东西向。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 (195~65Ma)。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北西向应力挤压, 印支运动导致地幔层差异上隆, 使地台内产生拗折及断折为主的运动。侏罗纪燕山运动使地壳被强烈扭断抬升而拱曲张裂。北东—北北东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, 厚度 1~2km, 以泥岩、砂岩、砾岩及中酸性火山岩、玄武岩为主。

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,漵溜一带的钻孔中,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,它们都受不同程度的风化。

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早第三纪裂谷阶段:裂陷盆地发育期 (50~35Ma)。

此期受裂谷演化旋回性控制,经历了裂陷兴盛,裂陷稳定和萎缩三个发展阶段。

i. 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背景上,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。如黄骅坳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。

ii. 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“一隆两凹”的基础上发展成为“两隆三凹”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北东走向的北大港、南大港、润河等断裂,以及北西走向的扣村—羊二庄、海河—新港、汉沽—西南庄等两组方向的断裂相继发育。

iii. 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 6000 (中区)~5500m 和 12.7% (中区)~24.1% (北区)。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,断坳阶段相当于盆地萎缩发育期)。

②晚第三纪—第四纪后裂谷新构造旋回发育期 (20Ma 至现今)。

i. 晚第三纪中、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。

ii. 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、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下第三纪时期的延续，而是在上第三纪至今的重现。再注意到与地幔上隆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系，出现上第三系地层倾角达 $7^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，大于下第三系的“陡”构造，以及盆地外围海兴县有大山、小山，新埕 1 井等地区第四系地层中有频繁的火山喷发与侵入，1966 年以来华北平原与海城六级以上破坏性地震的不断发生等地质现象和事件，不能不提出盆地地下第三纪晚期回返夷平后，上第三系又开始孕育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”部分较明显地显露出现，还没有向外大规模伸展开来。

总括而言，本地区几亿年以来，经历了长期强烈活动的太一元古代，570 ~ 230Ma 的古生代有长达 300Ma 的稳定期。230 ~ 65Ma 年的中生代为一个长 150Ma 的剧烈活动期。然后进入新生代裂谷发育期，此期实为中生代地台活化运动的继续（表 1-1）。

表 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 4 运动
	下第三系构造层 (E)	陆内拗陷盆地	华北运动
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—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 (ε—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)

3. 裂谷盆地现代地貌特征与第四纪地层划分

(1) 第四纪地貌特征

在渤海湾盆地中段和北段的裂陷过程中，各拗陷的裂陷活动中心具有分别由南北两边统一向张家口—渤海断裂带迁移的特点，并在晚第三纪和第四纪时沿断裂带出现斜列分布的武清凹陷、歧口凹陷和渤中凹陷等三个沉降中心（徐杰，1986），堆积的上第三系和第四系厚度分别为 3600m，3200m，4800m。这些说明，在早第三纪，张家口—渤海断裂带中部活动强烈；晚第三纪以来构造活动的范围明显扩展到断裂带的西北部和东南部。第四纪时期，裂

谷盆地继续向北发展,在第三纪以隆起为主的燕山隆起区南缘广大地区继续下沉并接受沉积,沉积厚度 600~800m。

(2) 区域第四纪地层划分

天津地区第四纪以来以陆相沉积为主,该地层在层位稳定性、化石丰度、种类与演替以及构造发育上均逊于老地层。由于在该区第四纪沉积发展过程中同时伴随着数次规模不等的海侵事件,形成了浅海、滨海、海湾和泻湖相的沉积环境,使天津市第四纪地层存在多期海水进退周期旋回、海相地层与陆相地层交替的特点。第四纪海相地层在岩性、岩相、古生物组合、颜色等方面明显区别于第四纪陆相地层,从而为第四纪地层对比,鉴定断裂活动性提供了优良的标志层。因此在划分该区第四纪地层时,应充分考虑和利用这些标志层,以此为依据,辅助以磁性地层、年代地层、气候地层等,采用微观分析和宏观分析相结合的方法进行综合地层划分。

①天津地区第四系特征。

天津市第四纪地层其成因类型,严格受地貌及沉积环境所控制。包括市区在内的广大地区,为河流冲积、海积、湖积的交互堆积区;滨海地带主要为潮汐与河流频繁交互沉积区,岩性特征和厚度变化严格受基底构造和气候变化的控制。

天津地区第四纪地层特征最大差异是以构造为背景的,据此可将其分成坳陷区与隆起区。二者在岩性、颜色、厚度、生物群和沉积类型等方面明显不同。坳陷与隆起区往往是以大规模基底断裂分割的,各隆起区与坳陷区内部的第四纪地层也常被第四纪断裂切割和扰动,形成明显的构造变位。

i. 全新统 (Q_4)。底板埋深 20m 左右,底界为分选性差的黄色薄层粉砂或混粘砂土。

上段 (Q_4^1):

底板埋深 3~7m,黄绿色亚砂—亚粘土,滨海地区多为海相的灰绿色和河道相,三角洲相等,向西转为古河道相和漫滩相,间有沼泽相和泻湖相等有机质及植物根茎较多,皆已炭化,有田螺、旋螺、纹沼螺。市区顶部多有人工填土,厚约 0.5~2m。市区以东至海岸堆积有 3~4 道与现代海岸平行的贝壳堤,海岸以南多出露地表,高出地面 3~4m, ^{14}C 年代测定为: I 道 4740 ± 105 a B. P. (黄骅前苗庄); II 道 3400 ± 115 a B. P. (巨葛庄), 3730 ± 150 a B. P. (八里台); III 道 2530 ± 120 a B. P. (东泥沽), 2290 ± 120 a B. P. (上沽林), 2020 ± 100 a B. P. (歧口下层); IV 道 1080 ± 90 a B. P. (歧口上层)。海河以北贝壳堤多掩埋在地下,远不及南部发育。

中段 (Q_4^2):

底板埋深 7~15m,为灰绿—浅灰色淤泥质亚砂—亚粘土。主要为海相及泻湖相,多含海相化石。 ^{14}C 年代为 3000~7000a B. P.。

下段 (Q_4^3):

底板埋深 15~20m,平均 20m 左右,以漫滩相的黄灰、褐灰、灰黑色的亚粘土,亚砂土为主,顶部含泥炭层,为海侵前的滨海沼泽相沉积,见咸淡水生物化石。 ^{14}C 测年多在 7~11ka B. P.。

ii. 上更新统,一般可分为三段。

上段 (Q_3^1):

底板埋深 25~50m,以灰黄色亚粘土为主,间有黄棕、灰绿色亚粘土和黑色泥炭。为河

流相,海相,潮汐影响的河流相,汉河—河流相,泻湖相等,夹有区内第二、第三海相层,海相层上下为河流相沉积,钙核发育,局部有钙化层和古壤层。生物以海相组合较多,但也含有陆相的旋螺、沼螺等,反映了海陆交互的沉积环境。

中段 (Q_3^2):

底板埋深 50 ~ 90m,较下段 (Q_3^1) 颜色更趋于灰黄色,土层粘性减小,砂性增强,砂层更薄。主要为汉河相,河流相,潮汐相和湖滨相夹海相。古生物群以海相最为丰富,为本区第四海相层。

下段 (Q_3^1):

底板埋深 90 ~ 150m,为灰黄、土黄、棕黄色亚砂土,亚粘土为主,粘土极少。主要为汉河相、河流—浅水湖相,含旋螺、沼螺、丽蚌等陆相生物化石。

iii. 中更新统 (Q_2)。据孢粉岩性特征可分为上下两段。

上段 (Q_2^2):

底板埋深 150 ~ 220m,土层颜色渐趋灰黄,砂性增强,以亚粘,亚砂为主,粘土少量。钙核和铁核极为发育,为全系之最,锰核较下层显著减少。属湖相为主的类河流相沉积。

下段 (Q_2^1):

底板埋深 220 ~ 320m,以黄棕、棕黄夹棕红、灰绿、灰黄色亚粘土为主,粘土和亚砂土次之。砂层以中砂为主,分选磨圆中等。钙核既大又多,铁核比较富集,较下层增多,锰核也较丰富,但较下层减少。以河口外坝、河口坝、汉河相和浅湖相,泻湖相沉积为主,含淡水生物化石组合为主,有海水侵入的海陆交互相。

iv. 下更新统 (Q_1)。根据岩性特征可分为两段。

上段 (Q_1^2):

底板埋深 320 ~ 400m,红棕色夹棕黄、灰黄、灰绿色亚粘土和粘土,局部夹亚砂中细砂。钙核少、小,铁核少,锰核多,含有厚壁丽蚌。以湖相为主,夹有河流冲击相。

下段 (Q_1^1):

底板埋深 400 ~ 500m,土层基色棕红,下部常见绿棕、猪肝紫、棕褐,向上渐变为棕黄、灰黄和灰绿色互层。岩性以粘土为主,亚粘土次之,亚砂土极少。钙核含量少且小,铁核较少,向上逐渐增多,与下伏第三系是不整合接触,其间有一含泥砂砾层。以河流相和湖相为主 (图 1-2)。

②海相地层的分层特征。

在天津市第四纪发展过程中,由于气候变化和冰期、间冰期的交替,使海平面产生了若干次升降变化,从而使天津沿海地区经历了数次海侵事件,形成了几个特征的海相地层。其中生物组合特征明显,层位稳定,划分意见比较统一的海相层有四层。本课题对天津市区内已有的各类钻孔资料的对比研究,特别是对其古生物组合和岩性特征进行了综合对比研究。研究结果除在深度分布和厚度上有一定差异外,基本上与已有的四层划分方案一致,即四个海相层主要分布在 5 ~ 100m 的深度范围内,时间上大致为中更新世晚期到全新世。

海相地层指以浅海相、滨海相、海湾相及海陆过渡相等在海相沉积环境中沉积的地层,它以其特有的岩性,颜色和古生物组合而明显区别于其他陆相地层。天津市四个海相地层的分层特征见表 1-2。

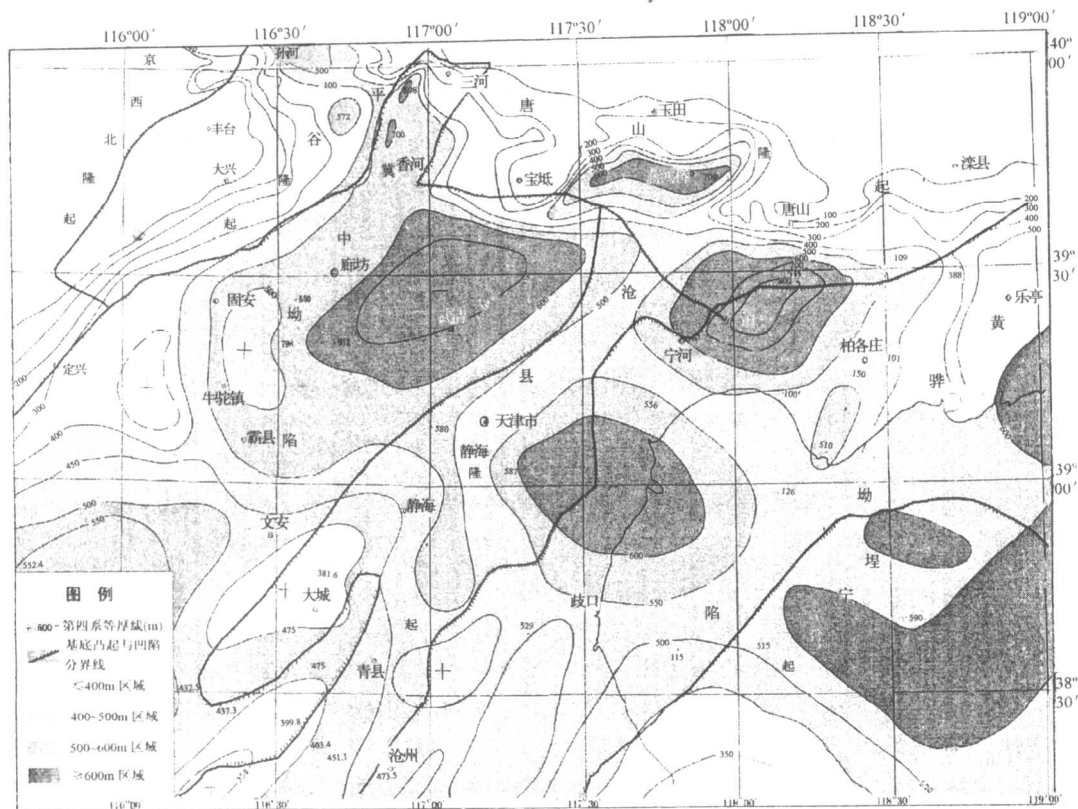


图 1-2 天津及邻区第四系厚度图

表 1-2 天津市海相层分层特征一览表

海相层 编号	沉积相	埋深 m	平均厚度 m	最大厚度 m	岩 性	化 石
I	浅海或 海湾	4~20	16~18	19	灰色、深灰色粘土,亚砂 土夹粉砂薄层,局部为 粉砂层,普遍含淤泥层	有孔虫:卷转虫、诺宁虫、希望虫; 介形虫:新单蜡介、弯贝介; 软体动物:光滑兰蛤、缢蛏、毛蚶等
II	滨海 潮汐	20~35	10~15	20	黄绿、黄灰、灰黄色亚 砂、粉砂层为主,夹粘 土薄层,局部为细粉砂 层,淤泥层较普遍	有孔虫:卷转虫、诺宁虫为主; 介形虫:土星介、玻璃介、弯贝介,新单 蜡介; 软体动物:光滑兰蛤、牡蛎、毛蚶等
III	滨海 潮汐	42~65	13~15	17	黄绿、黄、黄灰,局部灰 色褐色亚砂土亚粘土, 或粉砂细层,见有灰黑 色淤泥层	有孔虫:卷转虫、诺宁虫、希望虫组合; 介形虫:新单蜡介、弯贝介、正星介; 软体动物:毛蚶、光滑兰蛤为主、有四角 蛤蜊、不等蛤、牡蛎、缢蛏等
IV	海陆 过渡带	70~100	30	35	灰、深灰、灰绿、棕灰色 砂粘土不等交互,有时 砂层较厚,局部含淤泥 层	有孔虫:卷转虫、希望虫、诺宁虫; 介形虫:新正星介、土星介; 软体动物:光滑兰蛤、毛蚶、镜蛤、丽蚌

二、区域地壳上地幔结构特征

华北平原新生代断层多为正断层，其重力值和热流值高。在重力不均匀的华北平原下反映上地幔物质上涌，于是在地幔上隆区的边缘伴生水平挤压现象，可能是华北平原地震活动的主要力源，这是华北平原地震活动频发的重要原因。

天津市位于渤海盆地内，根据深地震和电磁测深揭示，渤海盆地为地幔上拱，岩石圈拉伸减薄区（图 1-3）。

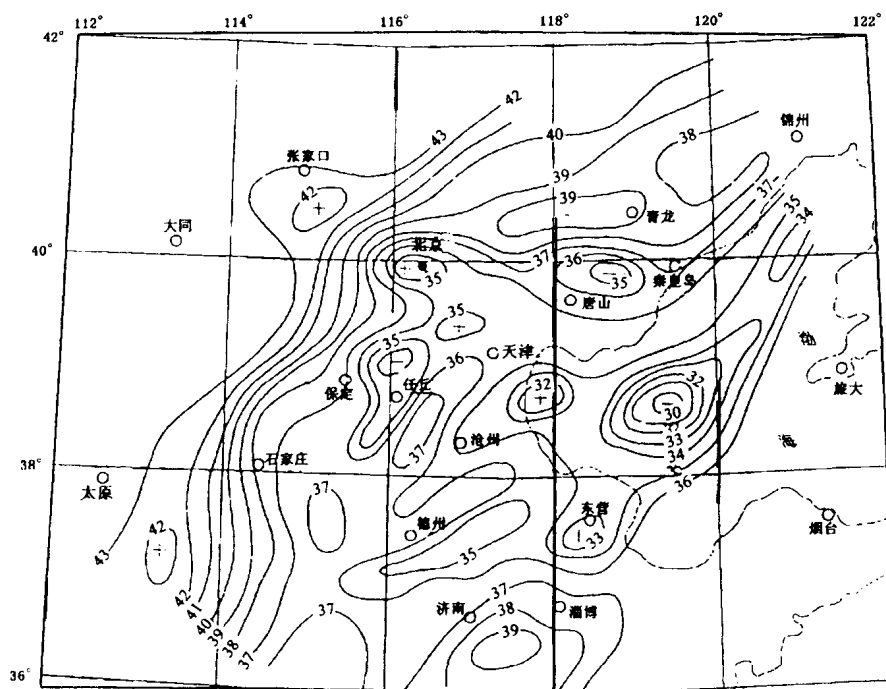


图 1-3 华北平原莫霍面埋藏深度图

1. 华北地壳结构特征

由利用剩余布格重力异常编制的莫霍面等深线图（图 1-3）可见，华北盆地裂谷处于上地幔隆起之上。莫霍面的区域构造与裂谷系总体构造方向一致，呈北北东展布。渤海地区莫霍面最浅，其埋深小于 28km，沧县隆起下莫霍面埋深达 35~36km，冀中拗陷又浅一些，埋深达 32km。往西至太行山区地壳厚度可达 36~40km。

根据速度、密度、电性等方面的研究结果，地壳可分为上（G 界面以上，G 界面埋深为 4~12km）、中（C 界面与 C_1 界面之间的岩层，C 界面埋深为 15~20km， C_1 埋深为 23~28km）、下（为 C_1 面以下至 M 面之间的地壳）三层。

图 1-4 为 G 界面构造图，该界面为一速度界面，追踪最为稳定，但界面起伏强烈，最大幅度可达 8km，总体而言，凹陷区界面深，如武清凹陷和黄骅拗陷埋深分别为 12 和 10km，隆起区埋深浅，如在沧县隆起上埋深约为 6km。存在明显的 NW 和 NE 向构造。

NW 向密云—唐山 G 界面隆起带，最浅处为 3~4km，隆起幅度为 4~5km。该隆起南侧为昌平—怀柔—三河—武清—宁河 G 界面拗陷带，埋深 8~12km，由于 NE 向构造的叠加，

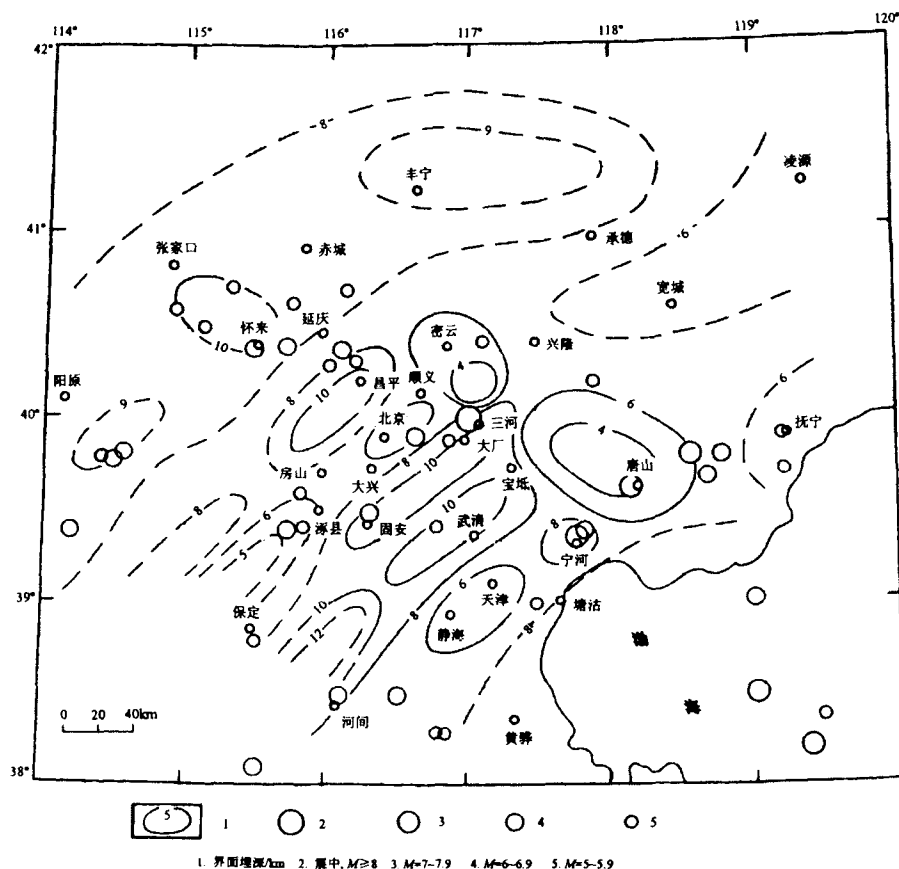


图 1-4 天津及区邻近地区 G 界面构造图

此拗陷带内 G 界面深度也深浅相间变化。

NE 向构造为隆拗相间的条带。自东向西分布着塘沽—黄骅拗陷带（埋深 8km 以上），天津—静海隆起带（埋深 5 ~ 6km），武清—文安凹陷带（埋深 10 ~ 12km），大兴—涞水隆起带（埋深 5 ~ 6km），昌平—云蒙山凹陷带（埋深 8 ~ 12km）以及八达岭之间的地带。NW 向隆凹构造带之间组成了 G 界面的 NW 向界面埋深变化梯级带。最强烈的 NW 向梯级带位于顺义—宝坻—宁河—线，G 界面深度变化达 5 ~ 8km。

图 1-5 为天津及邻近地区 C 界面构造图。从总体上看，沿延庆—宁河一线有一明显的梯度变化带，该带的走向大致与张—渤地震构造带相一致，带两侧埋深相差在 2 ~ 6km 之间。该带两侧存在明显的不同特征。东北侧为唐山和密云相对隆起区，埋深分别为 12km 和 14km，基优势走向为北西向；西南侧则是沿梯度带相间分布的相对隆起和相对凹陷，变化幅度约为 2km 左右，其优势走向为北东向。其他地区有保定相对隆起区等。

磁异常主要是壳内部分的磁性层、磁性体的综合反映。图 1-6 所示的为华北北部地区航磁 ΔT 平面等值线图。

图中显示，航磁异常大致可分为三个区，西部地区磁场是大面积的负异常，中间夹北东向正异常；中部是强度弱、变化平稳宽缓的异常区，东部为正负异常近等轴状相间排列，展布方向以北东为主，北西、近东西向次之。