

ZHONGGUO DONGBU
FUTINGAOXIAN TINGYUANYAN
TEZHENG LEIBI YU ZONGHE PINGJIA

中 富烃凹陷烃源岩 特征类比与综合评价

李水福 胡守志 孙玉梅 张冬梅 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中国东部富烃凹陷烃源岩 特征类比与综合评价

ZHONGGUO DONGBU FUTING AOXIAN TINGYUANYAN
TEZHENG LEIBI YU ZONGHE PINGJIA

李水福 胡守志 编著
孙玉梅 张冬梅

内 容 简 介

本专著以生烃凹陷为单元,在我国东部地区 5 个盆地(渤海湾盆地、珠江口盆地、北部湾盆地、南襄盆地、江汉盆地)中选取 17 个具有代表性的生烃凹陷,包括 14 个已经被证实的富烃凹陷(海域 9 个、陆上 5 个)和 3 个非富烃凹陷(海域 1 个、陆上 2 个),首先用烃源岩常规评价方法简明扼要地对其中的烃源岩特征进行刻画,包括渤海海域富烃凹陷、南海海域富烃凹陷、陆上富烃凹陷和非富烃凹陷;然后在此基础上从烃源岩数量和质量两个方面的特征以表格形式进行类比分析,找出富烃凹陷与非富烃凹陷的本质差别;最后,在上述研究基础上,提出“烃源岩成烃贡献值”和“烃源岩有效体积率”的概念,详细介绍它们的计算原理、方法和应用实例,对烃源岩进行综合评价,并结合凹陷实际勘探资源量和地质储量与“烃源岩成烃贡献值”和“烃源岩有效体积率”的关系,以说明烃源岩综合评价的正确性。

图书在版编目(CIP)数据

中国东部富烃凹陷烃源岩特征类比与综合评价/李水福,胡守志,孙玉梅,张冬梅编著. —武汉:中国地质大学出版社,2016. 11

ISBN 978-7-5625-3963-6

I. ①中…

II. ①李… ②胡… ③孙… ④张…

III. ①坳陷-烃源岩-特征-综合评价-中国

IV. ①P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 305059 号

中国东部富烃凹陷烃源岩特征类比与综合评价

李水福 胡守志 编著
孙玉梅 张冬梅

责任编辑:王凤林 王 敏

责任校对:周 旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:170 千字 印张:6.75

版次:2016 年 11 月第 1 版

印次:2016 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉珞南印务有限公司

印数:1—1000 册

ISBN 978-7-5625-3963-6

定价:22.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

绪 论

凹陷富烃与否,烃源岩的发育数量和质量是关键。一个凹陷首先是要富生烃,才有可能再谈富烃。当然,富生烃不一定是富烃,但富烃一定要富生烃。而富生烃,必须要有足够数量和较高质量的烃源岩,因此,对烃源岩的评价是判断凹陷是否富生烃,乃至富烃与否的首要工作。然而,国内外多年来对烃源岩的评价一般都在定性或者半定量阶段。我们知道,对烃源岩的数量特征评价,一般是从烃源岩的时空展布上进行描述性的评价,如烃源岩发育层位、发育面积、发育厚度等,即使出现一些定量的数字,也是平均的,而且像层位、面积、厚度等指标参数也都是相互分开描述,没有一个综合的参数来衡量一个凹陷烃源岩数量特征;同样,对烃源岩质量评价,也就是传统意义上的烃源岩评价,它包括烃源岩中所含有机质的丰度、类型及其热演化成熟度 3 个方面。长期以来,这 3 个方面都有各自的评价指标和评价标准,而且都是定量的,其理论和方法也很成熟。我们常常可以得到这样的烃源岩评价:某套烃源岩的有机质丰度高,类型好,成熟度适中,对生烃有利。然而,尽管它们每个方面都是定量的,却又都是各自为政的。那么,一块烃源岩对生烃究竟有多大贡献?一个凹陷有多少对生烃有贡献的烃源岩呢?目前没有一个统一的综合指标来衡量它。在国家油气重大专项“大型油气田及煤层开发”中课题“近海富烃凹陷资源潜力再评价与新区、新领域勘探方向”下属子课题“富烃凹陷特征及类比研究”的“十一五”(一期)和“十二五”(二期)支撑下,开展了大量有关“富烃凹陷烃源岩特征”的专题研究。根据我国海域和陆地已被证实的富烃凹陷烃源岩特征,提出烃源岩综合定量评价思想:在综合烃源岩有机质丰度、类型和成熟度 3 个方面因素的基础上,用“烃源岩成烃贡献值”来综合评价烃源岩质量特征,然后,在烃源岩成烃贡献值的控制下,统计凹陷的烃源岩有效体积及其与凹陷沉积体体积的比率,即“烃源岩有效体积率”来综合衡量烃源岩数量特征。在这种思想指导下,我们开展了以下工作。

首先,以生烃凹陷为单元,选择我国东部地区一定数量(涉及 5 个盆地的 17 个生烃凹陷,包括 10 个海域生烃凹陷、7 个陆上生烃凹陷,其中富烃凹陷 14 个,非富烃凹陷 3 个)具有代表性且已经被证实的富烃凹陷和非富烃凹陷,用烃源岩常规评价方法对每个凹陷的烃源岩特征进行刻画;然后,在此基础上,以表格形式从烃源岩数量和质量两个方面统计每个凹陷烃源岩特征并进行类比;最后,在上述研究的基础上,提出“烃源岩成烃贡献值”和“烃源岩有效体积率”概念,并详细介绍它们的计算原理、方法和应用实例。

本专著共 6 章,绪论由李水福编写;渤海海域富烃凹陷烃源岩特征(第一章)和南海海域富烃凹陷烃源岩特征(第二章)由李水福、孙玉梅和胡守志编写;陆上富烃凹陷烃源岩特征(第三章)由胡守志和李水福编写;非富烃凹陷烃源岩特征(第四章)由李水福和胡守志编写;不同凹陷烃源岩特征类比(第五章)由李水福和张冬梅编写;富烃凹陷烃源岩综合评价(第六章)由李水福、胡守志和张冬梅编写;结论由李水福编写。全书最后由李水福统稿定稿。

本专著是在国家油气重大专项“十一五”期间和“十二五”期间的子课题“富烃凹陷特征及类比研究”支撑下完成的,在编写过程中得到课题负责人中国地质大学(武汉)资源学院石油地

质系叶加仁教授和中国海洋石油研究中心勘探院院长吴景富教授级高工的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！同时，感谢课题组中国地质大学(武汉)资源学院石油地质系的杨香华教授和海洋学院的任建业教授在课题研究过程中的帮助，也感谢中国海洋石油研究中心勘探院吴克强总地质师和赵志刚技术首席的帮助，还要感谢范蕊、吕倩、黄新等研究生以及 2012 届和 2013 届部分本科毕业生为本书所做的工作。

笔者在编写过程中力图尽善尽美，以最大限度地满足读者需求，但由于笔者水平有限，错误和疏漏在所难免，恳请读者批评指正！

李水福

2016 年 10 月 5 日

目 录

第一章 渤海海域富烃凹陷烃源岩特征	(1)
第一节 辽中凹陷	(1)
第二节 辽西凹陷	(7)
第三节 渤中凹陷	(10)
第四节 黄河口凹陷	(16)
第五节 莱州湾凹陷	(20)
第二章 南海海域富烃凹陷烃源岩特征	(24)
第一节 惠州凹陷	(24)
第二节 恩平凹陷	(27)
第三节 文昌 A 凹陷	(32)
第四节 涠西南凹陷	(36)
第三章 陆上富烃凹陷烃源岩特征	(42)
第一节 辽河西部凹陷	(42)
第二节 大民屯凹陷	(46)
第三节 东营凹陷	(50)
第四节 泌阳凹陷	(54)
第五节 潜江凹陷	(62)
第四章 非富烃凹陷烃源岩特征	(66)
第一节 阳江阳春凹陷	(66)
第二节 南阳凹陷	(70)
第三节 江陵凹陷	(74)
第五章 不同凹陷烃源岩特征类比	(81)
第一节 不同凹陷基本特征及烃源岩数量特征类比	(81)
第二节 不同凹陷烃源岩质量特征类比	(82)
第六章 富烃凹陷烃源岩综合评价	(84)
第一节 烃源岩综合评价思想与方法	(84)
第二节 烃源岩成烃贡献值(VGH)	(85)
第三节 烃源岩有效体积率(REV)	(89)
结 论	(95)
参考文献	(96)

第一章 渤海海域富烃凹陷烃源岩特征

根据资料收集情况,我们在渤海湾盆地海域部分的辽东湾地区选取了辽中凹陷和辽西凹陷,渤中地区选取了渤中凹陷、黄河口凹陷和莱州湾凹陷,共 5 个生烃凹陷作为研究对象,进行烃源岩特征刻画。

第一节 辽中凹陷

辽中凹陷位于渤海湾盆地辽东湾地区的中部,为一东断西超的箕状凹陷,呈北北东-南南西走向狭长条带状,是辽东湾坳陷次级构造单元(图 1-1、图 1-2)。该凹陷的西面与辽西低

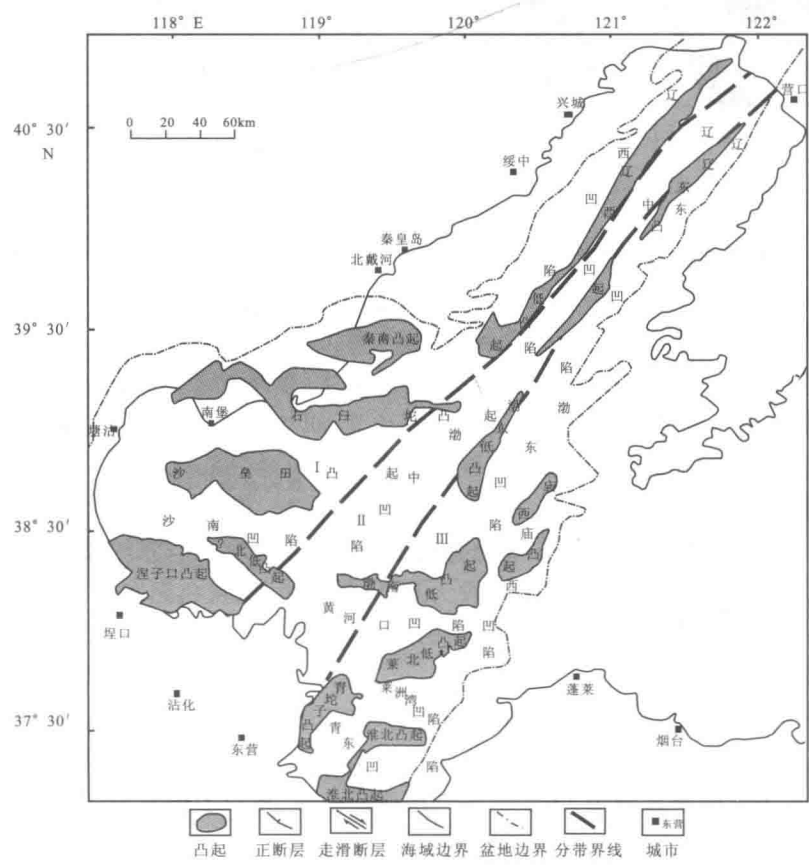
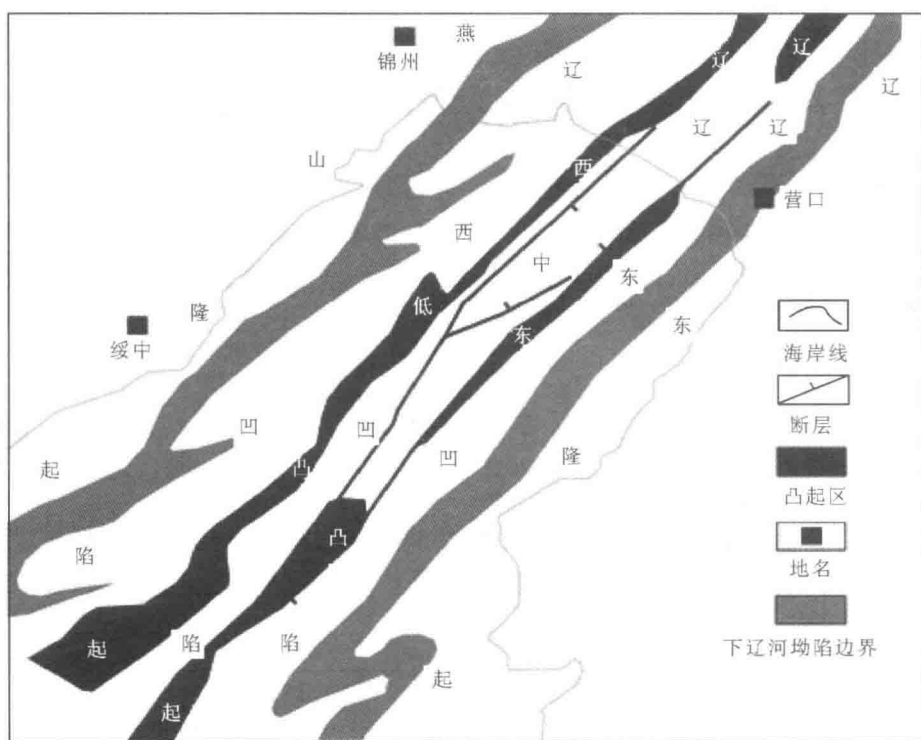


图 1-1 渤海湾盆地构造略图(据万桂梅等,2009)

I. 西部凸起带; II. 中部凹陷带; III. 东部凸起带



(柳永军等,2012)

从岩性特征上看,沙三段以暗色泥岩或油页岩为主,盆地边缘夹砂岩,其沉积环境主要为湖泊,边缘发育扇三角洲或水下扇。沙二段是灰色泥、页岩与中—粗砂岩互层沉积,向上砂岩层变薄变细。沙二段沉积时期发育湖泊、碳酸盐岩台地和扇三角洲。沙一段为古近系的特殊岩性段,暗色泥岩和油页岩广泛发育,底部为生物碎屑灰岩、碎屑云岩。沙一段的沉积环境继承了沙二段晚期的环境特点并进一步演化为湖泊和碳酸盐生物滩。东三段为深灰色泥岩夹砂岩透镜体,其沉积环境以湖泊为主。东二段为灰色、深灰色、褐灰色泥岩夹薄层粉—细砂岩,辽东湾地区此段中—上部含厚层状中—细粒砂岩,为主要的储层之一。东二段沉积时期主要为三角洲和湖泊环境(图1-3)。

辽中凹陷的油气资源潜力在渤海海域位居第二,石油地质资源量为 $13.45 \times 10^8 \text{ t}$,探明储量 $6 \times 10^8 \text{ t}$ 。辽中凹陷及其周缘已发现多个油气田及含油气构造,分布于北、中、南 3 个次洼,其中绥中 36-1 为亿吨级大油田,主要含油气层段东一段、东二上段及东二下段。油源对比研究表明,沙三段和东三段烃源岩可能是该凹陷产出原油的主要烃源岩。下面分别对北洼、中洼和南洼的烃源岩进行地球化学评价。

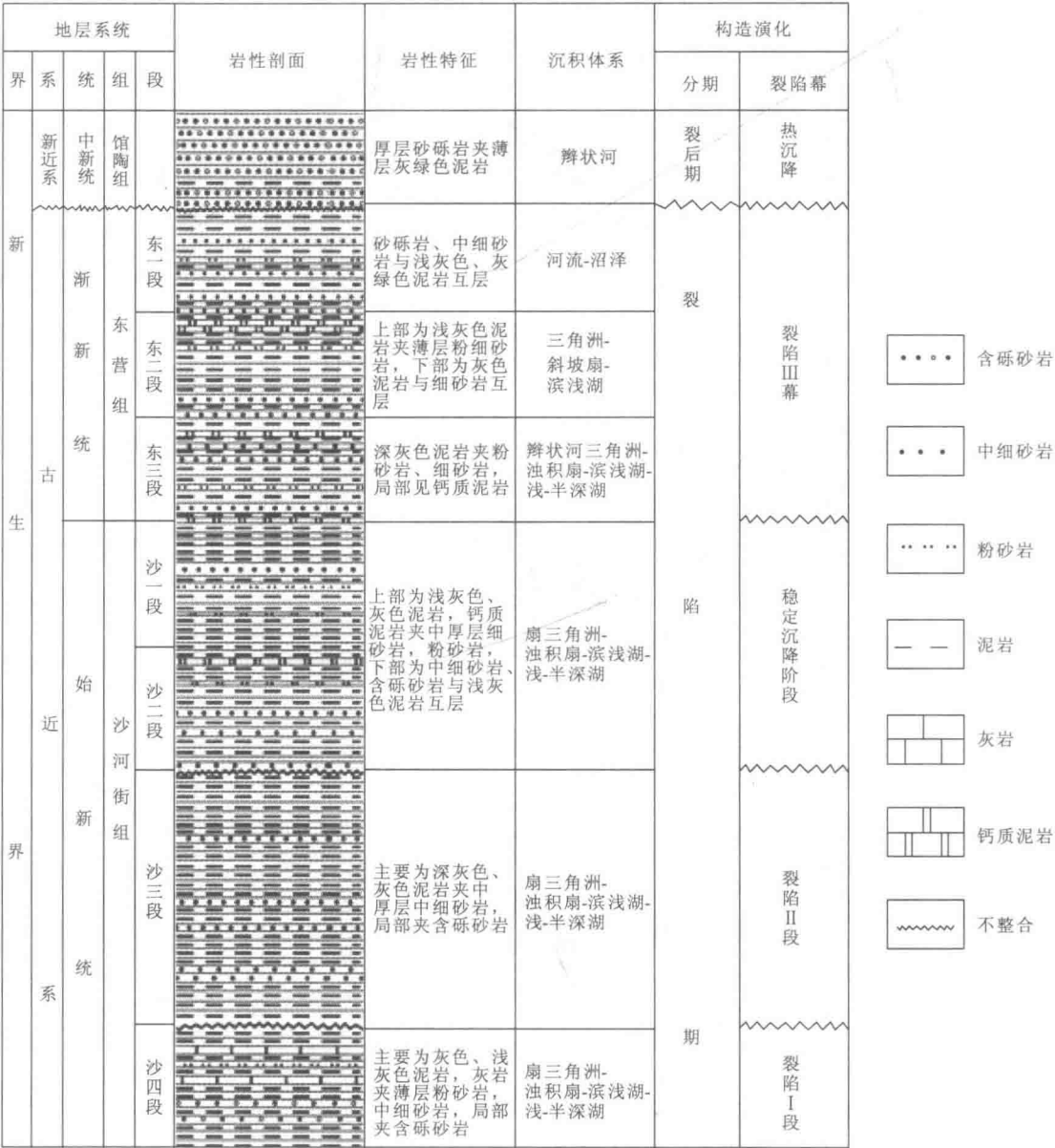


图 1-3 辽中凹陷新生代地层综合柱状图
(据加东辉等,2010)

1. 有机质丰度

根据有机碳含量和生烃潜量关系图判别,东下段、沙一二段和沙三段在北洼、中洼和南洼,好、中、差烃源岩均有分布(图 1-4)。有机碳含量和生烃潜量数据平均值统计,沙一二段有机质碳含量和生烃潜量都要高于沙三段和东下段。每个层段有机碳含量在北洼、中洼和南洼大致相当(图 1-5),而生烃潜量在沙一二段最大,且北洼、中洼和南洼也相差不大。东下段的生

烃潜力在南洼最高,中洼最低,而沙三段北洼高于中洼和南洼(图 1-5)。总体上,有机碳含量在平面上分布大致相当,而生烃潜力南洼较好,北洼次之。

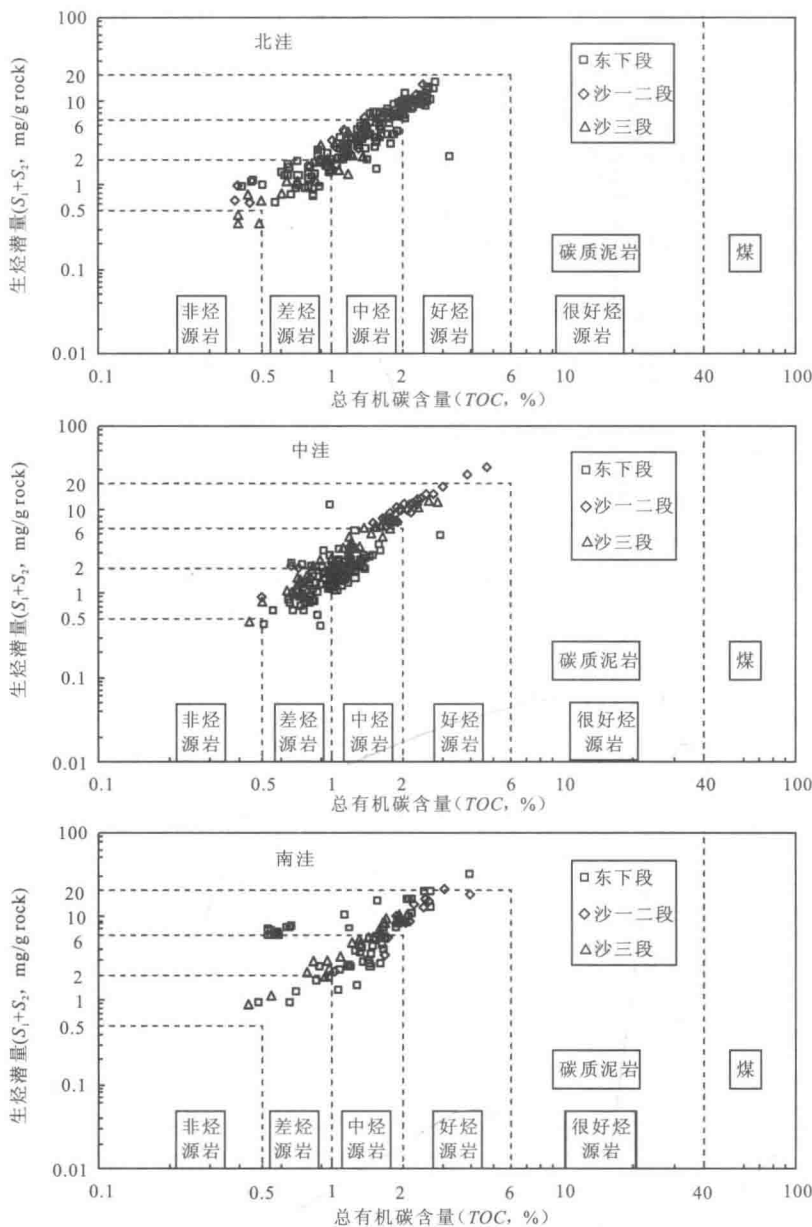


图 1-4 辽中凹陷不同洼陷烃源岩总有机碳含量与生烃潜力关系图

2. 有机质类型

干酪根元素分析结果表明,无论是层段上,还是平面上,辽中凹陷有机质类型都是Ⅱ型干酪根(Ⅱ₁和Ⅱ₂)。相对而言,沙一二段Ⅱ₁型干酪根偏多。中洼东下段Ⅱ₂型干酪根偏多(图 1-6)。

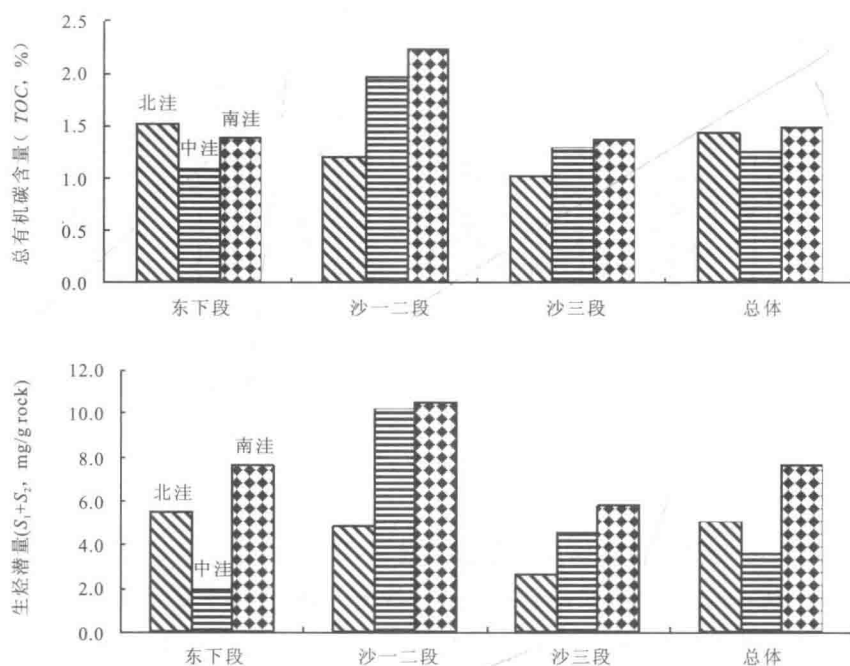


图 1-5 辽中凹陷不同洼陷烃源岩总有机碳含量和生烃潜量分布特征

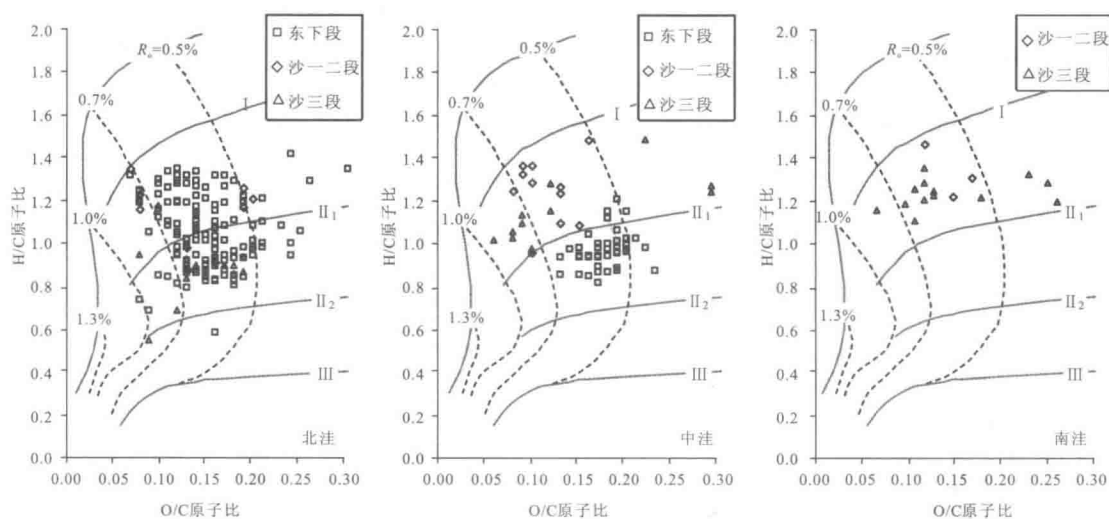


图 1-6 辽中凹陷不同洼陷干酪根元素分析类型划分图

干酪根显微组分分析结果显示,无论是层段上,还是平面上,同样是以Ⅱ型干酪根为主,除中洼外,其他地区均偏Ⅱ₁型。北洼和南洼都有一定比例Ⅰ型干酪根,中洼Ⅲ型干酪根比例增加(图 1-7)。层段上,沙一二段好于其他层段。

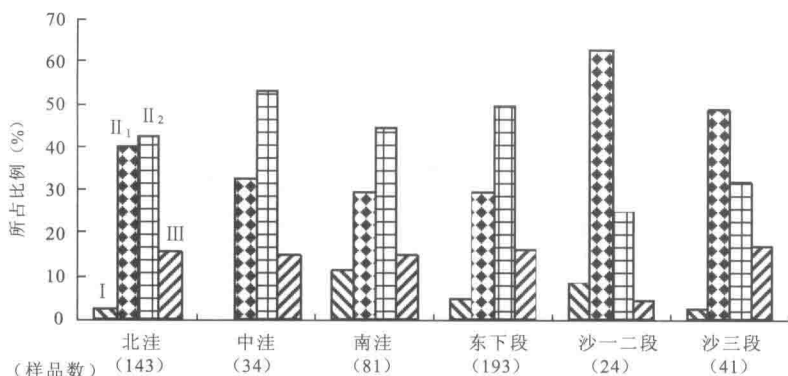


图 1-7 辽中凹陷不同注陷和不同层段干酪根显微组分类型分布图

3. 有机质成熟度

钻井揭示层段的烃源岩镜质体反射率数值显示, R_o 最大值低于 1.0%, 表明其成熟度并不高; 在中注和南注, 沙三段有机质的成熟度高于沙一二段, 更高于东三段, 北注沙三段和沙一二段较低(图 1-8)。然而, 钻井揭示的层段一般都是构造高部位, 埋深相对较浅。根据模拟结果, 各层段 R_o 平面等值线图可以清楚地反映出成熟有机质分布范围(图 1-9), 东二段有机质全区均处于未成熟阶段, 东三段只有南注很小范围内进入成熟阶段, 其他区域均处于低成熟阶段。沙一二段在北注和中注都已达到成熟阶段, 北注中心区域达到生烃高峰。沙三段成熟区域进一步扩大, 南注中心地带达到生烃高峰, 北注中心区域 R_o 值超过 1.3%, 有机质演化达到高成熟阶段。

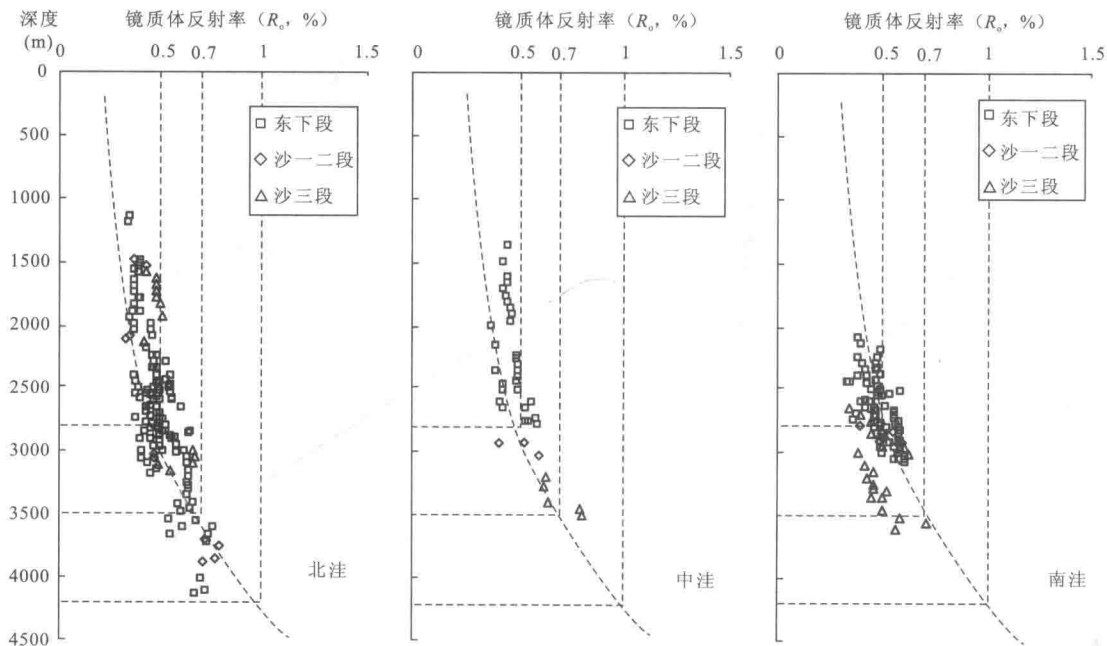


图 1-8 辽中凹陷不同注陷有机质镜质体反射率(R_o)与深度关系图

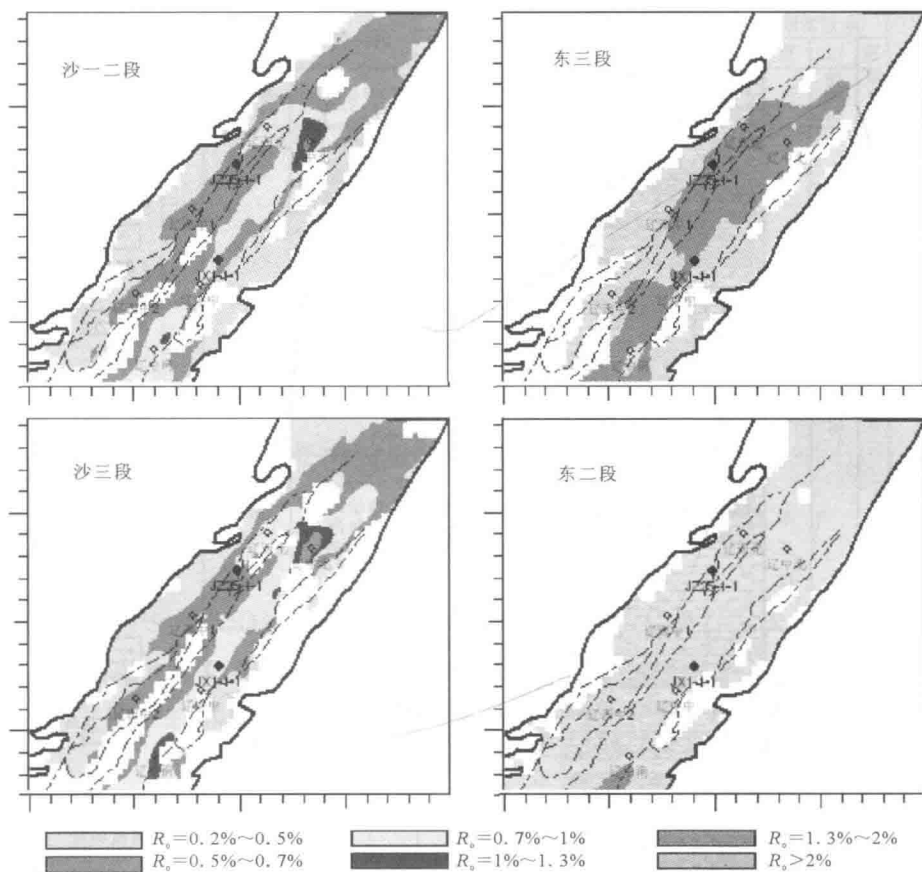


图 1-9 辽东湾地区不同层段 R_o 平面等值线图(据郭永华修改,2010 内部资料)

总之,辽中凹陷有机质丰度较高,类型好,以Ⅱ型干酪根为主,成熟度与渤中凹陷相比,总体不高。其中,东二段处于未成熟阶段,东三段处于低成熟阶段,沙一二段大部分达到成熟阶段,沙三段全部进入成熟阶段,凹陷中心部分小范围达到高成熟阶段。

第二节 辽西凹陷

辽西凹陷位于渤海湾盆地辽东湾地区的西部,呈北东-南西走向,是典型的箕状断陷,东陡西缓,西部以缓坡与燕山褶皱带接壤,东部以辽西 1 号断层为界与辽西低凸起相邻(图 1-1、图 1-2),面积约 3500km²。该凹陷为古近纪-第四纪发育的断陷,可进一步分为北部洼陷、中部洼陷和南部洼陷 3 个次级构造单元。

辽西凹陷主要发育的地层为古近系和新近系,古近系自下而上为沙河街组、东营组,新近系为馆陶组(图 1-10)。其沙河街组地层分布较广,厚度较薄,主要的岩性特征是浅灰色泥岩夹砂岩、含砾砂岩,深灰色泥岩夹油页岩、钙质页岩、灰白色砂岩和薄层灰岩、白云岩、生物灰岩,湖泊沉积体系发育;东营组三段的地层岩性主要为深灰色泥岩砂岩,沉积物类型以短源、内源沉积为主,辫状河三角洲广泛发育;馆陶组的岩性特征为厚层块状含砾砂岩夹薄层泥岩。

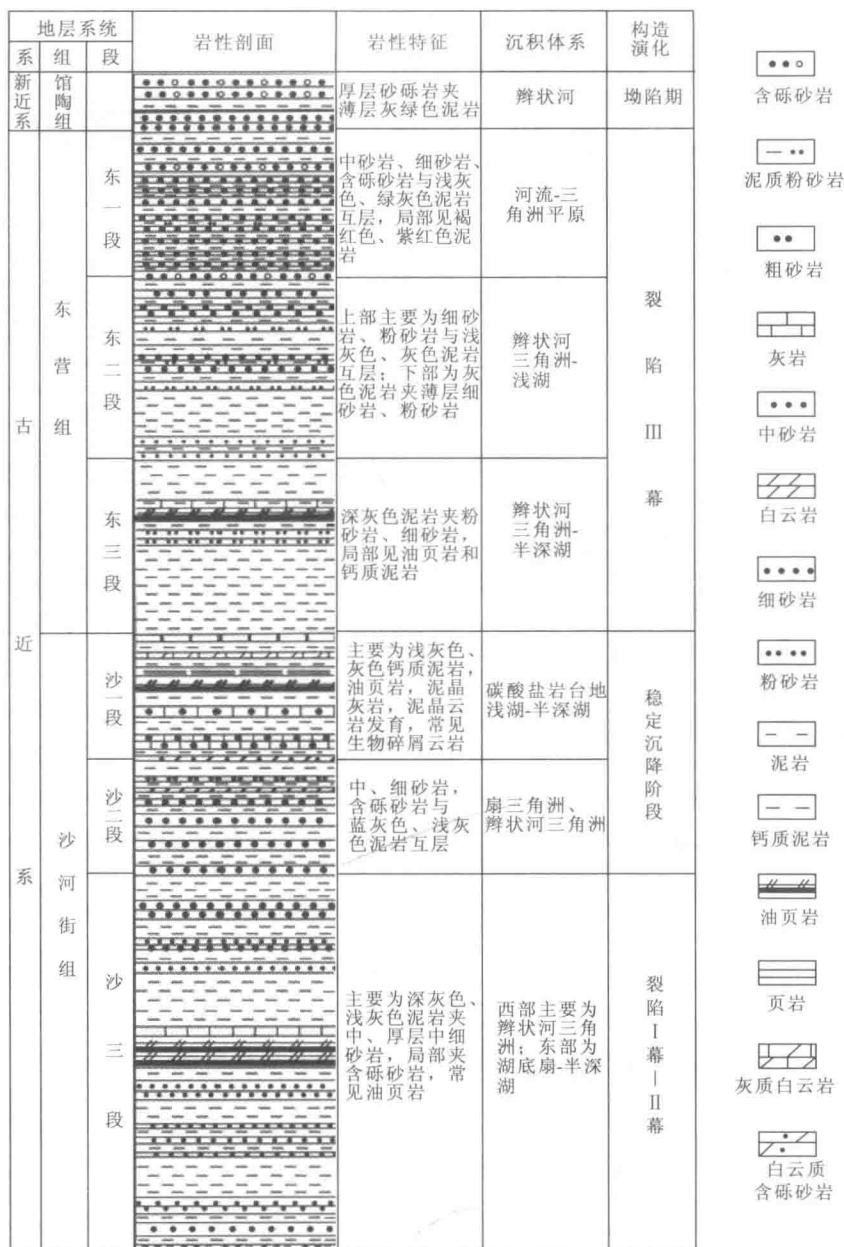


图 1-10 辽西凹陷地层特征及演化阶段(据徐长贵等,2005)

辽西凹陷同样发育了东下段、沙一二段和沙三段 3 套烃源岩。下面从有机质丰度、类型和成熟度对相关的烃源岩层段进行评价。

1. 有机质丰度

有机碳含量和生烃潜量关系(图 1-11)表明,钻遇的东下段烃源岩少部分属于好烃源岩,部分属于中等烃源岩;沙一二段烃源岩有大部分属于好烃源岩,部分属于中等烃源岩;沙三段烃源岩大部分属于中等—好的烃源岩。

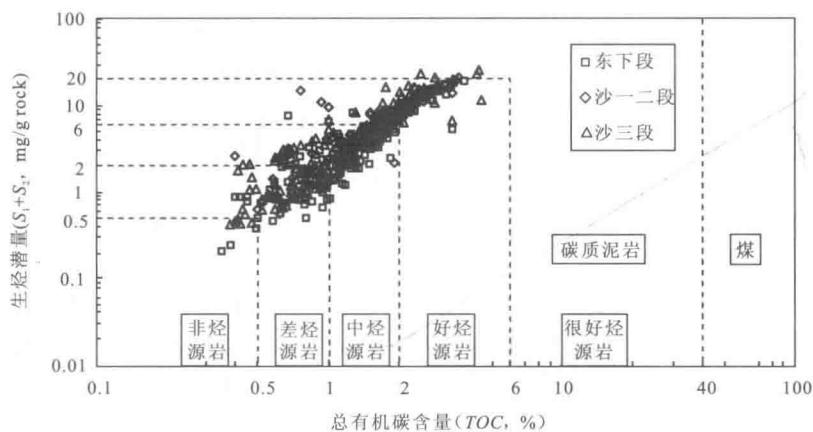


图 1-11 辽西凹陷烃源岩有机碳含量与生烃潜量关系图

2. 有机质类型

热解氢指数与 S_2 最大热解峰温度的关系图、干酪根的 H/C 与 O/C 关系图以及干酪根显微组分鉴定结果的直方图等(图 1-12)均表明:东下段有机质类型主要是 II_1 和 II_2 型;沙一二段有机质类型以 II_1 型为主,其次为 I 型和 II_2 型;沙三段有机质类型以 II_1 型为主,其次为 II_2 型。

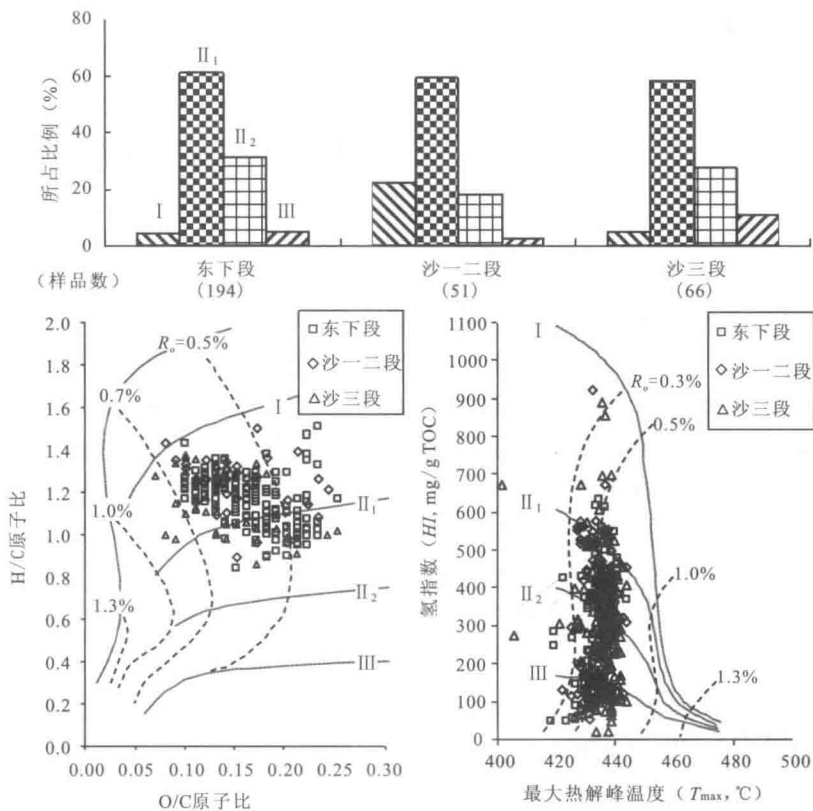


图 1-12 辽西凹陷有机质类型评价图

3. 有机质成熟度

热解氢指数与 S_2 最大热解峰温度关系图和干酪根的 H/C 与 O/C 的关系图(图 1-12)表明,东下段烃源岩基本处于未成熟—低成熟阶段,沙一二段大部分烃源岩处于低成熟阶段,沙三段烃源岩处于低成熟—成熟阶段,以低成熟阶段为主。

镜质体反射率 R_o 与深度关系图(图 1-13)表明,辽西凹陷烃源岩大部分处在未成熟—低成熟阶段,部分已达到成熟阶段,进入生烃高峰。根据 R_o 与深度回归关系计算:该凹陷 2300m($R_o=0.5\%$)进入生烃门限;3000m($R_o=0.7\%$)开始大量生烃;3600m($R_o=1.0\%$)达到生烃高峰;4100m($R_o=1.3\%$)达到高熟。

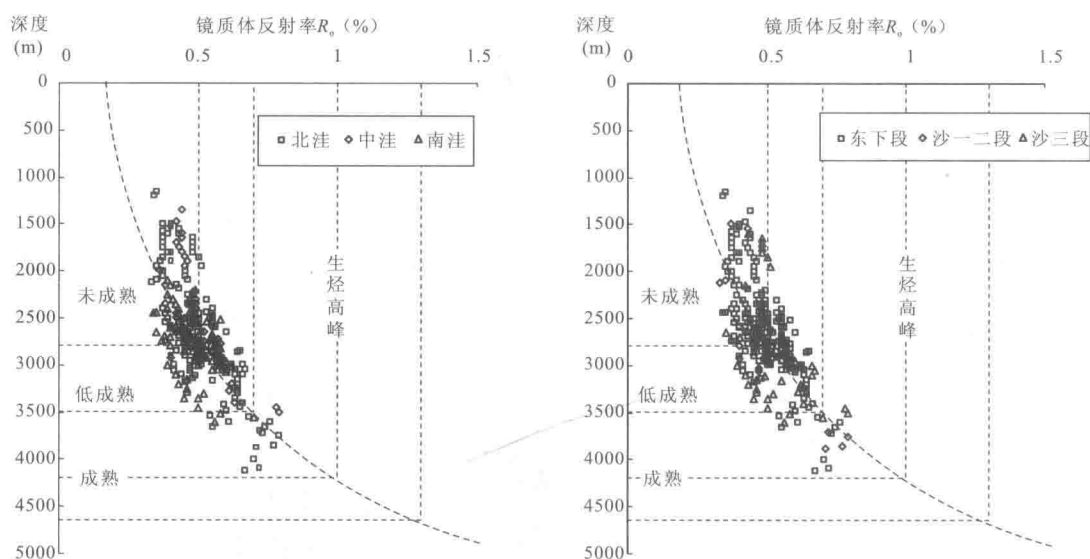


图 1-13 辽西凹陷不同洼陷和不同层段有机质镜质体反射率(R_o)与深度关系图

根据前述烃源岩特征分析,综合评价如下:东下段下部(东三下段)有机质丰度高,类型 II_1 和 II_2 型,大部分处于未成熟—低成熟阶段,但凹陷深部可能存在低成熟烃源岩;沙一二段烃源岩的上部(沙一段)有机质丰度高,类型以 II_1 型为主,其次为 I 型和 II_2 型,大部分处于低成熟阶段;沙三段烃源岩有机质丰度高,类型以 II_1 型和 II_2 型为主,有机质处于低成熟—成熟阶段,凹陷深部的烃源岩处于生烃高峰阶段,是该区的主力烃源岩。

第三节 渤中凹陷

渤中凹陷属于渤海湾盆地的二级构造单元,位于渤海湾盆地中部,是盆地沉积中心和生油气中心,同时也是渤海湾海域面积最大的凹陷,整个凹陷在平面上表现为不规则的等轴状(图 1-1、图 1-14),具有面积大、沉积厚的特点。该凹陷北以断层与石臼坨凸起相连,南向勃南低凸起超覆,东与渤东低凸起相邻,西与沙垒田凸起超覆接触,总体上表现出开阔、平缓的特

点。在新生代渤中凹陷具有裂陷盆地的发育特点,即表现出多幕裂陷、多成因盆地叠加复合的构造演化特点。多幕裂陷沉降在凹陷东部沉降最深,形成万米的沉积地层。

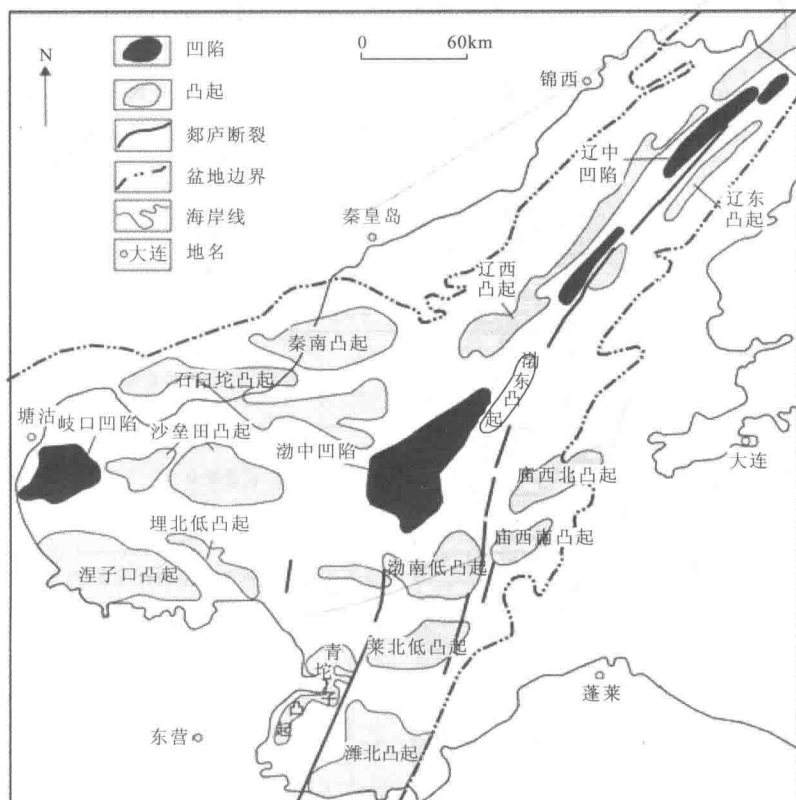


图 1-14 渤中凹陷区域位置及构造略图

(据杨永才等,2012)

渤中凹陷以前古近纪为基底,沉积盖层为新生代地层,凹陷主要发育古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组以及第四系(图 1-15)。沙三段沉积时期是古近纪断陷盆地演化深陷期,地层发育表现为深断大凹的特点,地层在全区连续分布,范围广,厚度大,凹陷内部深湖-半深湖相沉积面积大,是渤中凹陷主要烃源岩发育时期。沙二段-沙一段地层分布具有浅断广凹的特征,受沙三段沉积末期构造抬升湖水变浅影响,以滨浅湖相为主,后来再次受潮侵影响,凹陷内部广泛发育了较深的湖相沉积。东营组沉积早期受边界断层控制,水体进一步扩大,沉积了大套灰色和深灰色泥岩。主力烃源岩发育于沙三段、沙一段和东营组。

截至 2007 年底,渤中凹陷及周边已先后发现油气田 16 个,主要集中于渤中凹陷周边凸起区及凸起与深洼带之间的斜坡区。石油地质储量约 $22 \times 10^8 \text{ t}$,天然气地质储量 $928 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从储油层段上看,基岩、沙河街组、东营组、馆陶组、明化镇组等均发现工业油流,但总体上以东营组比较好。下面分别对东下段、沙一至沙二段和沙三段这 3 套烃源岩进行地球化学评价。