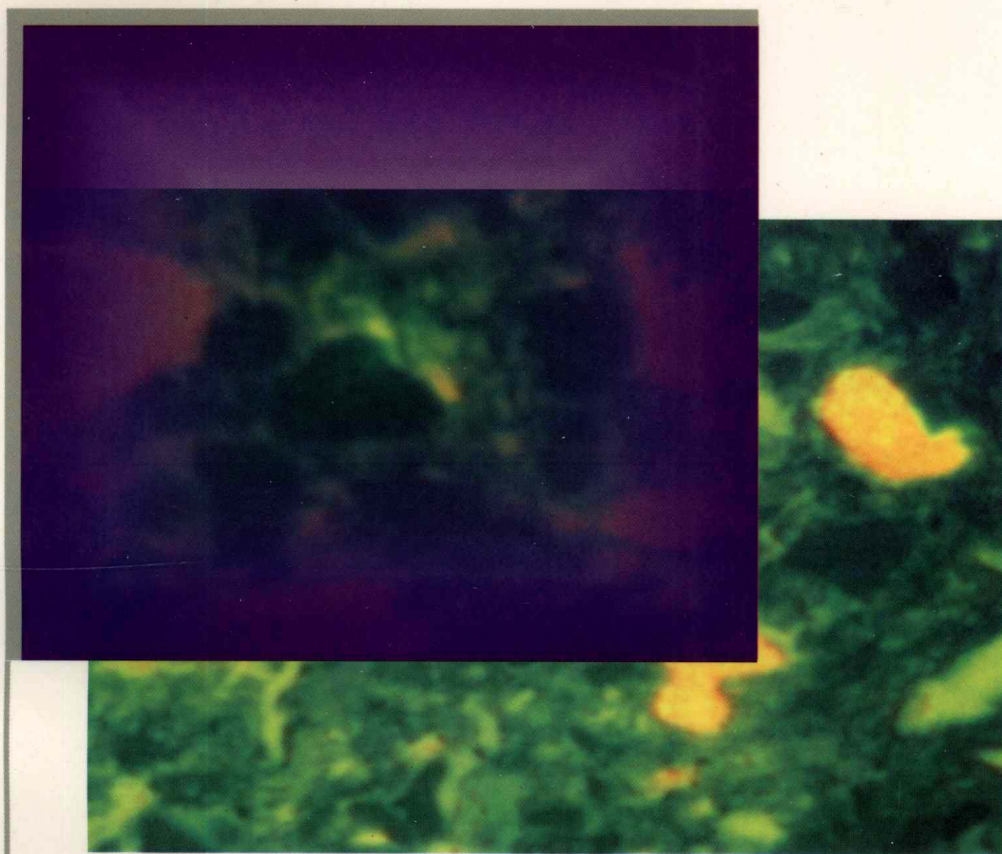




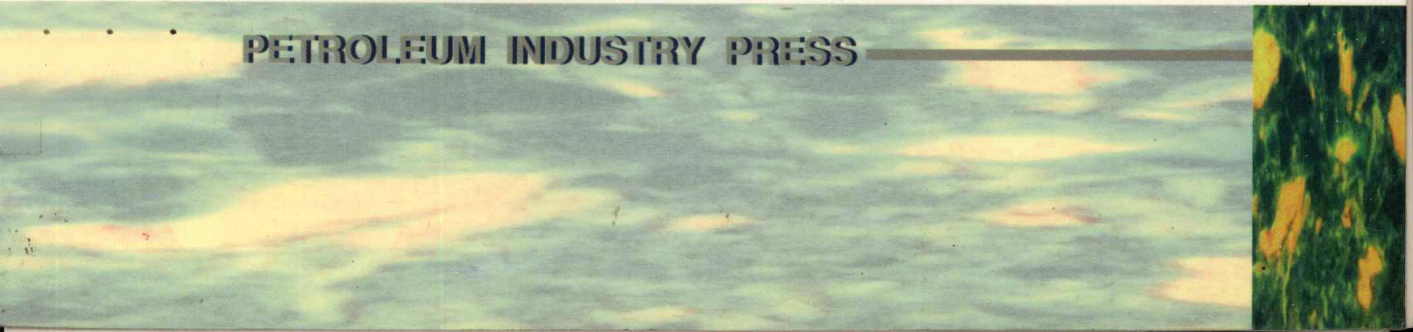
黄骅坳陷天然气地质

于志海 杨池银 廖前进 李学琦 于学敏 刘玉梅 编著



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS



黄骅坳陷天然气地质

于志海 杨池银 廖前进 编著
李学琦 于学敏 刘玉梅

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以大港探区数十年天然气勘探成果和经验为基础,系统论述了大港探区天然气形成的区域地质条件,生、储、运、聚特征,天然气类型及其成藏模式。介绍了推广应用有机岩石学与有机地球化学相结合、生物标记化合物定量分析、盖层封盖能力微观评价、古岩溶研究、古流体势研究、气藏描述及二维盆地模拟等实用新技术的实例和效果。

本书资料丰富,内容翔实。可供从事天然气勘探的技术人员及高等院校相关专业师生借鉴、参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄骅坳陷天然气地质/于志海等编著.
北京:石油工业出版社,1997.12
ISBN 7-5021-2207-9

I. 黄…

II. 于…

III. 坳陷-含油气盆地-石油天然气地质-河北-黄骅

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 25172 号

石油工业出版社出版发行
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京市宇辰贸易公司激光照排部排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 4 插页 320 千字 印 1—1000

1997 年 12 月北京第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2207-9/TE·1850

定价: 28.00 元

前 言

地处渤海之滨的黄骅坳陷，具有非常显赫的地理位置，天津市位于其中心，东侧紧邻北京市，地面交通发达，工业基础雄厚，地下油气资源丰富，因而发展油气工业既有重要的政治经济意义，又是一项十分紧迫的任务。

黄骅坳陷的天然气勘探始终是与石油勘探结合进行的，在天然气的储量和产量构成中，溶解气均占 2/3 左右，说明天然气勘探明显落后于石油勘探。天然气勘探历程表明，自 1973 年发现板桥凝析油气田以后，天然气储量曾有明显增长，此后因少有天然气的重要发现，除通过 1984 年板桥地区地震资料获取会战，在 1986—1988 年有一定增长外，其它年份增长幅度不大。近年来天然气产量已出现下降的趋势，原因是作为天然气主要生产基地的供气区（板桥、周清庄以及除联盟、港西外的北大港油田其它开发区），老气藏的开发大多进入中、后期，减产幅度明显加大。尽管采用了多项有效的新工艺、新技术，但停喷井增多和低产井后期治理难度的加大，使气层气产量仍快速降低，年减产达 $0.68 \times 10^8 \text{m}^3$ ，而新投入开发的气藏规模偏小，新建产能只能完成同期计划的 44%，根本无法弥补老气藏的产量递减，造成了气层气产量的持续下降，只靠伴生气和老油田零星气藏的挖潜才能维持目前的产量。供气区以外的储量，受集输条件的限制，很难在天然气增产上发挥作用。一方面天然气产量下降的趋势未能遏制；另一方面，随着天津沧州工农业的迅速发展，对天然气的需求却急剧增加，使供需矛盾更加尖锐。

“八五”天然气国家攻关课题的建立，为大港油田深化天然气富集因素研究、搞清天然气资源分布、落实天然气勘探目标，提供了良好的机会。科研攻关也极大地促进了黄骅坳陷的天然气勘探，不仅使第三系天然气的滚动勘探开发取得了许多新成果；与此同时，在新领域的勘探方面也取得了重大成果，突破了下古生界原油和上古生界煤成油的工业油流关。特别是后者，其原油类别属气油比较高的易挥发油，表明本区煤成气的工业性突破已为期不远了。

与“六五”和“七五”攻关相比，黄骅坳陷的“八五”天然气攻关在系统性和新技术应用方面有了明显的加强，取得了一些较为重要的成果。

a) 证实板桥地区天然气和凝析油来源于受微生物强烈改造的陆源有机质，从而对陆相油气生成理论作出了有益的补充和修正

“七五”期间，曾认为板桥地区生源母质以陆生草本植物为主，干酪根偏腐殖型（II₂—III₁），壳质组和镜质组丰度很高。但上述结论不能圆满地说明，板桥地区凝析油 C₄~C₈ 轻烃馏分中，含有丰富的细菌生源低分子量链烷烃（尤其是支链烷烃）等重要的地球化学特征。

“八五”攻关中，使用有机岩石学与有机地球化学、同位素地球化学紧密结合的方法，以生物标志物组合和有机显微组分组成特征为基础，探讨了板桥地区成烃母质、生源构成及凝析油气成因。

(1) 板桥地区烃源岩显微组分构成具有明显的陆源有机质特征, 在其沉积初期, 受到细菌的强烈改造, 产生了“腐泥化”现象, 矿物沥青基质可作为“改造”的标志, 从而发展了“陆源母质成烃”的概念。

(2) 对源岩和凝析油的饱和烃、芳烃进行了全馏分化合物鉴定, 总烃中的化合物鉴定率达 90% 以上。在计算各自生源构成百分比的基础上, 提出了总烃馏分主要由高等植物生源、微生物生源及经过微生物 (主要是细菌) 改造的高等植物生源三部分组成。这对判断板桥地区天然气和凝析油的成因类型及有机质沉积时的物理、化学环境起到了重要作用。

(3) 板桥地区源岩有机质演化包含五个阶段。正常的孢子体、藻类体等显微组分的明显变化发生在埋深 2800m 左右 (镜质体反射率约 0.53%、孢子体荧光强度 I_{546} 约 1.0、光谱中最大强度波长 $\lambda_{\max}$ 约 530nm)。这一界限是板桥地区烃源岩的正常成烃门限。从油气生成模式上, 该区有两个明显的油气生成带, 即成熟型原油与凝析油气生成带和未成熟—低成熟原油生成带。值得注意的是板桥油气田目前勘探深度仍未揭穿成熟油气生成带, 故深层气勘探应大有可为。

(4) 吸收和发展了 Smyth, Cook 等评价生烃潜力的方法, 以有机岩石学参数为主, 结合成熟度和暗色泥岩厚度, 对板桥凹陷不同地区、不同层段的烃源岩进行了评价, 认为该凹陷以 Es_3 段泥岩生烃潜力最佳, 其余层段生烃潜力排序是 $Es_1^{\text{中}} > Es_2 > Es_1^{\text{下}} > Es_1^{\text{上}} > Ed$ 。而小站—增福台地区以 $Es_1^{\text{下}}$ 和 Es_2 烃源岩生烃潜力较好。对北塘凹陷源岩和原油的初步对比研究表明, 北塘凹陷 Es_3 源岩的显微组分组成与板桥凹陷 Es_3 泥岩相似, 但北塘的源岩和原油中均检测出反映强还原和微咸水环境的某些生物标志化化合物的存在。

b) 通过黄骅拗陷第三系天然气盖层的系统评价, 明确了盖层类型, 从宏观和微观两个方面对其封盖能力进行了评价, 并依据盖层特征指出了有利的勘探方向

(1) 位于欠压实带的厚层状和不等厚互层状泥岩是最有效的天然气盖层, 而高含束缚水的上第三系泥岩, 靠储、盖层突破压力差和运移动平衡, 可形成低压次生气藏的盖层, 包裹、半包裹状泥岩盖层是次要的盖层类型。按照泥岩盖层的突破压力、吸附等温线等试验特性, 可将本区盖层划分为强高压突破型、高压突破型、常压突破型和低压突破型。

(2) 下第三系泥岩盖层的发育状况, 决定了天然气储量丰度的层位分布。在具备可靠气源条件下, 盖层厚度大则气藏规模大、储量丰度高。异常高压的存在是天然气富集的重要因素, 互层状盖层只有和断层相配合, 才能形成有效的封闭。本区沙一段天然气储量占总储量的 63.8%、东营组占 13.4%, 都与其盖层发育状况密切相关。

(3) 广泛发育异常高压的板桥、歧口凹陷深层是寻找自生自储型气藏的现实领域, 供气断层两侧的砂岩、泥岩互层储盖组合是寻找常压气藏的有利场所, 勘探实践证实, 明化镇组泥岩可作为有效的气藏盖层。

c) 泥岩压实、排液及古流体势研究, 为分析油气运移趋势提供了可靠的依据

(1) 采用厚度回剥法恢复板桥凹陷几个主要地质历史时期的地层压实状况, 归纳综合了六种恢复模型, 据此编制出各个地史时期的压实曲线, 表明板桥凹陷在东营组才出现压力封闭, 由此开始本区地下流体运移构成了两个明显的排液组合, 下排液组合对油、气运

移和保存十分有利,而上排液组合和东营组沉积之前的流体运移都是趋向地表的。

(2) 歧口凹陷 $E_{s1}^{\text{下}}$ 和 $E_{s1}^{\text{中}}$ 大体有两个排液高峰期,第一个高峰期相当于馆陶组沉积时期,第二个排液高峰期相当于 $N_{\text{m}}^{\text{下}}$ 末,排液量已大大降低,但因该层位在多数地区均已进入生油气门限,故排出的流体除孔隙水外,还有一定的烃类。

(3) 针对板桥、歧口凹陷属年轻沉积盆地的特点,建立了相应的渗流微分方程、补充方程和定解条件;利用有限差分法,建立相应的线性方程组;编制、调试完成了 AFP-SIM 流体势计算机模型软件,计算结果表明,该软件适用于本区的流体势研究。

(4) 总体来说,该区水势、油势、气势的高势区,在板桥和歧口凹陷的中心,向四周依次降低,显示了沉积压实排出的流体具有离心流的特点。并依据地下流体势的计算结果,预测了不同层系的油气运移方向和有利聚集区。

d) 对煤成气的形成条件有了新的认识

(1) 大港探区在海西印支期处于区域上的舒缓褶皱区,石炭—二叠系地层沉积厚、发育全,在黄骀坳陷南区厚达 1000~2500m,为煤成气的生成提供了良好的区域地质环境。

(2) 煤系地层发育,气源岩厚度大、有机质丰度高。本区石炭—二叠系煤层厚度为 30~63m,山西、太原组煤层有机碳平均含量为 53.9%,氯仿沥青“A”含量为 3.38%,总烃含量 10311 $\mu\text{g/g}$ 。

(3) 据煤岩显微组分鉴定,煤层中镜质组和壳质组含量高(45%和 25%),并富含藻类体等富氢组分。镜质组是以产气态烃为主的组分,又具热演化早期成烃特征;壳质组是液态烃和气态烃产率很高的组分。随着煤变质程度增加,产烃率明显增大,构成双段式成烃模式。煤层镜质组在热模拟实验中,累计产气率为 225.6 m^3/t ,属中—强生气型烃源岩。

(4) 具备生烃的热演化条件。大多数煤层样品的镜质体反射率为 0.6%~1%, T_{max} 为 432~452 $^{\circ}\text{C}$,相当于烟煤肥煤阶段,变质程度中等,已进入生烃并接近大量生烃阶段。

(5) 在不同地区的探井中见有多处煤成气显示。

e) 结合二次资源评价,落实了第三系分凹陷、分区带、分层系的天然气资源量

f) 科研成果指导生产,“八五”期间天然气勘探取得了可喜的成果

“八五”天然气攻关和本书的编写工作,是在大港油田集团公司的直接领导和关怀下进行的,副总经理石彦民和前总地质师薛士荣同志给予了具体的指导和帮助,科技处、勘探公司有关领导给予了特殊的关照和支持。地质研究院前院长吴涛及现院长李学琦为“八五”攻关课题的第一负责人,委派于志海及杨池银先后负责日常技术管理工作。赵学平副院长及科技科杨永昌科长、花新生等作了大量具体的组织、审查和协调工作,为课题的顺利完成作出了重要贡献。本书编写的分工如下:前言由李学琦、于志海执笔,第 1 章由于志海执笔,第 2~5 章由杨池银、于学敏、于志海以及张吉森、马振芳等执笔,第 6~8 章由廖前进、刘玉梅、杨池银、于志海以及王铁冠、钟宁宁等执笔。于志海、杨池银对全书进行了统编。于俊利、李会来、孙晓明、王建富、胡耀军、韩品龙、李军、王春仲、李淑恩、王兆山、赖豪愧、岳云福、纪鹏、张敏峰、黄吉爽、张卫江、彭红珍、郑建东、戴尽辉等参加了有关的研究工作。

编写过程中,引用了大港油田勘探公司、地质研究院等单位委托有关大专院校或科研

院所完成的下列研究成果：

序号	课 题 名 称	完成单位	完成时间	编写人
1	黄骅坳陷中新世代火山岩特征、成因及其与盆地构造演化的关系	大港石油管理局地质勘探开发研究院 西北大学	1988	高知云
2	黄骅坳陷地质构造发展史及油气分布	大港石油管理局地质勘探开发研究院 西安地质学院	1990	王 战 孟庆任 解建民 王 翔
3	黄骅坳陷石炭二叠系煤系有机岩石学特征及成烃光学评价	大港石油管理局地质勘探开发研究院 中国矿业大学北京研究生部	1992	金奎励 陈中凯
4	板桥地区烃源岩有机显微组分特征、成烃机制与评价	大港石油管理局地质勘探开发研究院 江汉石油学院分析测试中心	1992	王铁冠 钟宁宁 候读杰 吴元燕 陈恭洋 黄光辉 李贤庆 于志海 杨池银 廖前进
5	板桥凹陷、歧口凹陷区域流体势研究	大港石油管理局地质勘探开发研究院 西南石油学院勘探系	1994	杨远聪 张茂林 陈义才 朱 江 李延军 梅海燕 于志海 杨池银 廖前进
6	黄骅坳陷古生界含油气评价及目标选择	长庆石油勘探开发研究院 大港石油勘探开发研究院	1994	张吉森 马振芳 杨 华 陈安宁 黄月明 张文正 傅金华 周树勋 帅世敏 王少飞 于忠平 左智锋 杨池银 于学敏 杨永昌 姜 平 韩品龙

目 录

1 区域地质背景	(1)
1.1 盆地的形成与演化	(1)
1.2 黄骅坳陷的基本构造格局	(7)
1.3 古生界构造特征及演化	(14)
1.4 新生代的岩浆活动	(17)
2 下古生界沉积、储层特征及评价	(22)
2.1 地层层序及特征	(22)
2.2 早古生代岩相分析	(28)
2.3 古岩溶地貌特征	(54)
2.4 储层特征与评价	(60)
3 上古生界沉积、储层特征与评价	(69)
3.1 地层层序及特征	(69)
3.2 上古生界沉积及储层特征	(71)
4 古生界烃源岩的成烃机制与成烃模式	(86)
4.1 含煤地层的有机地球化学特征与生烃评价	(86)
4.2 下古生界奥陶系碳酸盐岩的生烃条件分析	(106)
5 古生界油气藏形成条件	(113)
5.1 下古生界原生气藏形成条件	(113)
5.2 上古生界煤成气藏形成条件	(118)
6 第三系烃源岩、天然气地球化学	(122)
6.1 板桥凹陷烃源岩特征及成烃模式	(122)
6.2 歧口凹陷烃源岩特征及成烃演化模式	(143)
6.3 天然气成因类型及其地球化学特征	(145)
7 富气凹陷的储、盖层特征及区域流体势	(149)
7.1 储层特征及成岩演化	(149)
7.2 天然气盖层特征及评价	(155)
7.3 板桥、歧口凹陷区域流体势研究	(162)
8 第三系天然气藏成藏条件及典型气藏地质特征	(175)
8.1 天然气藏的成藏条件	(175)
8.2 板桥凝析油气田成藏条件及气藏序列	(179)
8.3 白水头沙河街组高成熟气藏的形成条件及成藏模式	(183)
8.4 沙一段、东营组气顶气藏成藏条件及成藏模式	(191)
8.5 北大港上第三系次生气藏形成条件及成藏模式	(199)
参考文献	(203)
图版说明及图版	(206)

1 区域地质背景

黄骅坳陷位于渤海湾盆地的腹地,东西两侧被埕宁隆起和沧县隆起所夹持,北端和燕山褶皱带相连接。凹陷的延展方向在南区是北东向,中区转为北东东向,北区则为近东西向,总面积约 $1.8 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

黄骅坳陷范围内共有八个凹陷(图 1—1)。南区沧东和南皮常庄凹陷构成了渤海湾盆地内为数不多的双断式凹陷之一(图 1—2),以第三系孔店组地层为主体。东邻的盐山凹陷第三纪早期与埕宁隆起联为一体,至沙一段沉积时期才形成独立的凹陷,南段以黑龙村凸起东断层为控凹断层,向东超复;北段以埕宁隆起西界断层为控凹断层,向西减薄。坳陷南端的吴桥凹陷是夹持在沧县、埕宁两大隆起间的小型断陷,以沙河街组为主体,北与南皮凹陷,南与德州凹陷相通。黄骅坳陷中区由板桥和歧口凹陷组成,总体上为北断南超(图 1—3)。歧口凹陷是渤海湾盆地内第二大凹陷,面积 8000km^2 ,中心位于浅海区,下第三系厚 5700m ,底界埋深 9100m 。凹陷南侧由五个台阶组成了宽阔的断阶带。黄骅坳陷北区共有三个凹陷,北塘凹陷及南堡凹陷跨越陆、海区,因地震资料不足,整体面貌尚不十分清楚,可能是受北东、北西和东西向三组断裂影响形成的断陷,最北端的乐亭凹陷(或分为乐亭、昌黎两个凹陷),是北断南超的断陷,下第三系厚度大于 2300m ,但以红层为主,一般将其划归非生油气凹陷。

黄骅坳陷内凸起的面积相对较为局限,老王庄、马头营、孔店、黑龙村四个凸起面积 1300km^2 ,仅为坳陷总面积的 7%。

1.1 盆地的形成与演化

第三纪黄骅坳陷盆地的形成、发展和演化,与其先期基底构造特征密切相关的论点,早已被有关研究者所公认。本文意在强调各地史时期的构造特征,对现今构造格局的控制作用。

1.1.1 结晶基底的构造特征

渤海湾盆地及其周缘的结晶基底形成于 1700Ma 以前,普遍具有程度不同的变质,根据原岩建造和构造演化上的差异,一般认为可分成三个基岩分布区,即北部的燕山区、西部的太行区和东南部的鲁西区。其交接和相互联结的部位处于黄骅坳陷的范围内,根据航磁资料所判断的界限大致呈 Y 字型(图 1—4)。燕山区太古界以迁西群、滦县群(单塔子群)为代表,是一条从大同北部向东一直延伸到渤海的近东西向基岩分布带,构造层次上属双层结构。太行区太古界以阜平群、五台群为代表,下元古界以溇沱群为代表,构造层次上为三层结构。鲁西地区太古界以泰山群为代表,属单层结构。杨华等^①指出,沧县

① 杨华等,渤海西部及周围平原区构造分层物探地质综合研究报告,1992。

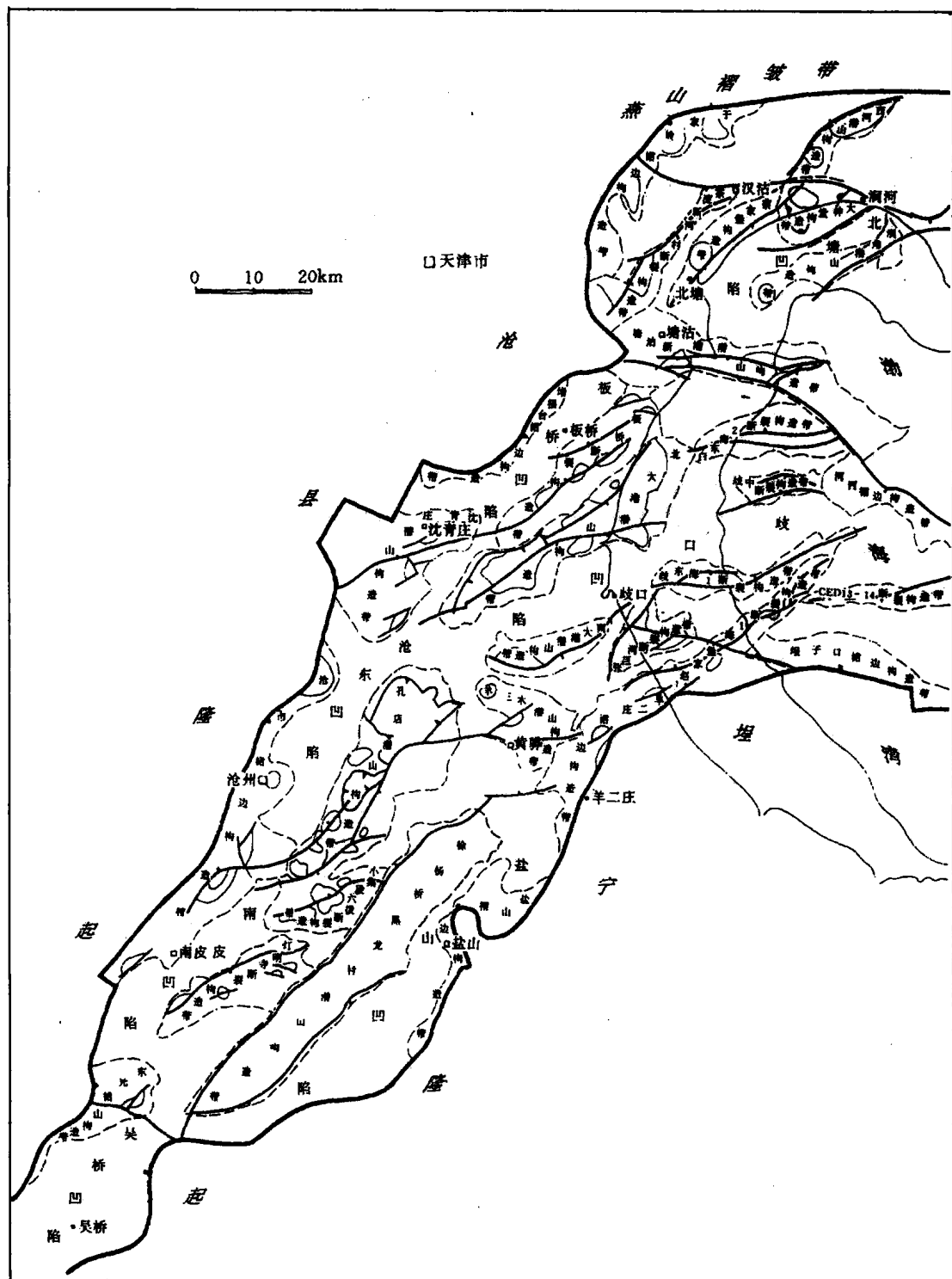


图 1—1 黄骅坳陷构造单元划分图

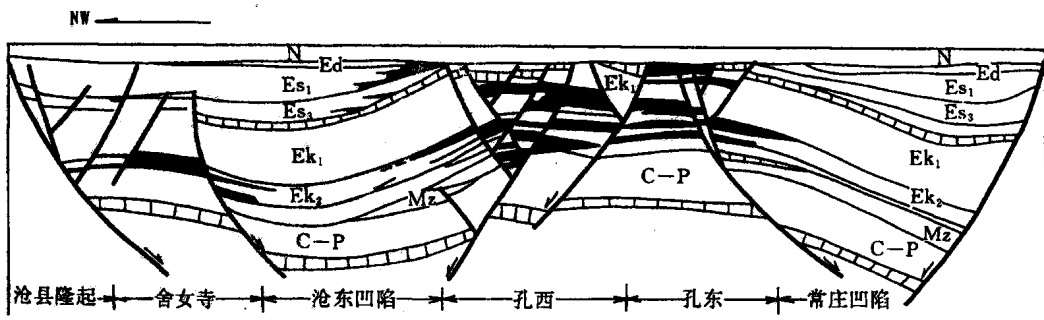


图 1—2 沧东—常庄凹陷地质横剖面图

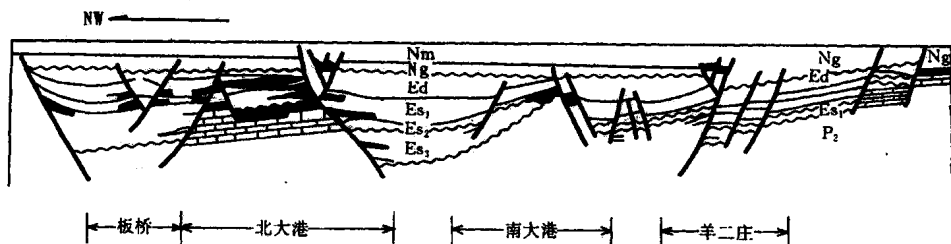


图 1—3 沧县隆起—埕宁隆起地质横剖面图

隆起以西地区北北东向延伸的基岩隆起带和断裂非常发育，坳陷的滨海地区，北北东走向的条带状基岩构造带逐渐转为北东向。渤海北部海域及冀东地区，基岩展布及主要断裂走向逐渐转为北东向甚至近东西向，其中海域的条带状结构更加松散。在埕宁隆起的西部、北部，显示为向北突出的弧形基岩隆升带。再向南至济阳坳陷，也具有凹凸相间分布且向北呈弧形突出的特征，向东到弧岛、埕东、埕北一带，主构造线已转为北西向和北北西向。因此，渤海湾地区结晶基岩的构造格架，总体上表现为西南收敛，向东发散的断块帚状排列。

根据重磁资料所解释的基岩断裂，也表现为北北东—北东—北东东方向逐渐扭转的弧形拉分断裂系，控制着全区基底岩系的展布和延伸，其间又有同期或稍后的近北西向断裂使主要断裂体系发生错断，形成近似菱形的基岩块体镶嵌展布的景象。已发现的多数基底断裂均对新生代构造格局和沉积展布有明显的控制作用。

1.1.2 地台形成及稳定地台发展阶段的构造特征

自五台运动后，地壳活动性增强，由于当时结晶基底的固结程度差，受基底岩相差异和基底断裂的控制，导致在张家口、沈阳、郑州所夹持的三角形地域内形成了一个以蓟县为中心的北北东向沉降带，中上元古界地层厚度近万米，与周围相比差异很大，沉积物以碳酸盐岩和砂泥质为主，也有中基性岩浆喷溢，有人认为属裂谷型或拗拉槽沉积。长城系下部从常州沟组变质砂砾岩和石英岩状砂岩，经串岭沟组页岩（中夹基性偏碱性的次火山岩），到团山子组板状白云岩，其沉积展布明显受边界断裂的控制，大体沿北北东和近东

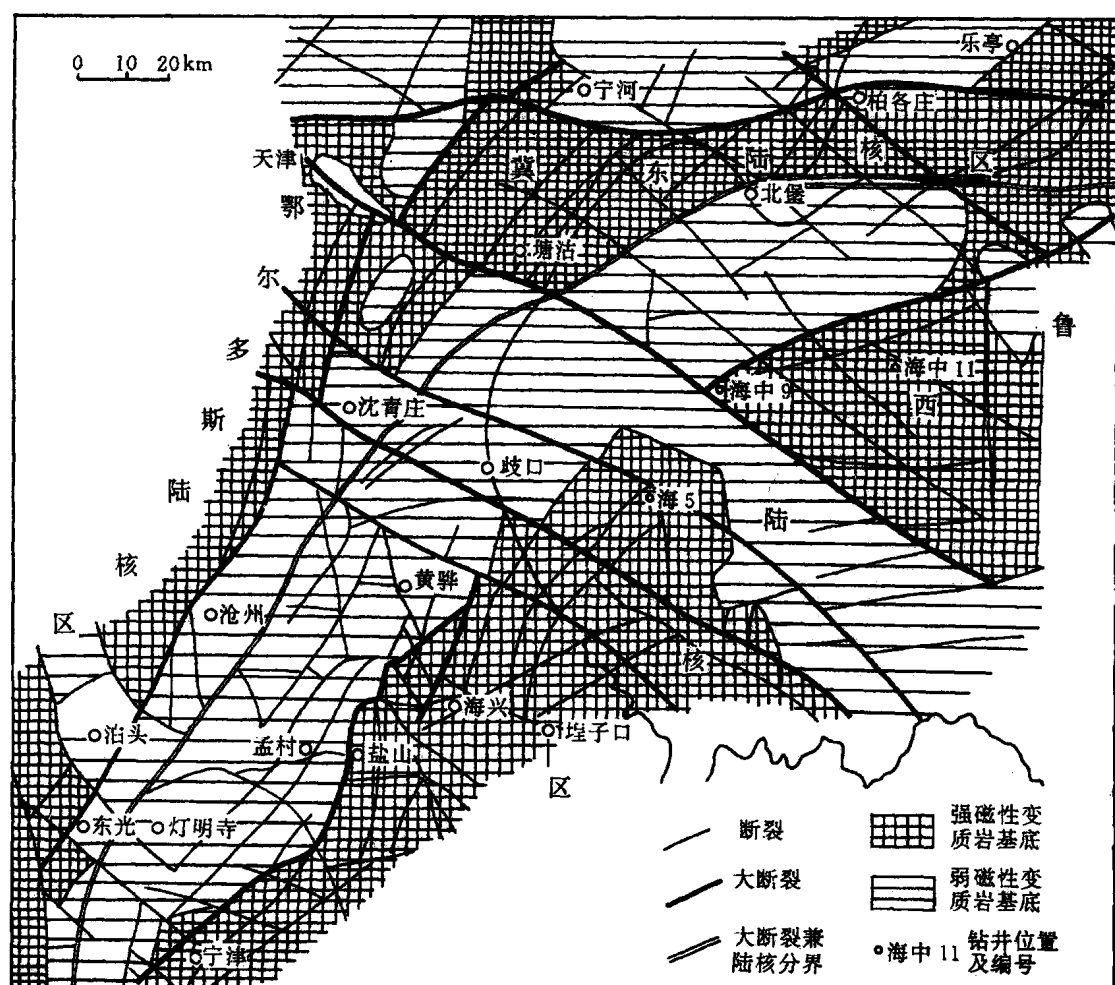


图 1—4 黄骅拗陷及周边变质岩基底及主要断裂分布略图

(据地矿部航空物探遥感技术中心 1986—1990 年有关航磁资料编制)

西两个方面延展，但范围仅限于冀北和冀中地区。长城系上部大红峪组至高于庄组构成另一旋回，即从大红峪组底部石英岩中下部中酸性偏碱性火山岩、上部白云岩，到高于庄组硅质条带白云岩（中夹含锰页岩），其沉积范围已向东扩大至黄骅拗陷，但其海侵的最东边界大体上不超过黄骅拗陷的中央隆起带（孔店—北大港）。在蓟县系的各组地层中，以雾迷山组分布最广泛，此时地势较平坦，构造环境较稳定，潮间潮下带沉积广泛发育，是沉积在十分平缓的北北东向拗陷内的极浅海沉积物。雾迷山以下的杨庄组及以上的洪水庄—铁岭组分布范围均不及雾迷山组，特别是后者，仅限于较狭窄的北东向延伸的拗陷内，向东未到达黄骅拗陷的范围。上述表明，长城纪和蓟县纪时的原始构造形迹虽已无法考据，但从沉积拗陷的整体走向看，该时期的构造框架仍受结晶基底的构造格局所控制。

青白口纪底部下马岭组富含砂质的杂色页岩，沉积范围局限在燕山南缘，其上的长龙山组以海绿石石英砂岩为主，向上以薄板状泥质岩过渡为景儿峪组板状泥灰岩和石灰岩，长龙山组—景儿峪组代表潮间带浅水沉积。青白口系沉积展布的最大特点是北西西向延

伸,说明与前期的构造特征已有明显差别。

青白口系末的蓟县运动使华北地台一度抬升,在渤海湾盆地范围内未见震旦系地层。到早寒武世时,地台整体缓慢下沉,直至中奥陶世海水广泛侵入,形成一套浅海碳酸盐岩为主的沉积建造,具有岩相单一、厚度稳定的区域性特征。中奥陶世末的加里东运动使地台又广遭剥蚀,直至中石炭世重新下沉,沉积了中石炭统至二叠系海陆交互及陆相大型湖盆含煤碎屑沉积。渤海湾地区二叠与三叠系为连续沉积,是干旱气候条件下内陆湖盆形成的红层。

张文佑指出,“从寒武纪至二叠纪末(石千峰统)华北地区地壳差异运动微弱,岩浆活动不明显,可能是由于深部地幔物质处于平静分异状态,并在经过前寒武纪地壳演化过程中已经有了比较硬化的较厚基底”。

实际资料的统计分析也表明,渤海湾及周缘地区古生代时期显示为宽缓的北东东向构造起伏,且有明显的继承性。寒武纪时,北京—青龙为一向斜带,地层厚 600~750m,走向北东东向,向南在冀东—天津—石家庄一带为一背斜带,地层厚仅 450~600m,走向北东东向,再向南的渤中—黄骅—临清为一向斜带,地层厚 600~700m,走向北东东向。奥陶纪时期,上述构造格局基本保持,只是隆坳的中心线向东南发生了迁移,走向偏转为近东西向,北京—青龙向斜奥陶系厚 700~900m,石臼坨—天津—保定背斜厚 600~700m,石家庄—歧口向斜厚 750~850m,沾化德州背斜厚 600~650m。

对晚古生代至早、中三叠世的构造特征,多数认为构造走向仍为近东西向,可从地层分布特征加以说明,依据地层厚度分析,在临清—济阳、泊头—黄骅、青县—南堡及武清—唐山等地,可能在二叠、三叠纪时期仍然保持着向斜凹陷特征,上古生界总厚度 800~1200m,其中济阳坳陷厚 800~1000m,黄骅坳陷南部厚 1200m,南堡厚 1200m,青县厚 1300m,武清厚 1200m,唐山北厚 1700m,而上述凹陷间的背斜隆起区,厚度稍薄,一般为 500~800m。

刘绍龙依据华北地区中、下三叠统残留地层分布,及下伏上古生界煤层一次深变质作用所形成的煤种推断,中、下三叠统原始沉积盆地的走向为近东西向,其沉积中心位于临清—济南一线。

上述古生代一早、中三叠世的构造发育阶段,与王鸿祯所划分的联合古陆形成阶段(晋宁运动—晚印支运动)相一致。他认为,地台通过边缘区,即与地槽之间的过渡带,褶皱隆起形成陆地,与地台拼贴使其不断增生扩大,最后以对接或叠接的方式碰撞在一起,海水全部退出而形成联合大陆。而在联合大陆形成过程中,以南北方向为主的聚散运动时而发生,导致整个构造阶段内均以近东西走向为主的构造特征。

1.1.3 地台解体及裂陷盆地早期发展阶段

中三叠世末的印支运动结束了华北地台统一的构造、沉积格局,使其进入了一个全新的构造发展阶段。印支运动的划时代意义在于,使延续了漫长地史时期的近东西向构造线和古地理轮廓,被扭转改造为北东及北北东向构造线,此外还配套发育了北西及北西西向构造线。正是这两组构造线共同组成了中生代时期本地区的新构造格架。

在渤海湾盆地范围内,由于基底及区域结构的差异,印支运动所形成的构造形态在各地区并不相同。在冀中地区主要显示为北北东向雁行排列的背斜及向斜构造群,包括北京向斜、保定向斜、石家庄向斜;大兴背斜、牛驼镇背斜、雄县背斜;武清向斜、里坦向

斜、文安向斜。在黄骅地区，雁行排列的背向斜群显示为北东走向，由北向南有北塘向斜、白塘口向斜；塘沽背斜、增福台背斜；板桥向斜、中旺向斜；新港背斜、北大港背斜、兴济背斜；歧口向斜、羊北向斜；黄骅背斜、孔店背斜、沧州市背斜；旧城向斜、王官屯向斜、南皮向斜。在济阳地区及渤海西部则发育了北西走向的黄河口向斜、济阳向斜、广饶向斜及莱州湾向斜，它们呈北西向雁行状斜列展布。但与华北地区周缘的一些地区相比，如燕山东段、辽西地区、郯庐断裂带，渤海湾盆地范围内印支运动的强度明显较弱。

燕山运动是中国东部显生宙以来影响最深远的、压倒一切的一次构造作用。对本地区而言，其最大特点是构造岩浆活动非常强烈，是挤压作用达到高潮并转向引张作用的开始，构造形变由以褶皱为主变为以断块翘倾和平移剪切为主；断裂成为构造发展的主要控制因素，并由此开始了裂陷盆地发育的新阶段，地堑或半地堑成为沉积盆地的主要形式；许多断裂深插壳底及岩石圈下，引发大量岩浆和火山活动。尽管燕山运动使中生代构造变动及沉积建造呈现十分复杂的局面，但印支运动所开创的构造格架并未受到根本的改变。燕山期的一系列沉积盆地，就是由印支运动所形成的北东及北北东向向斜群，经追踪串接发展而成的。

燕山运动期间，作为渤海湾盆地东部边界的郯庐断裂发生强裂的左旋剪切滑动，对于本区侏罗—白垩纪沉积盆地的形成和发育有重大的影响。尤以邻近郯庐断裂的渤海和鲁西地区为甚，具体表现为北西向张扭断裂十分发育且活动强烈，受其控制产生了一系列北西走向、雁行状左斜排列的断凸和断凹，其中断凸为南断北倾，断陷则为北断南超。由左旋扭动所产生的基底拉分，使地壳伸长减薄，地幔中基性岩浆上涌喷发。

在渤海—济阳以西的地区，其构造和岩浆活动明显减弱。以黄骅坳陷为例， J_3-K_1 为一套河湖相沉积，中基性火山岩夹层仅分布于部分地区，没有发现断裂对地层厚度有明显的控制作用，在大范围内岩性比较稳定，应属褶皱盆地的性质。早白垩世末，由于太平洋板块俯冲方向的转变，华北地区东部地壳再次被挤缩扭错、加厚抬升，使渤海湾盆地大部缺失晚白垩世沉积。主压应力作用方向的扭动转向，推断使渤海—济阳地区原来的北西向雁行排列的构造群，被扭动为向北弯曲凸出的弧形压扭构造系，其它地区的北东或北北东向断褶构造带隆升幅度加大，剥蚀加剧。

综合上述可以看出，本地区第三纪构造格架的形成，不但与同期构造应力场密切相关，而且在许多方面因袭了太古宙以来的构造特征。如第三纪构造面貌与结晶基底有惊人的相似性，而受两组断裂切割所形成的基岩菱形块体，往往是形成第三纪裂陷翘倾断块体的基础；渤海湾盆地各坳陷普遍存在的“南北分区”的特点，可能与联合大陆形成时期南北向主压应力形成的东西向舒缓褶皱有一定关联；现今渤海湾盆地的构造格局，许多人认为体现了左旋扭动的形迹，而非第三纪右旋扭动的结果；不少在中生代挤压应力场下形成的北东、北北东向断褶盆地，成为新生代拉张断陷盆地发育的雏型，并被大量保存下来。总之，既有继承和因袭，又有改造和改变，是本地区构造发育的重要特色。

1.1.4 第三纪裂谷盆地的拉伸形成模式

王战等（1990年）研究了黄骅坳陷地质构造发展史及油气分布，认为第三纪以来的黄骅坳陷是一个典型的拉张盆地。构造沉降分析证明，其下降也明显地分为裂谷和热沉降两个阶段，并且基底构造主要表现为一系列由铲形断裂所隔的半地堑、半地垒式不对称构造。黄骅坳陷下伏地壳及岩石圈明显减薄，莫霍面的起伏状态正好与盆地凹陷和周缘隆起

呈明显的镜像关系。黄骅拗陷自始新世开始拉张沉积以来，已发展约 50Ma，其中裂谷沉降约为 20~25Ma，热沉降为 25Ma（一般张性盆地的热沉降需 60Ma 左右，因此黄骅拗陷目前仍处于热沉降阶段）。黄骅拗陷下部较薄的岩石圈（最薄只有 50km）以及较高的热流值（平均为 1.95HFU）和较高的今地温梯度（3.6~4.3℃/100m）进一步证明了这种看法。

Wernicke 所提出的拉张盆地形成的简单剪切模式，可以较好地解释黄骅拗陷裂谷沉降与热沉降之比，在不同地区所出现的差异以及拗陷基底的构造断裂情况。他认为，岩石圈的拉伸是通过一个低角度的大型拆离面或滑脱面进行的，这些拆离面可切穿整个岩石圈，或主要发育在岩石圈的脆性和韧性之间的过渡部分。沿此拆离面发生的不均匀拉张，使上盘破裂成各种规模的断块，构成明显不对称的半地堑和半地垒构造，而下盘基本保持不变形。据此，王战等提出了黄骅裂谷盆地形成模式，认为沧东断裂是影响黄骅拗陷构造发育的主控断层，该断裂在岩石圈内呈舒缓的阶梯状，最后穿透整个岩石圈。上部地壳主要表现为不对称的断块翘倾构造。翘倾断块的下降部分（半地堑）构成了黄骅拗陷内的次级凹陷，而抬升部分则形成拗陷内的次级凸起带。早第三纪裂谷期以构造沉降为主，晚第三纪至第四纪热沉降量所占比重逐渐加大，尤其是在远离主控断层处，即向海域方向（图 1—5）。据统计，沿沧东断裂的各凹陷内，裂谷沉降一般占整个构造沉降的 60%~80%，热沉降只有 400~500m，而在拗陷的东部，裂谷沉降比例降低，仅占整个构造沉降的 25%~50%，而热沉降幅度可达 750~1200m。

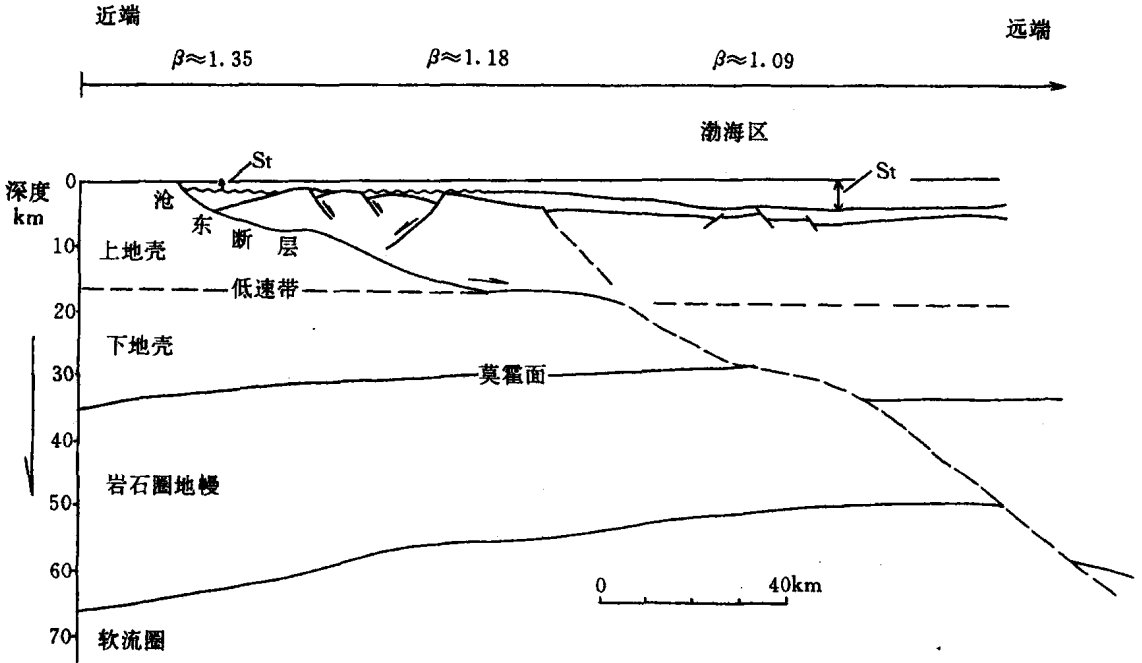


图 1—5 黄骅拗陷拉伸形成模式

1.2 黄骅拗陷的基本构造格局

前已述及，黄骅拗陷内发育了八个凹陷和四个凸起，因此，多隆多凹是黄骅拗陷的总

体构造格架。半地堑是构成凹陷的基本单元，其组合方式有：①对列。两个半地堑相对排列，组成两洼一隆的格局，如孔店南部；②顺列。由两个以上的半地堑顺向排列而成，如歧口凹陷的陆地部分，北大港断层和南大港断层同为控凹断层，其断面倾向均是南东向，从而将歧口凹陷分为歧北和歧南两个次凹；③交联。两个不同方面的控凹断层相互交联，如南堡凹陷由北东向的西南庄断层和北西向的柏各庄断层共同控制，该凹陷的主体构造高尚堡背斜，位于两条断层夹角的平分线上。各凹陷均以“西（或西北）断东（或东南）超”为主。在发育上具有明显的不均衡性，包括：①早凹型。凹陷内的地层填充以沙四孔店组为主，其厚度常大于下第三系总厚的一半以上，典型如南皮凹陷，其孔店组地层厚2000m以上，而沙三段以上至东营组地层仅厚1000m左右，在孔店构造带高部位有的不足300m；②中后期持续发育型。早期（孔店组）一般处于隆起状态，自沙河街组强烈下沉，直到东营组或上第三系仍持续发育，如歧口凹陷；③晚凹型。如盐山凹陷，位于隆起与凹陷之间的斜坡带上，早期属隆起的一部分，至沙一段才发展成独立的凹陷，整个下第三系最大厚度为1400m。

下文重点讨论断裂及局部构造的发育特点。

1.2.1 正断层是构造形变的主要体现

断裂特征及分类受“裂谷盆地”的基本属性所决定，断裂活动贯穿盆地发育的全过程，深大断裂的发生、发展和活动特点，决定了盆地内各凹陷的产生、发展、消亡，乃至沉陷深度及内部沉积、构造的基本格局。本文着重阐述与油气生成、运移、聚集直接有关的某些具体特征。黄骅凹陷内主要二级断层的统计分析表明，北东向张扭性正断层是盆地内的主体构造，明显地控制着次级凹陷和凸起带的形成、发展和分布。北西向张扭或压扭性走滑断层虽然数量不多，但在拗陷发展中也有重要的作用，它们常常成为一种分隔或调节带，分列其南、北的地区在构造和沉积作用上均有一定的差异性。东西向张扭性断层仅在部分地区有一定数量的分布，其作用类似于北东向断层。

a) 张性正断层

根据其几何形态和运动方式可分为以下几种类型（图1—6）。

（1）铲形正断层：可进一步分为两种，一种仅是断层之上的断块发生旋转而断层面不动；另一种是断层面与上覆断块同时发生旋转。对于第一种断层，虽然断层面固定不动，但由于其倾角向深处不断减小，当下降盘块体沿此曲面向下滑动时，必然造成其旋转滚动而形成逆牵引背斜。当断层面与下降盘块体同时旋转时，则往往发展为铲形断层组或断阶带。

铲形断层在规模上有很大的跨度，既可以是基底断层，也可以是仅存在于盖层内的任何一级断层。如控制整个黄骅拗陷构造发展的沧东断层就是一条典型的铲形断层，在剖面上它可表现为简单的铲形断层，也可能是一系列断层所组成的铲形扇。沧东断层是由地壳流变性控制的铲形断层，即随着地壳深度的增加，壳内物质由脆性逐渐过渡到韧性，从而使断层面的倾角也随着深度增加而变缓。而发育在新生代地层内部的铲形断层基本上是同沉积型的，它们沿第三系基底或第三系内部的某些软弱层发生拆离，此类断层的形成主要与重力作用有关，而并非直接受下部岩石圈拉伸的控制。

（2）平面状断层：可进一步分为断层面与下降盘块体同时旋转的，断层面与下降盘块

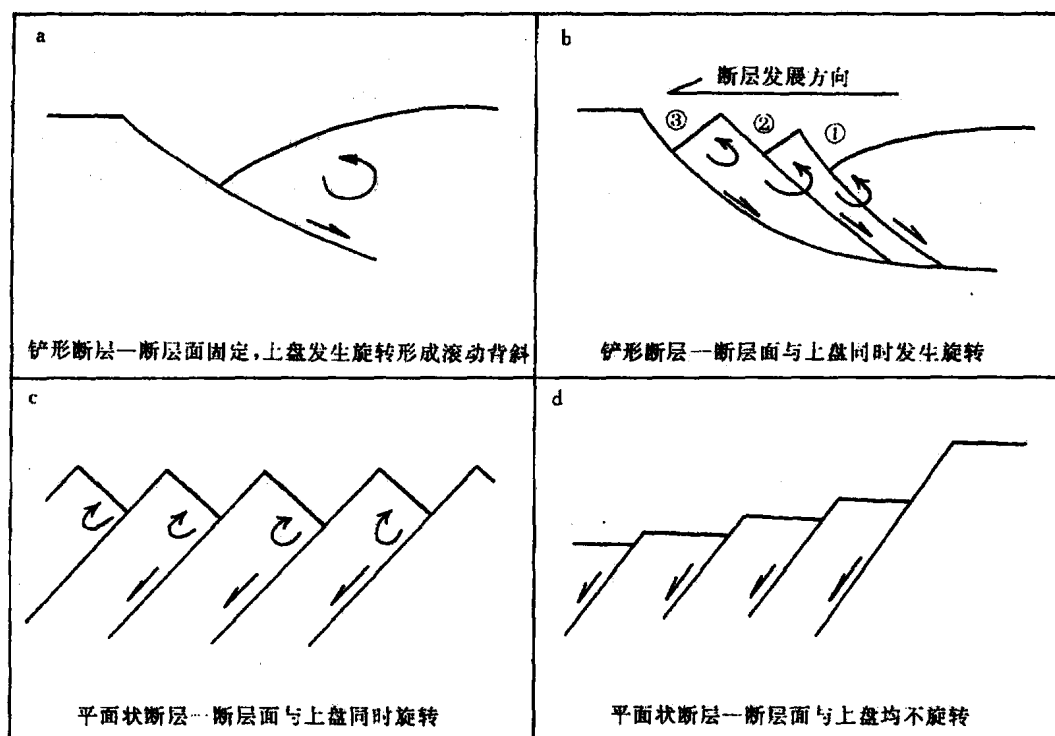


图 1—6 张性正断层的类型

体均不旋转的两类。对第一种断层来说,旋转的结果使下降盘地层产状逐渐向断面倾斜,这与铲形断层的效果是类似的,最大的区别在于位于旋转平面断层之间的断块,其内部一般不发生变形。不旋转的平面正断层只使上、下盘发生相对的位移。

与铲形断层相比,平面状断层一般多发育在第三系地层内部,且在因旋转而产生的地层倾斜角度相近时,平面状断层旋转所产生的水平位移要大得多。许多平面状断层因旋转拉伸或差异压实等因素,后期被演变为铲形断层。

值得特别指出的是,反向正断层在渤海湾盆地第三系油气藏形成中占有重要的地位。反向正断层主要起因于断块差异运动,即断块体在凹陷拉张、裂陷过程中发生翘倾,而块体翘起的一端往往发育反向断层。各种碳酸盐岩及其它结晶基岩块体中,翘倾断块为数甚多,因而在凹陷的缓坡带上,常常出现基岩内为反向断层,形成翘倾地垒或掀斜断块,而第三系沉积则发育顺向盆倾断层,组成俗称的“坡上山”。另一类反向断层发育在第三系内部,是断层两侧的块体在断层生长过程中发生旋转而形成的。尤其是铲形断层,其上升盘一般均为反向断层,而下降盘因纵向调节作用,也可发育反向断层。

b) 走向滑移断层

走向滑移断层主要指与区域拉伸方向平行或小角度相交的断层(换言之是与凹陷走向基本垂直的断层),其两侧块体有明显的错位,但断层本身的垂直或水平断距都不突出。国外文献称其为“转移断层”(Transfer Fault),它在盆地发展过程中起重要的调节作用。

一些走向滑移断层具有延伸长、规模大的特点,如冀中拗陷的坝县断裂带、信安北断裂带至黄骅拗陷的海河断裂带,它们在T_g构造图上近于首尾相连,是北京凹陷与徐水凹