

渤海海域油气地质与勘探进展丛书（卷一）

# 渤海海域构造形成演化 与变形机制

夏庆龙 田立新 周心怀 等著  
王应斌 余一欣 吕丁友



石油工业出版社

渤海海域油气地质与勘探进展丛书（卷一）

# 渤海海域构造形成 演化与变形机制

夏庆龙 田立新 周心怀 等著  
王应斌 余一欣 吕丁友



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书在简要介绍渤海海域的板块构造背景、深部地质结构、盆地类型、构造—地层层序等区域地质背景的基础上,详细论述了渤海海域自新生代以来的构造形成演化特征及其变形机制。较深入地探讨了渤海海域新生代盆地的构造单元划分、盆地结构差异性、构造演化及成盆机制;研究了不同类型断裂的平面展布和剖面变形特征,及其差异活动性和形成机制;论述了离散转换断层和局部构造转换带的发育特征,并针对构造转换带对油气聚集成藏的影响进行了初步分析;分析了不同类型构造样式和圈闭的发育特征与成因机理。

本书可供从事地质研究和油气勘探的科技人员和石油高等院校相关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

渤海海域构造形成演化与变形机制/夏庆龙等著.

北京:石油工业出版社,2012.12

(渤海海域油气地质与勘探进展丛书;1)

ISBN 978-7-5021-9383-6

I. 渤…

II. 夏…

III. 渤海-海域-油气藏-构造变形-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 285943 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

---

2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:282千字 印数:1—1000册

---

定价:98.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 序

“渤海海域”本为一地理概念，海域面积约 7.3 万平方千米，为避免与渤海湾盆地混淆，本丛书将渤海湾盆地现今海域部分，冠以“渤海海域”的名称，作为所含地质单元的总称。

渤海海域是整个渤海湾盆地自古近纪以来由周边山前和隆起区逐步剥蚀夷平、伸展裂陷、沉降充填、由水域覆盖变成陆地的变化过程中目前仅存的水域部分。从地质构造单元上分析，渤海海域是渤海湾盆地的组成部分，由北部的下辽河拗陷（辽河油田）向海域延伸的辽西凹陷、辽中凹陷、辽东凹陷、辽西凸起、辽东凸起等单元；西南部的黄骅拗陷（大港油田）向海域延伸的歧口凹陷、北塘凹陷、南堡凹陷等单元；南部的济阳拗陷（胜利油田）向海域延伸的青东凹陷、莱州湾凹陷、黄河口凹陷、莱北隆起等单元和渤中拗陷组成。这些构造单元是随着渤海湾盆地发育、发展起来的，与渤海湾盆地基本上具有同样的发育、发展、充填历史，但是郯庐断裂带的贯穿和长期影响又使其具有自身的特殊性。

从 20 世纪 60 年代起，渤海海域油气勘探走过了 40 多年漫长而曲折的探索之路。20 世纪 60 年代至 90 年代的 30 年间，经历了自营探索和对外合作的两大阶段，由于资金投入有限，勘探工作量少，对渤海海域油气地质条件认识肤浅，加上早期海洋勘探技术水平低，因此，渤海海域的油气勘探没有太大进展。至 90 年代，经过长期探索总结，通过对海、陆油气地质条件和成藏规律的对比分析，终于发现了海域油气成藏条件与周围陆地的差异及其自身的特殊性，开辟了海域油气发现的新领域。在短短几年内，陆续发现了新近系的一系列大油田，使海域石油地质储量迅猛增长，自 1995 年以后 10 年发现的油气地质储量是这之前 30 多年的 5 倍多。截至 2010 年，渤海海域已发现各级石油地质储量 47.4 亿立方米，其中探明储量 26.5 亿立方米，天然气地质储量 2967 亿立方米，其中探明储量 1845 亿立方米；年产油气 3005 万吨，油气产量名列渤海湾盆地各油区之首，也为中国海洋石油总公司建设“海上大庆”立下了汗马功劳。

2006—2009 年，在前石油工业部王涛部长的主持下，中海石油（中国）有限公司天津分公司与中国石油大学（北京）组织联合研究队伍，围绕“渤海湾地区油气形成富集与分布预测”，对渤海海域构造演化、沉积充填、油气形成与富集规律进行了全面系统的研究。研究成果不仅提升了对渤海海域形成演化、油气分布规律整体认识的水平，同时坚定了渤海海域油气勘探进一步上台阶的信心。将这些研究成果整理、集结出版，不仅可以丰富我国陆相盆地石油地质理论，同时对促进渤海海域及邻区的油气勘探具有借鉴意义。

# 前 言

渤海海域是渤海湾盆地的重要组成部分，蕴藏着丰富的油气资源，是我国东部油气勘探的主战场之一。渤海海域新生代盆地的构造形成演化和变形机制与渤海湾盆地陆上部分既具有共同性，也有差异性和复杂性。本书在简要介绍目前有关渤海湾盆地区域地质特征研究的基础上，对渤海海域的构造单元划分、断裂变形、构造转换带、构造样式和圈闭发育特征等进行了详细论述。

通过确定渤海海域构造单元和二级构造带的划分与命名原则，将整个渤海海域划分出5个一级构造单元、35个二级构造单元及82个二级构造带。渤海海域不同地区的新生代盆地结构存在明显差异，其形成和演化主要受岩石圈底部热地幔底辟活动和东亚大陆与西太平洋板块相对运动两种岩石圈动力学过程控制。前者导致渤海海域地区的地壳沿垂直于地幔隆起轴线方向发生伸展变形。后者导致渤海海域遭受NEE—SWW方向的挤压作用，并引起NNE—NE向郯庐深断裂带发生右旋走滑位移，NWW向张家口—蓬莱断裂带发生左旋走滑位移。

渤海海域主要发育伸展断裂和走滑断裂，局部地区还发育反转断裂。断裂在剖面上主要表现为铲式、坡坪式、耙式、正花状、负花状、Y型和X型等。浅层断裂明显较深层发育，大多密集分布在基底断裂带附近。断裂的优势走向包括NE向、NW向和EW向。断裂活动期次可分为伸展I期、反转I期、伸展II期、反转II期、弱活动期和走滑期6个阶段。

渤海海域主要发育离散转换断层和局部构造转换带两种类型的构造转换带。离散转换断层由NW走向的张家口—蓬莱断裂带、秦皇岛—旅顺断裂带和NE走向的郯庐断裂带构成。局部构造转换带则主要发育在分段正断层的叠置区内，根据断层倾向及其组合特征，又可进一步分为转换斜坡、斜向背斜和地垒3种类型。局部构造转换带的发育主要经历了孤立正断层、转换带形成、转换带复杂化和转换带破裂4个阶段。构造转换带的发育对沉积、圈闭、油气运移、储层等都产生了重要影响，是有利的油气勘探部位。

渤海海域发育的构造样式以拉张构造样式和走滑构造样式为主，并具有分期、分层、分带的发育特点。圈闭类型既有构造型圈闭，也有地层型圈闭，主要包括潜山、背斜、断背斜、断鼻、断块、地层超覆等，在平面上主要沿主干断裂带分布。不同类型圈闭的发育主要受断面形态、变换构造和走滑作用控制。

本书主要由夏庆龙、田立新、周心怀、王应斌、余一欣和吕丁友执笔完成，汤良杰、刘春成、漆家福、周东红、杨明慧、徐长贵、陈书平、牛成民、魏刚、彭文绪、韦阿娟和王根照等参加了研究工作，万桂梅、孙永河、陈绪云、陈凯、郑晓凤、李春霞、孙萌思、刘乐、朱勇、屈冬萌和柳屿博等参加了部分基础研究工作及图件清绘、书稿校对等工作。

由于笔者水平有限，书中难免存在一些错误或不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 渤海海域区域地质特征</b> .....	(1)
第一节 区域构造背景 .....	(1)
第二节 盆地类型及形成机制 .....	(5)
第三节 地球物理场特征及深部地质结构 .....	(8)
第四节 构造—地层层序 .....	(13)
<b>第二章 新生代盆地结构及动力学特征</b> .....	(18)
第一节 构造单元划分 .....	(18)
第二节 二级构造带划分 .....	(25)
第三节 新生代盆地结构特征 .....	(28)
第四节 新生代盆地演化特征 .....	(48)
第五节 新生代盆地构造动力学机制 .....	(58)
<b>第三章 渤海海域断裂变形特征与形成演化</b> .....	(64)
第一节 断裂剖面变形特征 .....	(64)
第二节 断裂平面展布特征 .....	(73)
第三节 断裂差异活动性 .....	(79)
第四节 断裂形成机制及演化 .....	(89)
<b>第四章 构造转换带发育特征</b> .....	(101)
第一节 构造转换带研究概况 .....	(101)
第二节 离散转换断层 .....	(104)
第三节 局部构造转换带 .....	(110)
第四节 构造转换带与油气聚集关系 .....	(116)
<b>第五章 构造样式与圈闭发育特征</b> .....	(123)
第一节 构造样式发育特征 .....	(123)
第二节 构造样式分布特征 .....	(135)
第三节 构造样式形成机理 .....	(137)
第四节 圈闭类型及其分布 .....	(141)
第五节 圈闭构造演化序列及主控因素 .....	(164)
<b>参考文献</b> .....	(168)

# 第一章 渤海海域区域地质特征

现今的渤海是一个位于我国华北地区东北部的半封闭的陆表海，总面积约  $7.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，有效勘探面积为  $5.57 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，大部分区域都属于中国海洋石油总公司的探区。本章简要讨论渤海及周边区域地质背景，为进一步分析渤海新生代盆地结构和构造变形特征奠定基础。

## 第一节 区域构造背景

在大地构造位置上，渤海位于华北新生代裂陷盆地内，东邻胶辽隆区，西为黄骅坳陷的延伸，北与下辽河坳陷相连，南与济阳坳陷相接，是渤海湾盆地的重要组成部分（图 1-1）。

### 一、周边新生代隆起区

渤海湾盆地是在中生代印支运动、燕山运动区域构造变形基础上发育的新生代沉积盆地，其周边山区为新生代隆起区，包括西北侧的燕山褶皱带、西侧的太行山隆起、东侧的胶辽隆起（辽东隆起和胶东隆起）和西南侧的鲁西隆起（图 1-1）。

#### 1. 燕山褶皱带

燕山褶皱带是一个位于华北克拉通内部的陆内造山带。燕山褶皱带从冀西北，经冀北、北京至辽西，总体为 EW—NEE—NE 向的弧形，略向 SSE 突出，长约 700km。郯庐断裂带营滩段似乎限制了燕山褶皱带由西向东延伸，并成为褶皱走向转向的约束边界。这是因为郯庐断裂带营滩段是不同结晶基底拼接边界的缘故。燕山褶皱带的基底为太古宙及古元古代变质岩系，形成于 1850Ma 之前，其后经历了地台盖层发育阶段（1850—240Ma）。三叠纪的印支运动和侏罗纪—白垩纪的燕山运动使已经固结的岩石圈重新活化发生构造热活动，形成了燕山褶皱带。印支运动是中国东部由分离的大陆地块开始形成统一的大陆板块的一次重要的地壳运动，它使本区地壳运动性质和构造格局发生了根本的变化。印支运动在各地表现的明显程度、产生的变形样式和方向多有差异。在构造运动较强烈的地区，其性质是一次褶皱运动，并伴有逆冲作用，但并不总是如此。构造线有一定方向性，但不是单一的。要认识其分布和多样性表现需要结合周缘块体活动和地质动力条件来分析。燕山地区地处华北克拉通的北部边缘，克拉通北侧的内蒙—吉林海槽在二叠纪—三叠纪时期由西向东呈剪刀式聚敛闭合。这与华北克拉通南缘的秦岭—大别海槽在三叠纪时期自东向西渐次关闭遥相呼应。印支运动产生的南北向挤压使华北克拉通总体上形成近 EW 向宽缓

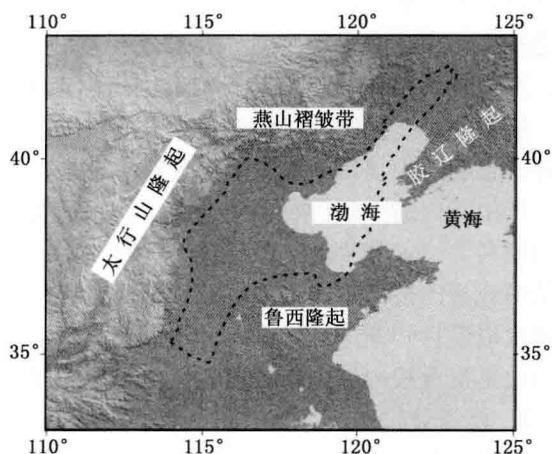


图 1-1 渤海湾盆地区域构造背景

褶皱变形,同时由于华北克拉通南北边缘海槽封闭方向的差异使华北克拉通东部边缘遭受左旋剪切作用。这或许是导致郯庐断裂带营滩段及其两侧区域构造变形差异的原因。

燕山褶皱带主要是受华北克拉通北部边缘板块作用的影响而导致的克拉通活动的结果。内蒙中部的古生代海槽于早二叠世末封闭,内蒙东部于晚二叠世末至三叠纪初封闭,而松辽盆地南缘至吉林则发生在三叠纪期间,再向东则发生在印支期末至燕山期。华北克拉通北缘长期的南北向挤压碰撞是西伯利亚板块和中朝板块相对聚敛运动的结果(陈发景,1996),导致在华北克拉通北缘形成了一系列近东西向的大型褶皱和逆冲断层,反映出较强的由北向南的挤压应力场。北部褶皱窄、排列紧密、产状较陡;南部褶皱宽、产状缓。燕山运动主要表现为燕山地区强烈的岩浆活动及诱导的褶皱变形作用。侏罗纪—白垩纪燕山地区有多期岩浆喷发和侵入活动。早侏罗世南大岭辉绿岩(玄武岩)喷发是华北中生代最早的幔源物质喷发。晚侏罗世至早白垩世有3期幔壳混源物质喷发,以钙碱系列和高钾钙碱系列为主。燕山已多处发现晚印支期(229—209Ma)岩浆侵入体,其中包括酸性、中性、基性、超基性等各种侵入体。燕山早、中、晚期都有同造山期的侵入活动,只是晚白垩世岩体分布不广,规模较小,以花岗岩为主,也有花岗闪长岩、闪长岩及正长岩。地形强烈分异成盆岭,形成陆内火山—沉积盆地。燕山期构造活动以挤压和拉张多次交替为特征,伴随挤压造山形成多套磨拉石或类磨拉石沉积。多期、多因素的构造变形作用产生了较强烈和复杂的构造图案。古老基底断裂在中生代复活,并对盖层构造型式有控制作用。中生代早期以东西向构造为主,至中晚期叠加了北北东向构造。燕山造山带散布着许多中生代薄皮或厚皮逆冲推覆构造。岩浆底辟、强制性侵位使围岩形成穹隆、环形褶皱和环形片理,使盖层构造复杂化。垂向隆升也使燕山地区基底表面十分崎岖不平,造成许多变质核杂岩构造出露于地表。

燕山陆内造山带历经多期造山,经历了始造山期(印支期)、主造山期(燕山期)和重造山期(喜马拉雅期)(崔盛芹,1999)。地球内部物质的垂向调整,幔源物质和热流的上升是形成板内造山带的主因。燕山造山带于中生代的多次伸缩交替的地壳变动,以及岩浆岩的多次周期性和渐进性的侵入和喷发就反映了这种幔源热流的到达和发散。此外,地球的水平力也是形成板内造山带表层构造的不可忽视的力量(宋鸿林,1999)。

## 2. 鲁西隆起

鲁西隆起出露的地层主要是前中生代地层,是一个中、新生代时期的断块隆起。鲁西隆起与渤海湾盆地一般以弧形的聊城—广饶断裂为界,该断裂以南也可以看到侏罗系、白垩系零星出露,济阳拗陷南坡的新生代地层也主要是以尖灭形式超覆在聊城—广饶断裂附近。宏观上,鲁西隆起与渤海湾盆地在南北向似乎更像是一种渐变的过渡边界,但是在鲁西隆起东西两侧边缘却分别是以NNE向的郯庐断裂带和兰聊断裂带与相邻区域构造单元分隔开来。鲁西隆起的构造线方向以围绕泰山的弧形展布为特征,东部以NE—NNE向为主,北部和西部以NW向为主。主要发育断裂构造和由地台盖层构成的挤压褶皱。

## 3. 胶辽隆起

胶辽隆起是一个中、新生代时期的断块隆起,大面积出露地台结晶基底。在辽东半岛可以看到部分地区出露地台盖层和零星分布的侏罗系—白垩系。构造线方向以NE向为主,向东延伸则受到郯庐断裂带营滩段的限制。

区域地层分布、构造变形型式、构造线方向展布特征等都表明,郯庐断裂带营滩段是一条重要的区域构造边界线,但是这并不意味着这条断裂在区域构造演化中一直在活动。因为现在看到的区域构造特征是多旋回构造演化的叠加结果。郯庐断裂带营滩段两侧的结晶基底

性质不同，区域构造演化、特别是中生代构造演化有明显差异。由此推测郯庐断裂带营淮段可能是不同性质的地台结晶基底的拼贴带，并在后期，特别是中、新生代成为控制区域构造演化的重要地质边界。

## 二、板块构造背景

罗志立（1975）较早论证了板块构造与油藏的关系，并用板块构造理论探讨了中国含油气盆地形成和分类。张恺（1996）认为在完整的全球性板块构造旋回发展的各个阶段，可形成6种不同类型的含油气区，这6种含油气区包括6种类型的沉降带和6种类型的含油气盆地，它们分别是：①大陆内部和陆缘裂谷扩张沉降带及裂谷型含油气盆地；②陆间裂谷扩张沉降带及陆间裂谷型含油气盆地；③窄大洋型扩张沉降带及北冰洋深海含油气盆地；④被动型大陆边缘扩张沉降带及被动型大陆边缘楔形体沉积盆地；⑤主动型大陆边缘弧后（岛弧或陆缘弧）前陆沉降带及弧后前陆型含油气盆地；⑥大陆间碰撞前陆沉降带及碰撞前陆型含油气盆地。这说明沉积盆地的形成与板块构造戚戚相关，因此研究一个盆地的构造必须先了解该盆地所处的板块构造背景及其在地质历史时期的演化过程。

渤海湾盆地现今的板块构造位置处于华北板块东缘，北接燕山造山带，南临秦岭—大别造山带，东侧与环太平洋现代俯冲带的日本岛弧和琉球岛弧相望（图1-2）。渤海湾盆地的形成演化与太平洋板块、菲律宾海板块、华南板块以及西伯利亚板块的活动密切相关。

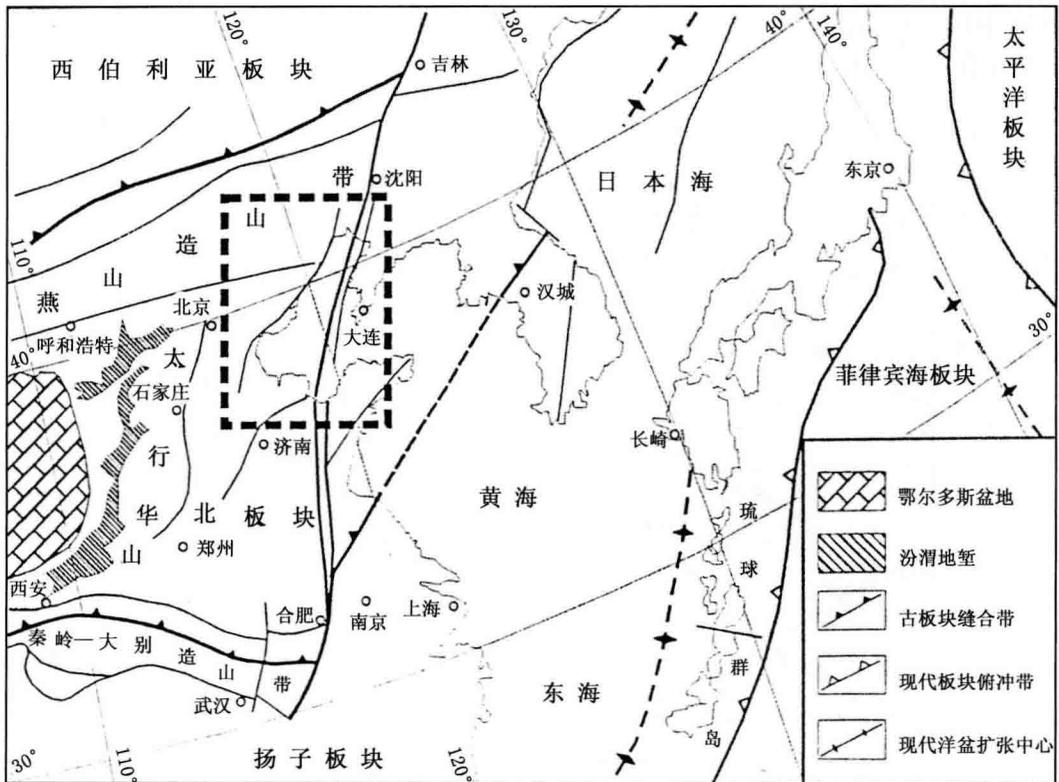


图1-2 渤海湾盆地及周边板块构造基本格架

# 1. 太平洋板块

距今 1.9 亿年前后的印支期，太平洋板块在库拉、法拉隆和特提斯三联点处开始形成。此后不断增生扩张，至早白垩世演化为库拉、法拉隆、太平洋和菲尼克斯四大板块。中侏罗世时 (180Ma)，东亚大陆东部的伊泽纳崎 (Izanagi) 板块是以非常缓慢的低速 (4.7cm/a) 正向俯冲于东亚大陆之下 (Engebretson 等, 1985; Maruyama 等, 1997)。

到早白垩世初期 (140Ma)，可能由于太平洋超地幔柱的活动，伊泽纳崎板块突然改变了运动方向和速度，以 30cm/a 的高速向正北斜向俯冲于东亚大陆之下 (俯冲带走向北东)。在早白垩世中期 (120Ma)，还保持着高速俯冲 (20.7cm/a)，运动方向逐渐变为 NNW (图 1-3a)，仍为高斜度斜向俯冲，使郯庐断裂带发生大规模左行平移。

在晚白垩世初期 (90Ma)，西太平洋板块活动又发生了重大的调整 (图 1-3b)。伊泽纳崎板块已运动到东亚东北部边缘 (日本中部以北)，并以 23.8cm/a 的高速向 NNW 方向俯冲。太平洋板块出现在中国东部大陆边缘，以 13.1cm/a 的速度向 NWW 向俯冲，并持续至整个古近纪 (Mamyama 等, 1997)。

进入新近纪后，西太平洋板块活动开始出现了弧后扩张及弧后盆地 (图 1-3c、d)。日本海盆的强烈弧后扩张发生在中新世 (25—15Ma)。这一弧后扩张在形成弧后盆地的同时 (图 1-3d)，还向东推挤着日本列岛使其显著旋转。朱光等 (2004) 认为郯庐断裂带新近纪以来的挤压活动与中国东部近 EW 向的挤压应力场主要就归因于西太平洋板块弧后扩张而造成的向西的侧向推挤力。更新世以来持续至今的冲绳海槽弧后扩张 (图 1-3d, Park 等, 1998)，同样也向西推挤着中国东部大陆。而这期间印度板块与欧亚板块碰撞所造成的向东构造挤出作用对中国东部应力状态也起着一定的辅助作用。

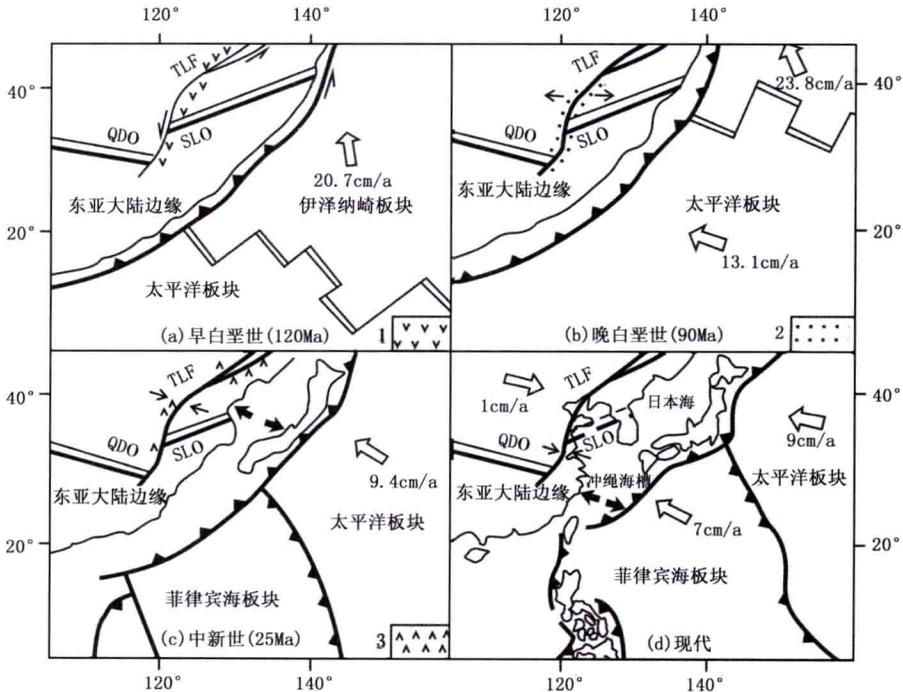


图 1-3 西太平洋白垩纪以来的板块活动演变示意图 (据朱光等, 2004)

QDO—秦岭—大别造山带; SLO—苏鲁造山带; TLF—郯庐断裂带

## 2. 华北板块

华北板块的核心为华北古板块，相当于黄汲清（1977）提出的中朝准地台。基底形成于早元古代的中条运动，古生代以后经南北侧俯冲挤压加积后形成（罗志立等，2005）。华北板块北部以“内蒙地轴”北缘深断裂到赤峰、开源深断裂为界，在“内蒙地轴”深断裂两侧分布着早古生代的双变质岩带。古生代华北板块北缘为聚合型边缘，南缘以祁连—秦岭北缘深断裂为界，加里东期也形成聚合型边缘。

华北板块内部从震旦系到中奥陶统以浅海碳酸盐岩为主，中奥陶世后上升为陆，直到中石炭世再度海侵，早二叠世晚期转为陆相沉积，从此结束海侵历史。中生代以后，板内以4条大的NE或NEE向深断裂把华北板块分成隆拗相间的5个次级构造单元，即阿拉善隆起、陕甘宁拗陷、山西隆起、华北拗陷和胶辽隆起。

三叠纪—中侏罗世，扬子板块向北推挤与华北板块碰撞并横向挤入，同时西伯利亚板块向南运动，造成郯庐断裂带大规模左行走滑。此时华北克拉通普遍处于压性环境，华北部分地区于早—中侏罗世在构造下陷地区发育了小型的河流—湖泊—沼泽体系，接受局部的含煤碎屑岩沉积。

## 3. 华南板块

华南板块是扬子古板块在古生代至中、新生代向东南方向以西太平洋的边缘海、火山岛弧和海沟的板块构造运动形式，向太平洋板块增生而逐步形成的（罗志立，1979）。扬子古板块的岩石记录可以追溯到古元古代（罗志立等，2005），从太古宙到晚元古代的演化模式为“两弧夹一盆”。从震旦纪到中三叠世以地台型的碳酸盐岩为主，晚三叠世结束海侵转为陆相盆地。它在中国南方古生代以后的地壳发展中起到稳定作用。

华南板块的演化历史经历了以下几个阶段（罗志立，2000）：①早加里东期克拉通台地和南华小洋盆开启阶段；②晚加里东期，南华小洋盆关闭，扬子古板块大隆大拗构造背景形成阶段；③海西期，扬子古板块及其周边拉张阶段；④印支运动导致四川原型陆相盆地形成和华南华北板块拼接阶段；⑤燕山期华南板块东缘的碰撞和岩浆活动，造成地壳强烈的变动，其强度由东向西减弱；⑥喜马拉雅期，华南板块东部处于弧后拉张背景中，在古断裂复活基础上形成了许多中、小型红色断陷盆地。

## 4. 西伯利亚板块

西伯利亚板块位于华北板块北部，中间以兴蒙造山带相接。在晚侏罗世晚期，西伯利亚板块向南相对运动（古纬度从晚侏罗世时期的 $60.7^\circ$ 变化到早白垩世时期的 $55.7^\circ$ ），蒙古—鄂霍茨克洋开始闭合，西伯利亚板块向南相对运动，在泛东北地区产生一个从西到东发散的地幔对流应力场，使地幔对流物质向东流动，产生了火山喷发和早白垩世的伸展断陷盆地群（张晓东等，2005）。北部的西伯利亚板块向南挤压华北板块，南部的扬子板块向北推挤华北板块，在渤海湾盆地侏罗系的沉积充填过程中起到主要的控制作用（徐振中等，2006）。

## 第二节 盆地类型及形成机制

盆地形成的动力学机制一方面受控于盆地所处的板块构造位置，另一方面也受控于盆地深部过程。盆地形成的动力学机制主要有3种，即伸展型（裂陷盆地）、挤压型（前陆盆地）和走滑型（走滑拉分盆地或走滑挤压挠曲盆地）。对于渤海湾盆地的形成机制主要有两种认识（表1-1）：一种为裂谷型，由NW向的地壳或岩石圈引张作用引起，即盆地属于伸

展或裂陷盆地性质；另一种认识为走滑拉分型，强调郯庐深断裂带等大型断裂带在新生代时期右旋走滑作用对盆地形成和演化的控制，地壳或岩石圈块体沿 NE 向深断裂的右旋剪切作用或扭张作用，盆地性质属于扭动盆地或大型复合拉分盆地。

表 1-1 渤海湾盆地类型划分一览表

盆地类型		代表作者	
裂谷盆地	动力学分类	主动裂谷	李德生 (1981)、刘和甫等 (2000)、窦立荣等 (2006)
		被动裂谷	张树林等 (2006)、陈发景 (1996a, 1996b)
		复合裂谷	何斌 (2001)、漆家福 (2004)
	板块构造位置分类	大陆内裂谷	陆克政等 (1997)、刘和甫 (1993, 1997)、童崇光 (1980)、陈发景等 (1996a, 1996b)
弧后裂谷		黄汲清 (1977)、赵重远 (1984)	
走滑拉分盆地		侯贵廷等 (1998)、许浚远等 (2000)、张功成 (2001)	

## 一、裂谷盆地

### 1. 根据裂谷盆地形成的动力学分类

虽然认为新生代的渤海湾盆地是伸展盆地，但对于裂陷伸展作用的动力学机制还有不同认识，有的认为是主动裂陷，有的认为是被动裂陷，有的认为是弧后扩张，有的认为是主动裂陷和被动裂陷“复合”的动力学机制。

#### 1) 主动裂谷

不少学者认为渤海湾盆地为主动裂谷盆地（李德生，1981；刘和甫等，2000；窦立荣等，2006）。上地幔内部物质的运动导致局部隆起，使该区岩石圈因受力而向两侧伸张，使地壳浅层产生断陷与拗陷。盆地基底面的起伏与莫霍面的起伏呈上凹下凸的镜像关系，意味着深部活动对浅层构造存在制约作用（图 1-4）。罗志立等（2005）认为渤海湾盆地是华

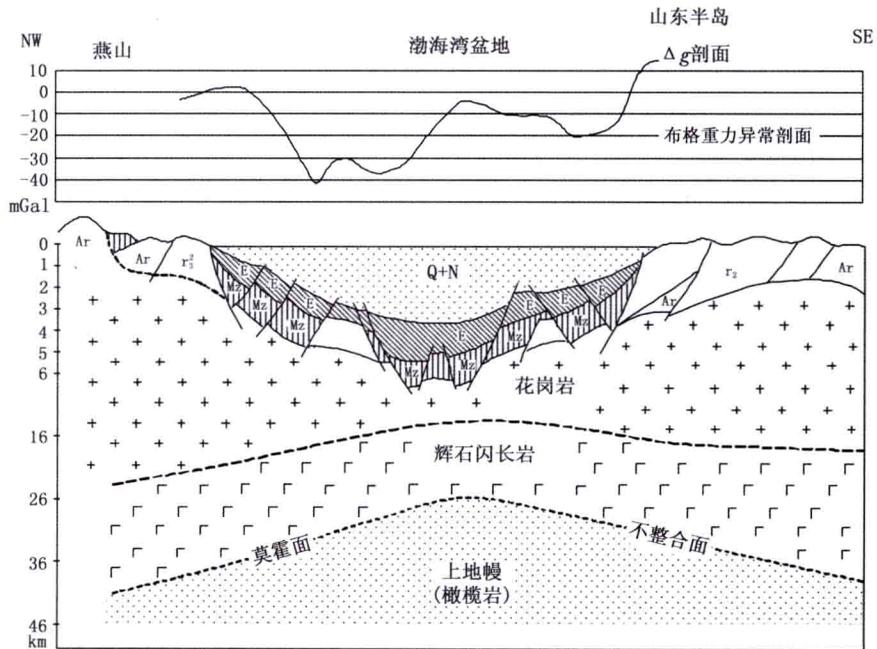


图 1-4 渤海湾盆地地震地质和重力剖面，显示地壳减薄与裂陷盆地发展的关系（据李德生，1979）

北地裂运动形成的，与地幔柱有关，与郯庐断裂扭动关系不大。肖龙等（2004）也认为渤海湾盆地古近纪开始发生地幔热柱上涌，地壳拉伸减薄，裂陷成盆。

滕吉文等（1997）认为从辽河拗陷 SW 向有一条地幔隆起带，地幔隆起最高处理深 28km（位于渤中拗陷内），从渤中拗陷向西还有一条近 EW 向地幔隆起带，辽河向南在济阳拗陷有一条地幔隆起带，3 条地幔隆起带汇于渤中拗陷下面的地幔上隆最高处。

## 2) 被动裂谷

也有一部分学者认为渤海湾盆地属于被动裂谷盆地。张树林等（2006）认为是分层组合伸展的产物，即上层简单剪切，下层纯剪切。上地壳的伸展构造是大型拆离断裂控制下的简单剪切伸展，下地壳和岩石圈地幔为纯剪切延性伸展。陈发景（1996）认为由于菲律宾海板块向大陆高角度俯冲和俯冲后聚敛作用速率减小，大陆内部受到的俯冲作用影响很弱，主要发育区域性背离作用，导致形成大陆内裂谷盆地。

## 3) 复合裂谷

何斌（2001）、漆家福（2004）将渤海湾盆地构造变形分为伸展构造和走滑构造两个相对独立、相互关联的新生代构造系统，新近纪的右旋走滑构造叠加在古近纪断陷盆地上，认为渤海湾盆地的裂陷作用机制实际上是主动裂陷和被动裂陷“复合”的动力学机制。大陆岩石圈伸展变形机制为上部以简单剪切伸展变形为主，下部以纯剪切伸展变形为主的“双层或多层分层伸展模式”（漆家福等，1995）。

## 2. 根据裂谷发育演化阶段分类

从裂谷盆地的发育演化阶段来看，不同的人又认为它处于不同的发育演化阶段，裂谷的发展阶段有：大陆内初始裂谷、大陆内断陷—拗陷盆地、大陆间原洋裂谷、被动大陆边缘、弧后裂谷。渤海湾盆地处于哪一个阶段，不同的人有不同的看法，主要有以下几种认识。

### 1) 大陆内断陷—拗陷盆地（大陆内裂谷）

持这种观点的人较多（陆克政等，1997；刘和甫，1993，1997；童崇光，1980；陈发景等，1996a）。大量的地壳测深资料表明盆地区的地壳明显薄于周边山区（或隆起区），且盆地内部的上地幔隆起与盆地基底面呈镜像反映。这些宏观的地质地球物理现象表明渤海湾新生代盆地是一个陆内的裂陷盆地（马杏垣等，1983）。胡圣标等（1999，2000）通过对渤海湾盆地构造—热演化的研究，认为渤海湾盆地具有较低的现今大地热流值和较高的古热流值，以及典型的裂谷型构造沉降样式，支持了渤海湾盆地属于板内裂谷盆地的认识，并且说明了地幔均衡可能是盆地演化后期（12Ma 以来）的重要动力源。李继亮等（1980）对渤海湾的形成和演化作了深入的研究，认为渤海可作为大陆裂谷的一部分，渤海湾的形成和演化受大陆裂谷的控制。

### 2) 弧后裂谷

黄汲清（1977）从西太平洋沟—弧—盆的角度，认为渤海湾盆地属弧后盆地。赵重远等（1984）认为渤海湾盆地的形成与欧亚大陆和太平洋板块的转动方向有关。

## 二、走滑拉分盆地

不少学者认为渤海湾盆地是一个在始新世形成的右旋走滑拉分盆地（侯贵廷等，1998，许浚远等，2000，张功成，2001）。张功成（2001）根据渤海湾盆地发育的断层特征，即目前发现的古近纪断层都是正断层，其边界断层平面呈“两竖一横”格局，东边的“一竖”相当于郯庐断裂带的营滩段，西边的“一竖”相当于沧东断裂，每一竖都是由多个次级的

斜列断层组成，认为这种构造特征只有拉分盆地才具备。

侯贵廷等（1998）认为中生代就已经存在的东西两个走滑构造带是新生代形成渤海湾拉分盆地的基本地质条件（图 1-5）。从始新世开始，由于库拉板块消失，太平洋板块的运动方向从 NNW 向转为 NWW 向，导致郯庐断裂带由左行转为右行。又由于印度板块对亚欧板块的俯冲，对华北板块施加 NE 向挤压应力，华北板块向东逃逸，并沿着古生代就存在的燕辽—太行—中条断裂带发生右行张剪运动。沧县隆起从太行山隆起分离形成渤海湾盆地西部走滑构造带。新生代各板块间综合协调运动的结果，使渤海湾地区在东西走滑构造带右行走滑作用下形成拉分盆地。在两个走滑系统之间产生与其相交的近 EW 向展布的控盆犁式断层，从而在总的走滑拉分背景下，产生大规模的伸展作用。每个控盆犁式断层形成北断南超的半地堑，具有伸展构造特征。

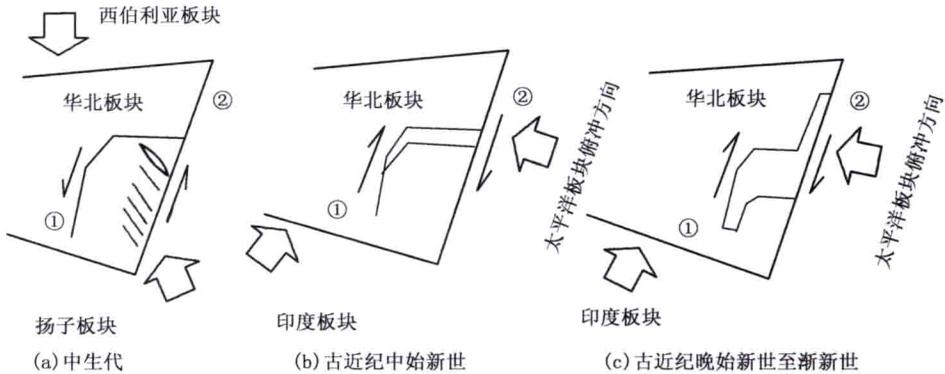


图 1-5 渤海湾盆地构造演化模式（据侯贵廷等，1998）

①—太行山断裂；②—郯庐断裂

此外，还有一些学者认为渤海湾盆地为伸展走滑盆地或伸展拉分盆地。前者认为渤海湾盆地是在伸展作用的同时叠加了后期走滑作用，走滑构造叠加在伸展构造之上，两者保持相对独立性和统一性。后者认为渤海湾盆地是在早期伸展的背景之下叠加了后期的走滑拉分作用而形成的伸展—拉分型复合盆地（李鹏举等，1995）。

### 第三节 地球物理场特征及深部地质结构

沉积盆地的形成和演化与地壳深部构造有密切关系。渤海湾盆地既是我国重要的能源基地，也是天然地震多发地区之一。国家曾组织有关研究机构用不同方法对这一地区进行一系列深部地球物理探测研究，取得了大量有关区域地壳结构和深部构造特征的研究成果。这些研究成果为正确认识渤海海域的区域地质特征、构造演化过程和形成机制奠定了基础。

#### 一、地壳厚度与分层结构

国家地震局（1985）汇编的《中国地壳上地幔地球物理探测成果》中较详细地讨论了各种方法和资料所推断的华北地区及邻近区域的地壳和岩石圈厚度分布特征。不同方法得到的地壳和岩石圈厚度分布都表明渤海湾盆地区的地壳和岩石圈厚度较周边地区更薄一些，而

渤海海域处于地壳和岩石圈减薄区，地幔隆起与地壳浅层发育的沉积拗陷呈镜像反映。

图 1-6 是张先康 (2006) 综合分析华北地区人工地震深部探测剖面、区域重力反演等多种资料编制的华北地区地壳厚度图。从图中可以看出，华北东部的地壳厚度明显小于西部地区，而且渤海湾盆地的地壳厚度相对更小一些。地壳厚度图显示渤海湾盆地深部构造形态总体上呈 NNE 向隆坳相间的构造格局。大致存在 3 条 NNE 向和一条 NEE 向的莫霍面隆起带，即东部的下辽河—辽东湾—渤中—昌潍 NNE 向隆起带、中部的北塘—临清—东濮 NNE 向隆起带、西部的冀中—汤阴 NNE 向隆起带和南部的临清—济阳 NEE 向隆起带。东部的下辽河—辽东湾—渤中—昌潍隆起带最为明显，莫霍面顶部埋深约 26 ~ 28km，隆起脊线沿 NNE 方向向辽河平原倾伏。莫霍面隆起与渤海湾盆地区位的拗陷的位置基本一致，渤海湾盆地内的拗陷与隆起对应的地壳厚度差异达到 8 ~ 10km。渤海海域所对应地壳厚度为 28 ~ 30km，且由中央向四周逐渐增厚。渤海周边隆起区的地壳厚度增大到 36km 左右。

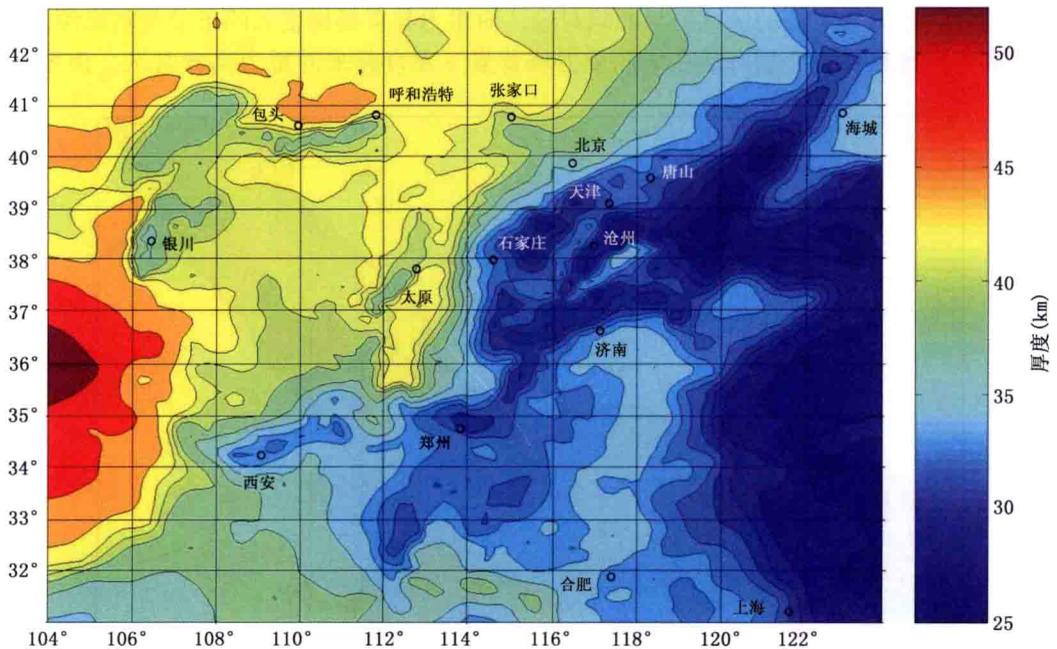


图 1-6 渤海湾盆地及邻区地壳等厚图

值得注意的是，渤海海域中央(渤中拗陷)是 NNE 向走向的下辽河—辽东湾—渤中—昌潍莫霍面隆起带和北塘—临清—东濮莫霍面隆起带叠置的区域，构成近 EW 走向的地幔隆起。

渤海湾盆地及周边地区的软流圈顶面的构造形态与莫霍面的构造形态相似，渤海湾盆地内的盆地与隆起对应的软流圈顶面起伏达 30km 左右。渤海海域的岩石圈厚度约 50 ~ 60km，渤海湾盆地内部的沧县隆起、埕宁隆起、海中隆起等对应的岩石圈厚度则超过 80km。渤海湾盆地外围的燕山、太行山及辽东、鲁西地区岩石圈厚度达 100 ~ 120km，与盆地拗陷部分的差异明显。人工深地震测深研究表明，华北平原盆地区的地壳由高速和低速相间的层状介质组成，同时存在明显的横向非均匀性。地壳分上、中和下 3 层结构，在中地壳层中存在低速层，速度极小值分布深度为 15 ~ 20km，层厚为 5 ~ 10km，并有由平原盆地向周围山区低速层埋深和层厚逐渐增大的趋势（燕山地区壳内低速层厚为 12 ~ 14km，山

西高原的壳内低速层厚约 20km)。大地电磁测深表明,盆地区的中层地壳内普遍发育高导低阻层,埋深为 15~25km,与地震测深揭示的壳内低速层基本相当。华北平原区(京、津、唐地区及邢台地区)的大量天然地震震源多分布在 10~18km 深的中上层地壳(易震层)中,大致位于壳内低速层或高导层顶面及以上层次,表明壳内低速层或高导层是上部地壳(上地壳层及中地壳层上部)弹性应变积累和脆性破裂的下限,是壳内非能干层(软弱层或韧性层)的反映。

上述区域地球物理资料研究成果表明,渤海海域及邻近区域地壳结构具有水平成层性和横向不均匀性特征,包括渤海海域在内的整个渤海湾盆地区的地壳和岩石圈相对于周边隆起区都有明显的减薄现象。

## 二、重力场特征

重力异常特征显示了盆地凹凸结构及深大断裂带的分布及走向。重力异常高的区域一般与凸起一致,重力异常低的区域则与凹陷对应,而重力异常场梯度大的条带与基底深大断裂的分布和走向比较吻合。渤海是在华北重力场背景下发育起来的重力高异常区。由图 1-7

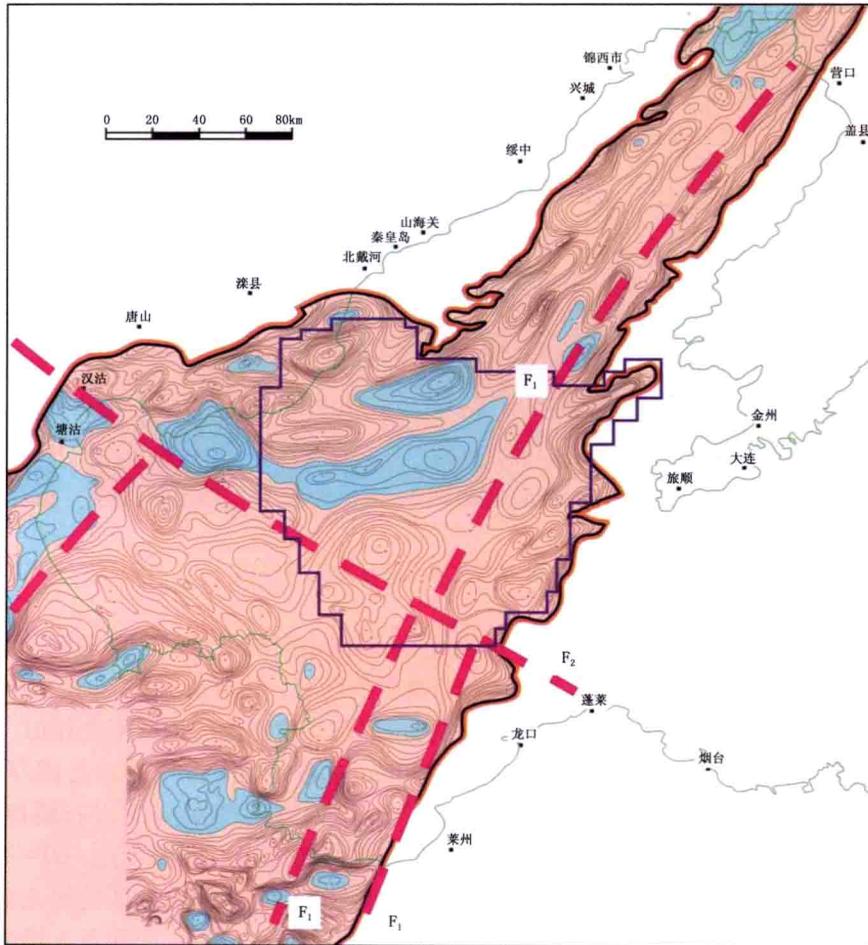


图 1-7 渤海海域布格重力异常图

蓝色为负异常区;粉红色为正异常区;等值线间隔为 2mGal; F<sub>1</sub>—郟庐断裂带; F<sub>2</sub>—张家口—蓬莱断裂带

可见重力异常在郯庐断裂带两侧差异特征明显。郯庐断裂带沿线及其以东地区以正重力异常为主，叠加局部负的重力异常，异常范围小、梯度大，呈 NNE 向延伸，郯庐断裂带以西为正、负布格重力异常相间出现，异常范围大、梯度小、走向和形态多变，以 NWW 向和 NNE 走向为主，主要受 NW—NWW 向张家口—蓬莱断裂带的影响，张家口—蓬莱断裂一线主要表现为 NWW 向重力异常，在两组断裂带夹持的渤中地区表现为 NWW—近 EW—NE 向的正、负重力异常相间分布。在渤中拗陷南部的渤南凸起一带，郯庐断裂带被张家口—蓬莱断裂带错断。

### 三、磁场特征

磁异常对结晶变质岩和火山岩均有反映。在区域磁力异常图中（图 1-8），沿着下辽河拗陷—渤中拗陷—莱州湾地区存在一条 NNE 向走向的正磁异常带，呈串珠状分布，异常幅度为 0~200nT，局部可达 700nT，间夹 -150~-50nT 的局部负异常。该带以西为辽西、鲁西磁异常剧烈变化区和渤中 NWW 向正磁异常变化带，以东为辽东半岛—庙岛群岛平缓变化磁场区和胶东磁异常剧烈变化区。推测 NNE 向和 NWW 向这两个异常带是沿郯庐断裂带和张家口—蓬莱断裂带发生岩浆作用而形成火山岩的标志，而磁异常带以外的其他部位磁异常

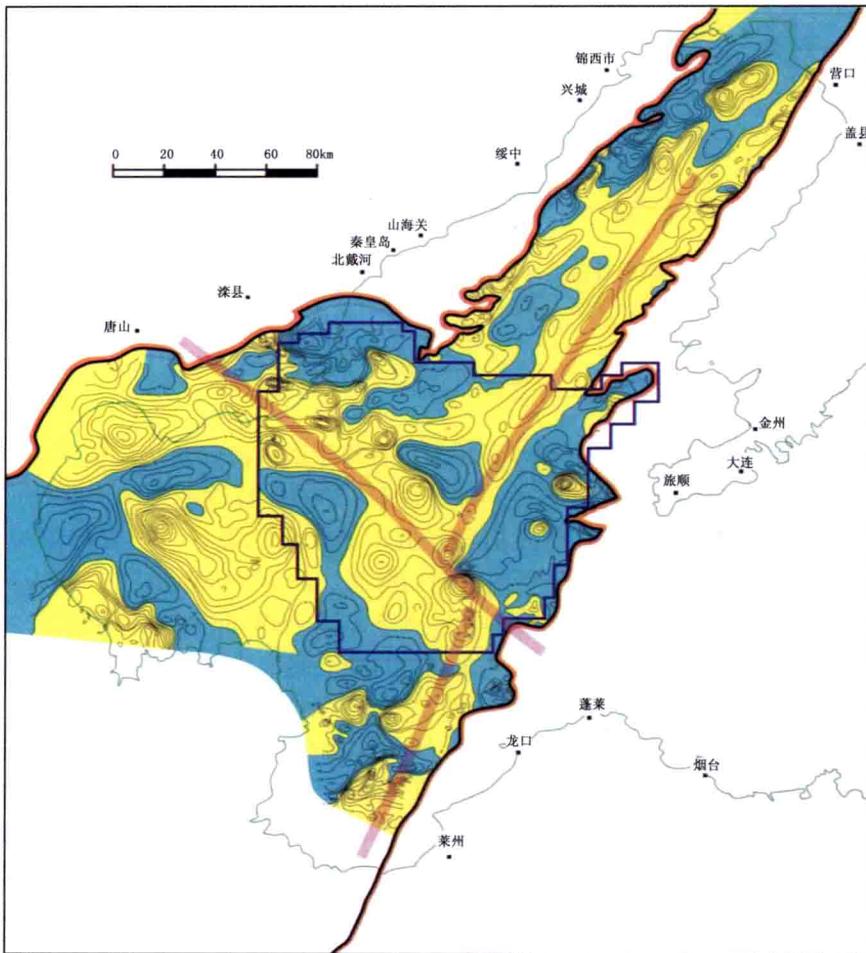


图 1-8 渤海海域磁力异常图