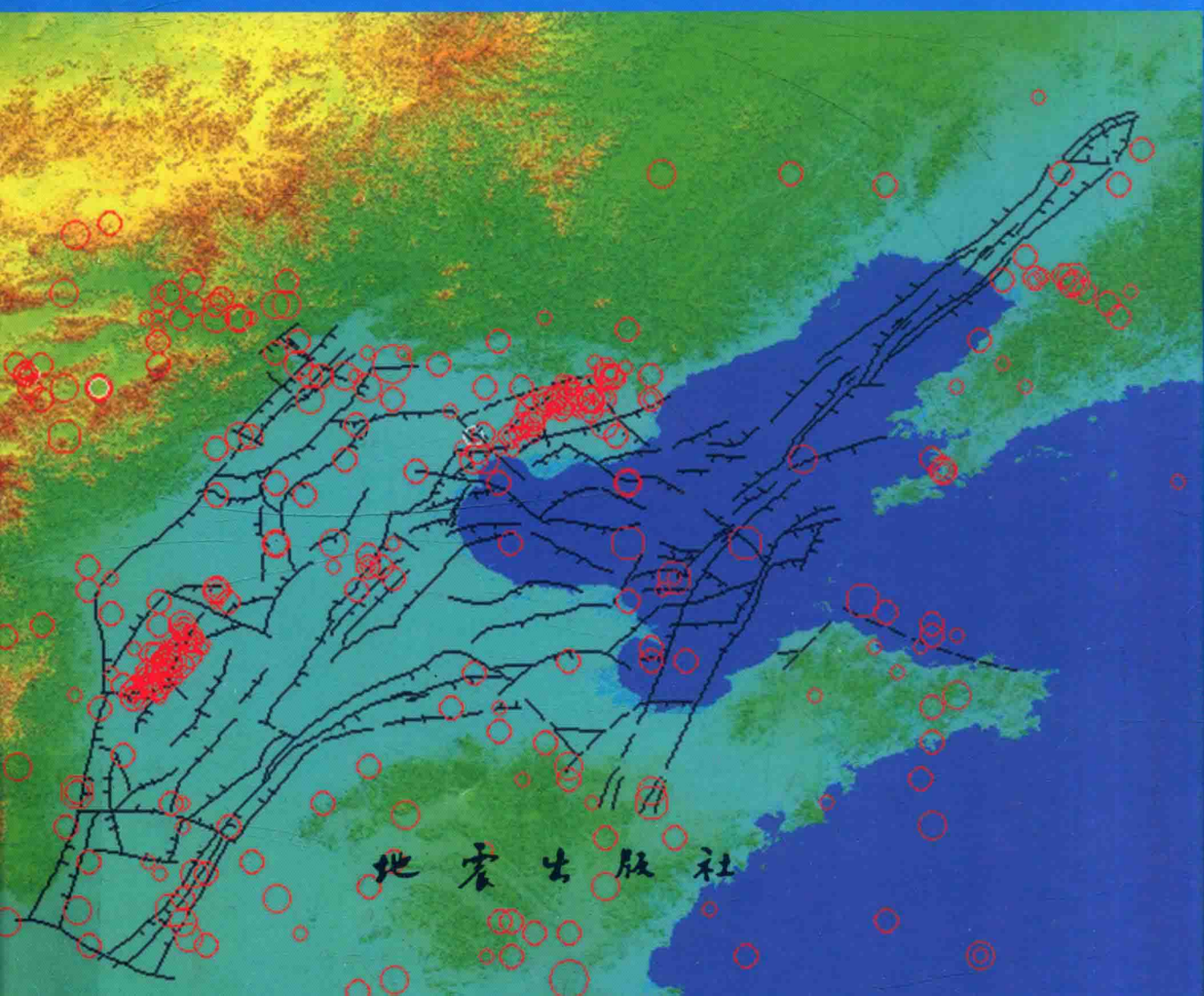


渤海湾盆地构造及其演化

徐 杰 计凤桔 著



地震出版社

渤海湾盆地构造及其演化

徐 杰 计凤桔 著

地 震 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

渤海湾盆地构造及其演化/徐杰, 计凤桔著. —北京: 地震出版社, 2015. 2

ISBN 978-7-5028-4547-6

I. ①渤… II. ①徐… ②计… III. ①渤海湾盆地—地质构造 ②渤海湾盆地—构造演化 IV. ①P942

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 002682 号

地震版 XM3291

渤海湾盆地构造及其演化

徐 杰 计凤桔 著

责任编辑: 张友联

责任校对: 凌 樱

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路9号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

专业部: 68467982 68721991

<http://www.dzpress.com.cn>

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68455221

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版 (印) 次: 2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 349 千字

印张: 19.5

书号: ISBN 978-7-5028-4547-6/P (5239)

定价: 100.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

内容提要

本书是基于作者在渤海湾盆地区 30 多年伸展构造、地震地质和石油地质等研究工作，并充分利用前人研究成果编写而成。作者力图根据现代伸展构造理论，运用马杏垣教授倡导的解析构造学的原则和方法，按照完整构造解析的几何学、运动学和动力学分析的逻辑步骤，适当借助以物理和数值模拟方法，较系统而深入地研究了渤海湾盆地区古近纪伸展构造和中新世晚期-第四纪新构造的几何学和运动学特征，分析了地壳上地幔结构构造及不同构造阶段的动力条件和构造应力状态，探讨了盆地区构造演化的动力学过程。最后分析了地震活动与渤海湾盆地新生代构造的关系。

本书除前言和结语之外，共分九章。书中具体介绍了约 60 个凹陷和 100 多条断裂的分布和名称，为读者了解渤海湾盆地提供很大方便；初步认为研究渤海湾盆地构造只研究伸展构造是不够的，还必须研究新构造，故对新构造的几何学和运动学特征首次做了尝试性的分析；在伸展构造几何学和运动学特征研究中，也提出一些诸如盆地构造结构具非对称性、非对称伸展和伸展方向顺时针偏转等新认识；探讨了渤海湾盆地断陷和新构造阶段截然不同的动力条件和构造应力状态；深入研究渤海湾盆地区地震构造格局和发震构造，得出现代地震活动与伸展构造无关而与新构造关系密切的新看法等。

本书可供从事区域地质、盆地构造、新构造、石油地质和地震地质等方面的科研、生产和教学工作者参阅。

前 言

新生代裂陷盆地往往是现代构造活动强烈、地质构造复杂、地壳和岩石圈地幔厚度甚薄且深部信息传递最多的场所之一，是探求地壳构造和构造运动及岩石圈动力学特征的重要窗口；同时它也是油气等矿产资源的宝库，所以新生代裂陷盆地常常是地球科学探测、研究的重要课题。

渤海湾盆地是中国大陆东部一个大型的新生代裂陷盆地，位于华北平原、渤海和下辽河平原地区。该盆地是中国东部主要的含油气区，也是地震活动强烈的地区。鉴于渤海湾盆地的地质构造意义以及油、气藏和现代地震活动等与之关系密切，自新中国成立以来，数以万计的地质和地球物理工作者对盆地沉积和构造、地震构造及深部结构构造等开展了大量的勘测、调查和研究。无疑，渤海湾盆地是中国包括地质历史时期在内的所有盆地中探测和研究程度最高的。

早在1945年，谢家荣在《唐山油苗》中，第一次报导了唐山奥陶系油苗。新中国成立后大力开展经济建设，石油是工业的“血液”。1956年开始在华北平原以下古生界为目的层进行石油勘探。1960年山东惠民凹陷华7井钻遇古近系生油岩系。1960年9月石油工业部和地质部在长春召开的两部联席会议上商定，对华北平原进行重点石油普查勘探。1961年山东东营华8井在古近系中获得高产油流，此后勘探工作转向新生界。1964年参加大庆石油会战的石油大军挥戈南下渤海之滨，开始了揭示盆地内幕和寻找油气藏的大规模勘探和研究，发现了胜利、大港、辽河、任丘等油田。为了满足国家建设快速发展的需要，广大石油工人和科技人员艰苦奋斗，边勘探、边研究、边开发，研究各探区及济阳、黄骅、辽河和冀中等坳陷的地层、构造及其发育历史等，做了大量的基础分析工作。

随着勘探实践的日益深入，地震探测技术不断改进，各种地质资料愈加丰

富,许多石油地质单位和研究者,如华北石油会战指挥部等^①(1978)、谭试典等^②(1978)、石油部地球物理勘探局研究院地质研究室^③(1978)、李德生(1979、1980)、严敦实等^④(1979)、唐智^⑤(1979)、胡见义等^⑥(1981)、杨祖序等^⑦(1985),开始对整个渤海湾盆地的新生代地层、盆地构造特征、构造演化历史、区域地质构造背景、盆地构造成因等进行了开创性的总体综合研究,不仅为石油勘探和开发提供了理论依据,而且促进了中国石油地质科学的发展。

1966年在渤海湾盆地内的邢台地区发生了7.2级地震,不仅激发了许多地质和地球物理科技工作人员立志转向地震工作,初步形成从事地震科学研究的专业队伍,而且揭开了新中国地震和地震地质研究的序幕,开始进行地震与盆地构造关系、深部结构构造特征及发震构造等方面的调查、探测和研究,取得了一些具有重要参考价值的成果。

1981年马杏垣教授从现代地壳伸展变形概念的角度,提出研究伸展构造在实践和理论上具有重要意义,积极推动了中国地质界开展伸展构造研究。

1983年徐杰在马杏垣和马宗晋两位导师的指导下,充分收集了华北平原新生代裂陷盆地(渤海湾盆地)40多个凹陷的地质资料以及有关渤海湾盆地构造等研究的大量成果,并利用地震地质和地球物理等方面的研究成果,依据现代伸展构造理论,力图运用马杏垣教授倡导的解析构造学的原则和方法,按照完整构造解析的几何学、运动学和动力学分析的逻辑步骤,同时适当借助物理模拟和数值模拟计算等,较系统地研究了渤海湾盆地区伸展构造的几何学和运动学特征,分析了深部的结构构造,探讨裂陷盆地形成的动力学过程,最后还以邢台等大震为例重点剖析了地震活动与伸展构造的关系,取得了一些有意义甚至具有颠覆性的新认识。毋庸置疑,这是首次对渤海湾盆地构造进行的较为系统而深入的研究,而对于地震构造来说,是具有突破性的工作;有关盆地构造研究成为漆家福博士论文工作参考的范例。

① 华北石油会战指挥部等,1978,华北扭转断块活动与古潜山油气田形成。

② 谭试典等,1978,论渤海湾盆地早第三纪构造—掀斜断块。

③ 石油部地球物理勘探局研究院地质研究室,1978,渤海湾地区华北运动与油气生成和富集。

④ 严敦实等,1979,渤海湾含油气盆地断块活动与潜山油气田的形成。

⑤ 唐智,1979,渤海湾油气区石油地质特征与油气田分布规律。

⑥ 胡见义等,1981,渤海湾盆地块断运动与油气分布。

⑦ 杨祖序等,1985,华北盆地及邻区含油气大地构造与远景评价。

1986 年研究渤海湾盆地伸展构造的博士论文完成之后,徐杰又参加或承担了辽河石油勘探局勘探开发研究院、中国石油勘探开发研究院和中海石油研究中心勘探研究院等单位的 10 多个重要研究课题,如大民屯凹陷潜山裂缝发育特征及与油气成藏关系、大港油田现代构造应力场及其与井网布置的关系、临南油田现代构造应力场、渤海湾西部盆地构造特征、渤海地区新构造运动的特征、渤海湾盆地前新生代地质构造图编制和研究、葵花岛油田地质构造分析、中原油田濮城地区地震安全性评价等研究工作。此外,还研究了太行山山前断裂带、沧东断裂、张家口-北京-蓬莱断裂带、营口-潍坊断裂带、唐山-河间-磁县和庙西北-黄河口等新生断裂带以及邢台 7.2 级和渤海 7.4 级等大震区的地震地质特征与发震构造等。计凤桔除了参与上述部分工作外,还系统调查和研究了郯城-庐江断裂带。

这期间,有关渤海湾盆地区石油地质和盆地构造理论研究以及地震构造研究等,都呈现出欣欣向荣、百花争艳的局面。在石油地质和盆地构造研究中,漆家福等(1995)、陆克政等(1997)和朱伟林等(2009)还先后出版了《下辽河-辽东湾新生代裂陷盆地构造解析》、《渤海湾新生代含油气盆地构造模式》、《渤海海域油气成藏与勘探》等论著。陆克政等在其书中以全球板块构造的活动论、地质历史发展的阶段性和事件性、多旋回成盆和构造反转等基本理论观点为指导,运用现代构造地质学和盆地构造分析的新概念、新方法和新技术,比较系统地分析了渤海湾盆地新生代构造的几何学、运动学和动力学特征。书中还对一些构造概念和构造理论进行了阐述和介绍。

本书是基于作者的博士论文和 30 多年的工作实践,并充分汲取前人研究的成果编写而成的。全书包括前言、第一至九章和结语。

第一章力图从板块构造观点论述渤海湾盆地所在的华北陆块形成和发展的构造演化概况;并着重介绍了新生代裂陷作用在中国东部产生的北西西向华北-东海新生代裂陷盆地系,渤海湾盆地是其中的典型代表。

第二章分析了区域深部地壳上地幔结构构造的基本特征。

第三章叙述渤海湾盆地构造发育的历史,提出渤海湾盆地是在晚白垩世形成的华北准平原上,于古近纪断陷阶段经地壳拉张裂陷而成的;还在前人划分盆地构造发育的新近纪-第四纪拗陷阶段中,新分出中新世晚期-第四纪新构造阶段。

第四章研究渤海湾盆地断陷阶段构造的几何学特征,其中较为突出的是:

详细介绍了断陷主断裂（基底主断裂）及其控制的断陷盆地（凹陷）的分布和名称，可为读者了解渤海湾盆地提供很大的方便；根据断陷主断裂的组合和活动特征，以沧县隆起为界把渤海湾盆地分为西部伸展构造系统和东部伸展-拉分构造系统；断陷主断裂及其分割的基底断块所反映的盆地构造结构特征，在盆地的纵向上具分段性，各区段横向上具非对称性或单向性。

第五章研究渤海湾盆地新构造阶段构造几何学特征，分析了新构造发育对于古近纪构造具有继承和新生的二重性，讨论了继承活动的断裂带和新生断裂带；揭示出新构造活动断裂带的分布和组合特征等。

第六章分断陷和新构造两个阶段研究渤海湾盆地构造的运动学特征。分析盆地断陷阶段水平伸展运动和伸展量、垂直差异升降运动和沉降量、断块掀斜运动及断裂走滑运动，研究以北西向为主的北西-南东向非对称水平伸展、伸展方向随时间发生顺时针偏转、断块掀斜运动在区段上的单向性以及盆地的中段和北段裂陷活动统一往北京-蓬莱断裂带沿线迁移等特征。研究了新构造阶段沉降运动的继承性及活动断裂带的走滑运动。

第七章探讨渤海湾盆地的形成机制与动力学过程，其中对盆地断陷和新构造两个阶段截然不同的两种动力条件和构造应力状态进行了分析；通过物理模拟实验结果力图说明非对称的盆地构造结构及有关的运动方式，必定有其形成的非对称的动力条件。

第八章分析渤海湾盆地及其邻区地震震中分布的成带性和震源分布的成层性、震源断层的取向和错动性质以及现代构造应力场的特征。

第九章研究渤海湾盆地区地震活动与新生地质构造的关系，首先从地震空间分布、震源破裂特征和构造应力场等方面，分别分析地震与古近纪盆地构造和新构造的关系；然后对盆地区和盆地外缘地带7次7级以上的大地震，逐个进行剖析，研究其发震构造。揭示渤海湾盆地区地震活动与古近纪盆地构造无关，而与新构造期发育的断裂带关系密切。

在我们以往有关渤海湾盆地的工作中，得到诸多单位如辽河石油勘探局勘探开发研究院地质勘探一所、大港石油管理局、胜利石油管理局采油工艺研究院和地质科学研究院、中国石油勘探开发研究院、中国海洋石油研究中心勘探研究院等，以及马杏垣、马宗晋、马瑾、邓起东、刘国栋、方仲景、叶洪、龚再升、蔡东升、张功成、吴铁生、贾玉平、陈振岩、徐寿根、刘前志、牛嘉玉、吴小洲、刘海涛、赵铁虎、吕悦军、赵卫、张流、徐峰、洪汉净、向宏

发、高祥林、周本刚、韩竹君、周庆、曲国胜、蒋伟、陈国光、周永胜、陈晓利、郝重涛、屈春燕、王春华、牛雯芳、杨友卿、高战武、宋长青和孙建宝等专家的支持和帮助；张力方提供了系统的地震资料，在此谨向给予帮助的单位 and 专家深表谢意！

本书论及的内容较多，涉及到各有关方面的大量资料，有些研究内容尚处于探索阶段，加之作者水平所限，故书中谬误和不妥之处肯定不少，恳请大家批评指正。

作 者

目 录

第一章 渤海湾盆地区域地质概况	1
第一节 区域地质构造位置	1
第二节 区域地质构造发展历史	4
一、克拉通化与华北陆块形成 (Ar-Pt ₁)	4
二、陆块再造和稳定发展 (Pt ₂ -Pt ₃ , Pz-T ₂)	8
三、陆块伸展裂陷解体 (T ₃ -K, Kz)	11
第二章 区域深部结构构造的基本特征	16
第一节 深部隆起及其构造形态	16
一、莫霍面构造	16
二、软流圈顶面构造	18
第二节 非均匀多层结构的地壳	19
第三节 深部构造与盆地构造呈镜像对映关系	21
第四节 地壳和岩石圈尺度的深断裂带	22
第五节 大型拆离断裂	26
第三章 渤海湾盆地构造发育历史	27
第一节 盆地构造发育的构造地貌基础	27
第二节 新生代地层发育概况	29
一、古近系	30
二、新近系和第四系	32
第三节 新构造阶段划分	33
第四节 渤海湾盆地构造发育历史	41
一、古近纪断陷 (裂陷) 阶段	43
二、中新世早期拗陷 (后裂陷) 阶段	44

三、中新世晚期至第四纪新构造阶段	44
第四章 渤海湾盆地断陷阶段构造几何学特征	50
第一节 渤海湾盆地基本构造格架与构造单元划分	51
一、盆地基本构造格架	51
二、盆地构造单元划分	55
第二节 断裂类型及其特征	58
一、以断裂规模及与盆地发育关系分类	58
二、据断裂几何学和运动学特征分类	64
第三节 伸展构造几何学特征	65
一、伸展构造的基本类型	65
二、伸展构造的典型类型	66
三、伸展构造系统的构造样式	76
四、伸展构造中的调整断裂	91
第四节 走滑构造系统	92
一、走滑构造的基本概念	92
二、渤海湾盆地区的走滑构造系统	93
第五节 伸展构造系统与走滑构造系统之间的关系	97
第五章 渤海湾盆地新构造阶段构造几何学特征	100
第一节 渤海海域新构造主要特征	101
一、渤海海域新构造发育概况	101
二、继承活动断裂与新生断裂	102
三、渤海海域新构造活动断裂	105
四、渤海海域主要新构造活动断裂带	107
第二节 渤海湾盆地其他地区新构造期断裂发育特征	112
一、继承活动的断裂带	112
二、新生断裂带	116
三、不活动的断裂带	120
第三节 渤海湾盆地新构造格局	123

第六章 渤海湾盆地构造的运动学特征	125
第一节 断陷阶段盆地构造的运动学特征	126
一、水平伸展运动	126
二、垂直差异升降运动	137
三、断块掀斜运动	141
四、断裂走滑运动	143
五、裂陷活动中心定向迁移	143
第二节 新构造阶段盆地区构造的运动学特征	148
一、沉降中心空间分布的继承性	148
二、断裂走滑运动	148
第七章 渤海湾盆地的形成机制与动力学过程	149
第一节 关于裂陷盆地构造形成机制与动力学过程的认识	150
一、大陆伸展构造模式	150
二、裂陷盆地形成的动力学机制	155
第二节 渤海湾盆地区地质构造与深部结构构造主要特征	157
一、渤海湾盆地主要的地质构造特征	157
二、渤海湾盆地区深部结构构造特征	159
第三节 动力学因素分析	160
一、区域动力环境与应力状态	160
二、渤海湾盆地区古近纪构造应力场	162
三、动力源非对称作用	162
第四节 关于渤海湾盆地形成机制与动力学过程的讨论	167
一、渤海湾盆地区岩石圈伸展模式	167
二、渤海湾盆地形成和演化的动力学过程	170
第八章 渤海湾盆地及其邻区地震活动的基本特征	173
第一节 区域地震资料来源及概况	173
一、历史地震资料完整性与可靠性	173
二、现代地震台网监测能力	175
三、区域地震目录	176

四、区域现代中小地震	178
第二节 区域地震活动特征	179
一、区域地震震中分布特征	179
二、区域地震震源深度分布	182
第三节 区域现代构造应力场	183
一、区域地震震源机制解与现代构造应力场	186
二、渤海湾盆地现代构造应力场数值模拟	194
第九章 盆地区地震活动与新生代地质构造的关系	200
第一节 地震分布与新生代地质构造的关系	202
第二节 震源破裂与新生代地质构造的关系	203
第三节 现代构造应力场与新生代地质构造的关系	204
第四节 地震构造带与地震构造格局	205
第五节 大震的发震构造	208
一、发生于渤海湾盆地内的大震	208
二、发生在渤海湾盆地外缘的大震	240
第六节 小 结	265
结 语	268
参考文献	276

Contents

1 Regional geology of the Bohai Bay basin	1
1.1 Tectonic setting	1
1.2 Development history of regional tectonics	4
1.2.1 Cratonization and formation of the North China continental block (Ar- Pt ₁)	4
1.2.2 Rebuilding and stable development of the continental block (Pt ₂ - Pt ₃ , Pz-T ₂)	8
1.2.3 Extension, rifting and disassembly of the continental block (T ₃ -K, Kz)	11
2 Features of regional deep structure	16
2.1 Deep uplift structures and their relief	16
2.1.1 Moho interface	16
2.1.2 Top of asthenosphere	18
2.2 Heterogeneous multiple-layer structure of crust	19
2.3 Mirror relationship between deep structures and basins	21
2.4 Deep faults of crustal and lithospheric scales	22
2.5 Large-scale detachment faults	26
3 Development history of structure in the Bohai Bay basin	27
3.1 Geomorphology of the basin	27
3.2 Stratigraphy of Cenozoic	29
3.2.1 Eogene System	30
3.2.2 Neogene System and Quaternary System	32
3.3 Division of neotectonic stages	33

3.4	Development history of structure in the Bohai Bay basin	41
3.4.1	Fault–depression (rifting) in Eogene	43
3.4.2	Depression (post–rifting) in early Miocene	44
3.4.3	Neotectonic stage in late Miocene to Quaternary	44
4	Geometry of the Bohai Bay basin in its fault–depression stage	50
4.1	Tectonic framework and tectonic unit division of the basin	51
4.1.1	Tectonic framework	51
4.1.2	Division of tectonic units	55
4.2	Types and features of faults	58
4.2.1	Classification based on fault scales and relation with basin development	58
4.2.2	Classification based on fault geometry and kinematics	64
4.3	Geometry of extensional structures	65
4.3.1	Primary types of extensional structures	65
4.3.2	Typical types of extensional structures	66
4.3.3	Structural styles of extensional systems	76
4.3.4	Adjustment faults in extensional structures	91
4.4	Strike–slip structural systems	92
4.4.1	Basic concept of strike–slip structural systems	92
4.4.2	Strike–slip systems in the Bohai Bay basin	93
4.5	Relationship between extensional systems and strike–slip systems	97
5	Geometry of the Bohai Bay basin in its neotectonic stage	100
5.1	Primary features of neotectonics in the Bohai sea	101
5.1.1	Development of neotectonics in the Bohai sea	101
5.1.2	Inherited active faults and newly generated faults	102
5.1.3	Active faults of neotectonics in the Bohai sea	105
5.1.4	Major neotectonic active faults in the Bohai sea	107
5.2	Neotectonic faults in the other areas of the Bohai Bay basin	112
5.2.1	Inherited faults	112
5.2.2	Newly generated faults	116
5.2.3	Inactive faults	120

5.3	Neotectonic pattern of the Bohai Bay basin	123
6	Kinematics of structures in the Bohai Bay basin	125
6.1	Kinematics of basin structures in fault-depression stage	126
6.1.1	Horizontal extension	126
6.1.2	Vertical differential uplift and subsidence	137
6.1.3	Faulted-block tilting movement	141
6.1.4	Strike-slip movement of faults	143
6.1.5	Directed migration of rifting centers	143
6.2	Kinematics of basin structures in neotectonic stage	148
6.2.1	Inheritance of spatial distribution of subsidence centers	148
6.2.2	Strike-slip movement of faults	148
7	Formation mechanism and dynamic processes of the Bohai Bay basin	149
7.1	Understandings of formation mechanisms and dynamic processes of rifting basins	150
7.1.1	Models of extensional tectonics in continents	150
7.1.2	Dynamic mechanisms of rifting basin formation	155
7.2	Characteristics of geology and deep structure in the Bohai Bay basin	157
7.2.1	Major geologic structures of the Bohai Bay basin	157
7.2.2	Deep structure of the Bohai Bay basin	159
7.3	Analysis of dynamic factors	160
7.3.1	Regional dynamic environment and stress state	160
7.3.2	Stress field of Eogene structure in the Bohai Bay basin	162
7.3.3	Asymmetric action of dynamic sources	162
7.4	Discussion on formation mechanism and dynamic processes of the Bohai Bay basin	167
7.4.1	Extensional model of lithosphere in the Bohai Bay basin	167
7.4.2	Formation mechanism and dynamic processes of the Bohai Bay basin	170

8	Seismicity in the Bohai Bay basin and adjacent areas	173
8.1	Sources of regional seismic data and its outline	173
8.1.1	Completeness and reliability of historical earthquake data	173
8.1.2	Monitoring ability of modern seismic networks	175
8.1.3	Regional earthquake catalogues	176
8.1.4	Regional moderate and small earthquakes	178
8.2	Features of regional seismicity	179
8.2.1	Distribution of regional earthquake epicenters	179
8.2.2	Distribution of regional earthquake focal depths	182
8.3	Regional modern tectonic stress field	183
8.3.1	Regional earthquake focal mechanism solutions and modern tectonic stress field	186
8.3.2	Numerical modeling of modern stress field in the Bohai Bay basin	194
9	Relationship between earthquakes and Cenozoic geologic structure in the basin	200
9.1	Relationship between earthquake distribution and Cenozoic geologic structure	202
9.2	Relationship between source ruptures and Cenozoic geologic structure	203
9.3	Relationship between modern tectonic stress field and Cenozoic geologic structure	204
9.4	Seismotectonic zones and seismotectonic patterns	205
9.5	Seismogenic structure of major earthquakes	208
9.5.1	Major earthquakes within the Bohai Bay basin	208
9.5.2	Major earthquakes around the Bohai Bay basin	240
9.6	Summary	265
	Conclusions	268
	References	276