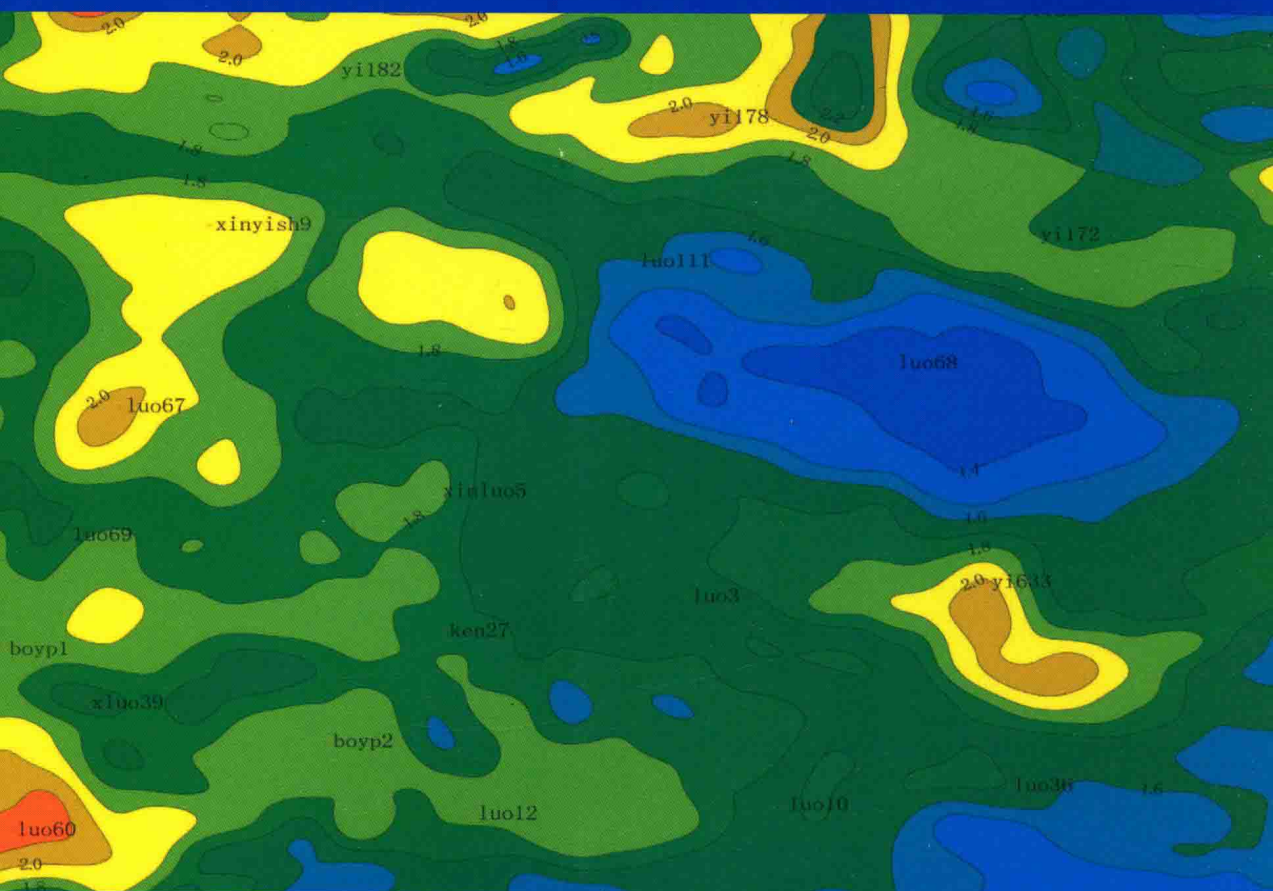


陆相断陷盆地泥页岩油气 地震预测技术

谭明友 张营革 张云银 高秋菊 等 著
潘兴祥 李红梅 王冠民



科学出版社

陆相断陷盆地泥页岩油气 地震预测技术

谭明友 张营革 张云银 高秋菊 等 著
潘兴祥 李红梅 王冠民

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书立足于我国东部陆相含油气断陷盆地独特的地质条件,以济阳拗陷为例,对泥页岩油气藏的地震预测技术进行详细的阐述。包括对济阳拗陷泥页岩的岩相特征及沉积模式、岩石物理差异性及地震响应特征,以及泥页岩非均质性的正、反演技术进行系统性研究;提出岩相预测技术、甜点预测技术、缓倾角裂缝地震预测技术、TOC 地震预测技术、脆性地震表征方法、泥页岩非均质反演方法、泥页岩延展性地震预测方法、泥页岩地应力地震预测技术等泥页岩地震预测关键技术;并利用这些技术对渤南、利津、博兴、牛庄等洼陷进行实践预测,形成了一套针对济阳拗陷泥页岩油气富集区的地震预测和综合评价方法。

本书主要供从事泥页岩油气藏勘探开发的地质工作者、地震预测技术的研究人员及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

陆相断陷盆地泥页岩油气地震预测技术 / 谭明友等著. —北京:科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-045685-4

I. ①陆… II. ①谭… III. ①陆相-断陷盆地-油页岩-地震预测-预测技术 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218628 号

责任编辑:万群霞 陈姣姣 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张: 22 1/2

字数: 515 000

定价: 178.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

自 序

随着世界经济的高速发展和世界人口的逐步增长,人类对能源的需求量屡创新高,我国已成为第一大石油进口国和第二大石油消费国,常规能源供不应求,能源危机将是当今世界人类所面临的巨大难题。因此,能源结构调整是当前社会的形势所迫,非常规能源的开发是补充现今能源缺乏的重要渠道。页岩油气是一种潜在资源量巨大的非常规油气资源,其主要是以吸附、游离或溶解状态赋存于暗色泥页岩、粉砂质泥岩地层及其夹层中的天然气,一般具有自生自储、大面积成藏、局部富集等特点,地质储量非常丰富,可以作为下一步解决能源短缺问题的重要补充资源。因此,对泥页岩油气藏的研究将是当今国内外许多油气地质工作者所关注的热点。

泥页岩是页岩油气的源泉,对泥页岩开展研究是寻找泥页岩油气藏的关键。我国以往油气勘探的对象主要为砂岩,习惯把泥页岩视为生油层和盖层来研究,把一套泥页岩作为一个整体来考虑,而将其作为储层的研究较少。一般对泥页岩油气藏的勘探主要是以“碰”为主,其发现主要是在钻探其他油气藏时的偶遇,专门针对泥页岩地球物理预测、地震识别等方面的研究非常少。另外,我国泥页岩油气藏的资源分布和发育条件与国外不相同,国外页岩油气藏勘探开发的理论和技术一般不适于我国独特的地质条件。我国东部泥页岩油气资源分布区主要以陆相为主、海相为辅,泥页岩的非均质性强,而国外泥页岩油气藏主要以海相为主,非均质性较弱。因此,他们对变化较快的湖相泥页岩研究较少涉及,且裂缝预测较多,地质规律分析较多,物探技术研究较少,特别是针对泥页岩非均质性预测的研究更少,更没有泥页岩油气藏检测的理论和应用实例。

从我国独特的地质条件出发,我们认为国外泥页岩油气藏的勘探理论技术仅可作为参考,不可照搬照抄。国内的理论技术尚未成熟,尤其在泥页岩油气藏的地震预测方面还处于起步阶段,需要开展系统的泥页岩油气藏研究工作。因此,对济阳拗陷开展的泥页岩油气富集区地震预测研究工作意义深远,不仅可以为济阳拗陷泥页岩油气藏的勘探开发指明方向,还为我国其他泥页岩油气区的勘探开发提供重要的指导。

作 者

2015年7月16日

前 言

随着能源需求量的增大和能源短缺问题的进一步加剧,油气地质工作者们面对丰富的泥页岩油气资源,逐渐把目光从常规油气勘探开发转移到非常规油气勘探开发上来。近年来,以美国页岩气大规模开发为引导,很多国家陆续加入页岩气勘探开发的行列中,掀起了全球轰轰烈烈的“页岩气绿色革命”。

在国外,最早对泥页岩油气投入工业开发的国家是美国,自 1821 年在肯特州东部阿巴拉契亚(Appalachian)盆地钻了第一口工业性页岩气井之后,长期以来,美国政府对页岩气一直高度重视,并对泥页岩的研究和勘探投入了大量资金。近二十年来,他们通过对美国几个大盆地的泥页岩进行攻关,获得了可观的页岩气资源,使美国近年来页岩气年产量在天然气总产量中所占比例大幅提高。同时,在页岩油勘探开发过程中也成绩斐然,页岩油产量连年攀升,2014 年年产量已达 2.45 亿 t。在该过程中也形成了一系列的页岩油气勘探开发理论和技术:在微孔隙成藏理论及钻井工程方面,形成了海相页岩储层系列评价技术,并成功开发了水平井压裂技术;在泥页岩评价方面,深入到了多参数的综合评价,如含烃潜力、岩石可压裂性、断层裂缝、地应力及各向异性、剪切模量、体积模量、杨氏模量、破碎压力、速度各向异性等。加拿大是继美国之后较早发现页岩气具有可观资源量的国家,通过勘探评估,加拿大的页岩气资源量不低于 $4 \times 10^{13} \text{ m}^3$,近年来也进行了一定规模的工业性开采,页岩气即将成为加拿大重要的天然气资源。此外,法国、德国、澳大利亚、英国、印度等国家也正在进行页岩气的勘探研究,且都已发现了相当规模的页岩气储量。

我国地域辽阔,矿产资源丰富,泥页岩油气资源量非常可观,但国内泥页岩油气的勘探开发依然处在起步探索阶段。我国对泥页岩油气勘探开发的热潮始于 2005 年,借鉴美国页岩气勘探的经验,油气地质工作者们开始对国内泥页岩油气的地质条件进行评价,并在勘探开发方面进行了一系列先导性试验。直至 2009 年,国土资源部油气资源战略研究中心与中国地质大学联合在西南油气田钻探了中国第一口页岩气勘探评价井——威 201 井。随后,国内很多油气地质工作者逐渐加入到泥页岩油气勘探开发的研究行列中,极大地推动了页岩油气的发展。历经几年的努力,我国对四川、鄂尔多斯、渤海湾等盆地及南方海相泥页岩油气的总体认识上升到一个崭新的高度,技术上也开始由页岩岩性和储集性评价转向利用岩石物理、测井、地震等参数对泥页岩进行综合评价和预测。目前已经在四川、重庆等地获得了突破,形成大规模的页岩气工业性开采。但在页岩油方面,如何在短

期内取得勘探开发技术上的重大突破,获得商业性开采,是我国石油工作者们面临的紧迫任务。

济阳拗陷属于中国东部渤海湾盆地内的一个次级构造单元,发育有巨厚的泥页岩,具有优越的泥页岩油气藏发育条件,勘探较为成熟,可以作为湖相泥页岩油气富集区地震预测方法研究的典型盆地。从层位上看,济阳拗陷的泥页岩主要发育在沙河街组的沙一、沙三、沙四上亚段,泥岩累计厚度为100~654m,油页岩厚度可达10~127m,分布范围广,有利泥页岩油气勘探面积达5000km², R_o 为0.35~1.20,具有形成泥页岩油气的良好地质条件。同时,济阳拗陷亦具有优越的泥页岩油气地震预测条件,沙河街组富油泥页岩脆性强,有利泥页岩段在常规测井曲线上特征明显,具有电阻率高、声波时差高、自然电位负异常明显等特征;层速度从石灰岩、灰钙质泥岩、泥岩、油泥岩到油页岩依次减小,其中裂缝段速度一般为2800~3500m/s,围岩速度一般为3200~4300m/s,具备较好的地球物理预测条件。

本书以济阳拗陷为例,详细阐述泥页岩油气的地震预测技术。全书共五章,第1章为泥页岩的岩相特征及沉积模式,介绍济阳拗陷基本地质特征、泥页岩岩相类型和控制因素;第2章为泥页岩的岩石物理差异性及地震响应特征,主要介绍泥页岩不同岩相的测井响应差异、典型岩相地震反射特征和泥页岩的地震正演模拟;第3章为基于泥页岩非均质性的正、反演技术,重点介绍横向非均质模型的建立和正演、横纵向非均质性的裂缝正演和泥页岩非均质性的反演技术;第4章为泥页岩“甜点”地球物理识别预测方法,着重介绍泥页岩的岩相地震预测技术、TOC分布的地震预测、裂缝发育区的地震表征、含油气性预测、脆性地震预测、地应力地震预测和可压性评价;第5章为泥页岩油气富集区综合评价,主要介绍泥页岩“甜点”识别模版的建立和综合评价关键技术。

本书所涉及的研究工作历时三年,是集体智慧的结晶。先后参加本项研究工作的有中国石化胜利油田分公司物探研究院(简称胜利物探院)的谭明友、张营革、张云银、高秋菊、李红梅、潘兴祥、于景强、孙淑艳、宋亮、张鹏、张秀娟、王树刚、罗平平、魏欣伟、刘建伟、陈香朋、朱定蓉、张明秀、王宗家、余红、阎丽艳、巴素玉、刘双、曲志鹏、雷蕾、刘宗彦、李晓晨、江洁、张磊、谢刚、王楠、王鸿升、师涛等,以及中国石油大学(华东)的吴国忱、王冠民、宋维琪、陈世悦等教授。编写工作由谭明友、张营革、张云银、高秋菊、王冠民、潘兴祥、李红梅、于景强、宋亮、张鹏等完成。在项目研究和书稿编写过程中,得到中国石化胜利油分公司的宋国奇首席专家、胜利物探院王兴谋院长的大力指导,在此一并致谢!

笔者水平有限,本书在许多方面存在不足,敬请读者批评指正。

作者

2015年7月

目 录

自序

前言

第 1 章 泥页岩的岩相特征及沉积模式	1
1.1 济阳拗陷地质背景及泥页岩发育层位特征	1
1.1.1 济阳拗陷地质背景	1
1.1.2 泥页岩发育层位特征	1
1.2 泥页岩的基本地质特征	2
1.2.1 泥页岩在层序中的发育位置	3
1.2.2 泥页岩的矿物成分特征	4
1.2.3 泥页岩的有机质特征	6
1.2.4 泥页岩的孔隙度特征	10
1.2.5 泥页岩的裂缝特征	10
1.2.6 泥页岩的脆性特征	14
1.3 泥页岩的岩相类型划分及分布特征	17
1.3.1 岩相类型划分及其特征	18
1.3.2 不同岩相类型的地质差异	21
1.3.3 不同岩相类型的分布特征	22
1.4 泥页岩岩相的控制因素及沉积模式	27
1.4.1 泥页岩岩相控制因素分析	27
1.4.2 泥页岩沉积模式	32
第 2 章 泥页岩的岩石物理差异性及地震响应特征	34
2.1 泥页岩不同岩相的测井响应差异	34
2.1.1 不同岩相类型的常规测井差异性	34
2.1.2 不同岩相类型的成像测井差异性	34
2.1.3 测井差异性的主控因素分析	35
2.2 单一因素下泥页岩弹性参数差异性	38
2.2.1 岩性导致的弹性参数差异	38
2.2.2 裂缝导致的弹性参数差异	40
2.2.3 TOC 导致的弹性参数差异	41
2.2.4 脆性矿物导致的弹性参数差异	42

2.3	典型岩相地震反射特征分析	44
2.3.1	典型岩相模型设计	44
2.3.2	典型岩相正演模拟	44
2.3.3	实际情况下的岩相地震响应特征	47
2.4	泥页岩 TOC 变化地震正演分析	47
2.4.1	理想情况下的泥页岩 TOC 正演模型分析	47
2.4.2	实际情况下的泥页岩 TOC 地震响应特征	52
2.5	泥页岩不同脆性矿物含量下的地震正演模拟	54
2.6	泥页岩裂缝及含油性的地震响应特征	58
2.6.1	泥页岩裂缝的地震响应特征	58
2.6.2	泥页岩含油性地震响应特征	58
2.7	泥页岩各向异性分析	61
2.7.1	基于岩相的各向异性分析	61
2.7.2	基于裂缝的各向异性振幅方位椭圆分析	62
2.7.3	基于不同流体的振幅方位椭圆分析	62
2.8	泥页岩叠前一叠后地震正演分析	63
2.8.1	典型岩相模型设计及正演	64
2.8.2	泥页岩 TOC 变化模型建立及正演	65
2.8.3	泥页岩脆性矿物含量模型及叠前一叠后正演	67
第3章	基于泥页岩非均质性的正、反演技术研究	72
3.1	基于泥页岩非均质性的正演技术研究	72
3.1.1	泥页岩非均质性正演模拟的基本流程	72
3.1.2	基于实际地震资料的横向非均质正演模拟	73
3.1.3	横纵向非均质性的裂缝正演模拟	81
3.2	基于泥页岩非均质性的反演技术研究	89
3.2.1	双相介质理论概述	89
3.2.2	泥页岩地震岩石物理模型	97
3.2.3	基于泥页岩非均质性反演技术	98
第4章	泥页岩甜点地球物理识别预测方法研究	102
4.1	泥页岩岩相地震预测技术	102
4.1.1	层控地震相波形表征法	102
4.1.2	基于沉积参数的泥页岩岩相预测	103
4.1.3	去压实波阻抗优势岩相预测方法	112
4.2	泥页岩 TOC 分布地震预测	124
4.2.1	泥页岩 TOC 的测井响应特征	124

4.2.2 单井预测 TOC 的方法与优选	124
4.2.3 泥页岩 TOC 的地震预测方法	132
4.3 裂缝发育区地震表征研究	145
4.3.1 泥页岩裂缝的测井响应特征	145
4.3.2 缓倾角裂缝叠后概率定量表征技术	149
4.3.3 基于方位杨氏模量的裂缝预测技术	158
4.4 泥页岩含油性预测	168
4.4.1 泥页岩含油层段的岩石物理特征	168
4.4.2 基于叠前弹性参数反演的泥页岩含油性预测技术	180
4.4.3 渤海地区沙三段泥页岩含油性的预测效果	184
4.5 泥页岩脆性地震预测技术	187
4.5.1 基于叠前弹性参数的泥页岩脆性表征因子	187
4.5.2 基于脆延性转换深度的泥页岩脆性预测	214
4.6 泥页岩地应力地震预测探索	236
4.6.1 地应力特征及影响因素分析	236
4.6.2 地应力的计算方法概述	248
4.6.3 地应力场地震预测	249
4.7 泥页岩可压性评价方法研究	266
4.7.1 破裂脆性特征	266
4.7.2 破裂脆性表征方法	266
4.7.3 优选表征因子	268
4.7.4 泥页岩破裂脆性预测	271
4.8 泥页岩延展性评价方法研究	275
4.8.1 地层延展性地震岩石物理参数定量表征	276
4.8.2 地层延展性地震反演预测方法	281
4.8.3 地层延展性预测效果分析	291
第 5 章 泥页岩油气富集区综合评价研究	293
5.1 泥页岩甜点识别量版的建立	293
5.1.1 甜点的含义及分类标准	293
5.1.2 典型区块泥页岩甜点解剖	293
5.1.3 济阳拗陷泥页岩甜点识别量版的建立	311
5.2 泥页岩甜点地震综合评价技术流程	315
5.3 泥页岩甜点综合评价关键技术	319
5.3.1 泥页岩甜点测井定量识别评价	319
5.3.2 泥页岩甜点地质要素综合评价	325

5.3.3	泥页岩甜点叠后属性井震融合评价	330
5.3.4	泥页岩甜点的叠前属性融合评价	336
5.4	泥页岩典型油气富集区综合评价	339
5.4.1	渤南洼陷沙三下亚段	340
5.4.2	东营凹陷沙四纯上亚段	341
结束语		343
主要参考文献		344

第 1 章 泥页岩的岩相特征及沉积模式

济阳拗陷属于渤海湾盆地内的次级构造单元,泥页岩主要发育于古近系的沙河街组,岩相类型可以划分为五种,即块状灰质泥岩、块状泥质灰岩、纹层状灰质泥岩、纹层状泥质灰岩和层状页岩。泥页岩岩相主要受古气候、古物源、古地形、古水深和古盐度等因素的共同作用,不同控制因素条件下形成不同的泥页岩沉积模式,进而发育不同的泥页岩岩相。

1.1 济阳拗陷地质背景及泥页岩发育层位特征

济阳拗陷是一个发育于中生代—新生代的箕状断陷型盆地,泥页岩具有层系多、分布广、有机质含量高、油气丰富等特点,曾属于国内仅次于大庆油田的第二大油气产区。

1.1.1 济阳拗陷地质背景

济阳拗陷位于我国东部渤海湾盆地东南,分布面积为 26000km^2 ,包括了东营、沾化、车镇、惠民四个以北断南超为特征的单断式箕状凹陷(图 1.1)。

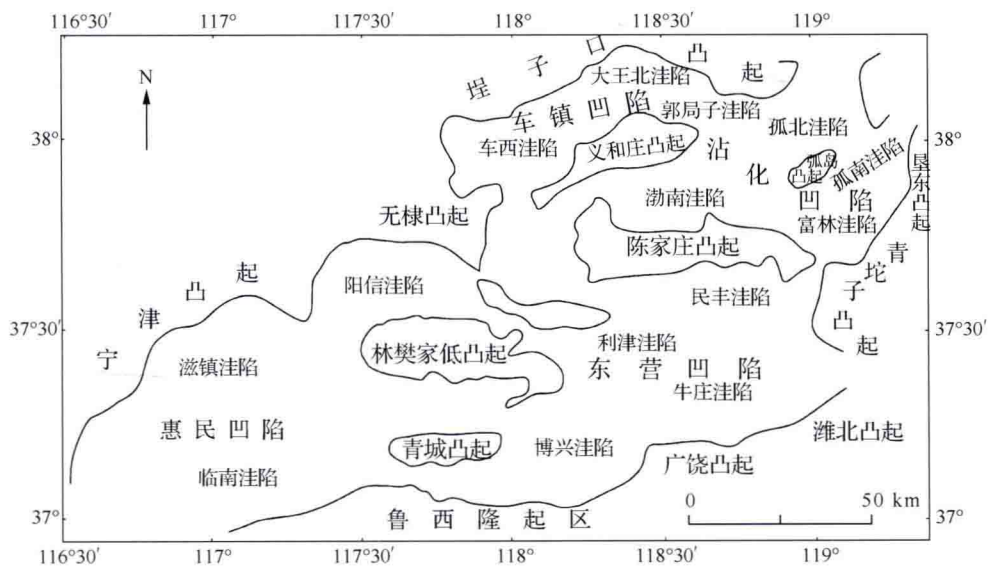


图 1.1 济阳拗陷构造单元分布图

1.1.2 泥页岩发育层位特征

济阳拗陷发育巨厚的古近系和新近系地层。古近系地层序列包括孔店组、沙河街组、

东营组,是盆地最主要的勘探层系,其中泥页岩层段主要发育在古近系的沙河街组中。

沙河街组沙四段(E_{s4})与下伏孔店组(E_k)呈不整合接触,厚度可达 1500m,按岩性和生物特征可分为上下两个亚段。下亚段岩性以紫红色、灰绿色泥岩为主,夹砂岩、粉砂岩、含砾砂岩及薄层碳酸盐岩和膏岩等,沉积环境为河流-盐湖相。上亚段岩性以灰色、深灰色、褐灰色泥岩为主,夹灰岩、砂岩、膏岩和油页岩,属于咸水半深-深湖相沉积。

沙三段(E_{s3})假整合于 E_{s4} 之上,岩性主要为灰色、深灰色泥岩夹砂岩、油页岩及碳质泥岩,该段厚 700~1500m,可进一步分为三个亚段。下亚段为深灰色泥岩、褐色油页岩,夹少量薄层灰色灰岩、砂岩、白云岩和浊积砂岩,厚度一般为 100~750m,属于半深湖-深湖相沉积。中亚段以灰色及深灰色厚层泥岩、砂岩、粉砂岩为主,夹多期浊积砂岩或薄层碳酸盐岩,厚度一般为 300~600m,为半深湖-浊流沉积。上亚段为厚层块状砂岩、含砾砂岩及粉砂岩和灰绿色泥岩夹薄层白云岩、碳质页岩,厚度一般为 100~550m,为河流-三角洲-滨浅湖沉积。

沙二段(E_{s2})的湖盆处于萎缩阶段,盆地逐渐缩小,湖水变浅,充填了以紫红色泥岩夹砂岩、含砾砂岩为主的河流-三角洲沉积。下亚段岩性为绿色和灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩互层,夹碳质泥岩,上半部见少量紫红色泥岩,沉积环境为河流-三角洲-滨浅湖;沙二段上亚段岩性为灰绿色、紫红色泥岩与灰色砂岩互层,夹钙质砂岩、含砾砂岩及含砾砂岩,属于滨浅湖-河流相沉积。

沙一段(E_{s1})与沙二段呈连续沉积,厚 100~550m,分布广泛,下部岩性为灰色、深灰色、灰绿色泥岩,页岩夹砂质灰岩,白云岩及钙质砂岩;中部为灰色、深灰色泥岩夹生物灰岩,鲕状灰岩,针孔状藻白云岩及白云岩等;上部为灰色、灰绿色、灰褐色泥岩,页岩夹钙质砂岩,粉细砂岩,属于咸水-半咸水半深湖-浅湖相沉积环境。

渐新世末期的东营运动二幕使包括研究区在内的整个渤海湾盆地抬升,形成大范围的沉积间断,导致了古近系与新近系之间的区域不整合面的形成。

济阳拗陷在整个渐新世沉积期,湖泊的沉积环境不断发生改变。在气候条件上既有温暖潮湿的时期,也经历过相对干热的气候变化;盐度上既有高盐度条件下的盐类沉积,也有淡水条件下的湖相沉积;有近物源的湖相泥质快速沉积,也有远物源的湖相泥质缓慢沉积;有深水条件下的泥质沉积,也有浅水条件下的泥质、泥云质沉积。

总的来说,泥页岩主要发育于古气候相对干燥、水体偏咸、远离物源的深水条件下,层位上一般为沙四上亚段—沙三下亚段、沙一段。

1.2 泥页岩的基本地质特征

泥页岩的矿物成分、有机质类型及含量、孔隙度、裂缝、脆性及在层序中的发育位置都影响着油气藏的发育,因此,弄清泥页岩的基本地质特征具有重要的意义。

本书中的泥页岩并不仅仅是以黏土沉积为主,包含了灰质、白云质和粉砂质等成分,故准确含义应该是细粒沉积岩。但为了叙述的方便,全书仍暂用泥页岩一词来代替。

1.2.1 泥页岩在层序中的发育位置

济阳拗陷沙河街组—东营组的层序地层划分基本上比较统一,大体上可划分为沙四段、沙三下亚段、沙三中亚段、沙三上亚段—沙二下亚段、沙二上亚段—沙一段、东三段、东二段—东一段共七个三级层序(图 1.2)。泥页岩的发育与层序有明显的对应关系。其中,渤南洼陷沙三下亚段层序可分为 10、11、12、13 层组(图 1.3),泥页岩的发育与层序有明显的对应关系:富有机质的泥页岩主要出现在湖侵域时期,此阶段古气候相对温暖潮湿,水体变深,碎屑物质供应不足,有利于深湖-半深湖相的泥页岩发育。

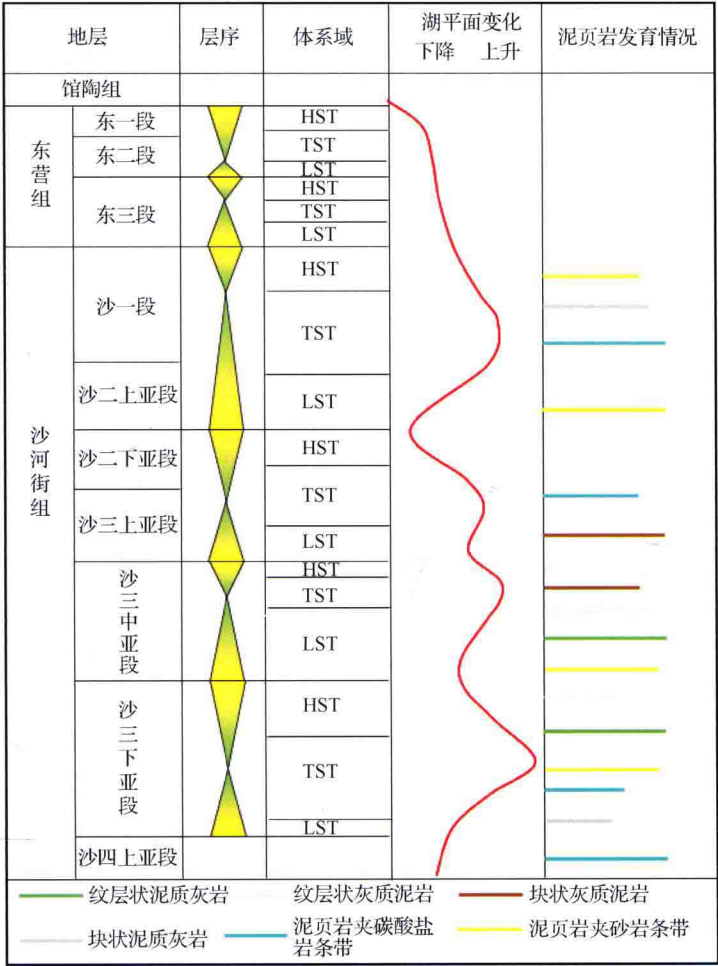


图 1.2 渤南洼陷层序划分及湖盆演化模式图

HST. 高水位体系域;TST. 湖侵体系域;LST. 低水位体系域

沙三段底至 12 层组形成于基准面旋回从上升拐点至最高点时期,可容空间迅速增加,属于快速加深的深水湖型,主要发育纹层状泥页岩,洼陷带发育泥页岩夹砂岩条带,仅底部发育少量块状泥页岩;11 层组至 10 层组形成于基准面旋回从最高点下降至下降拐

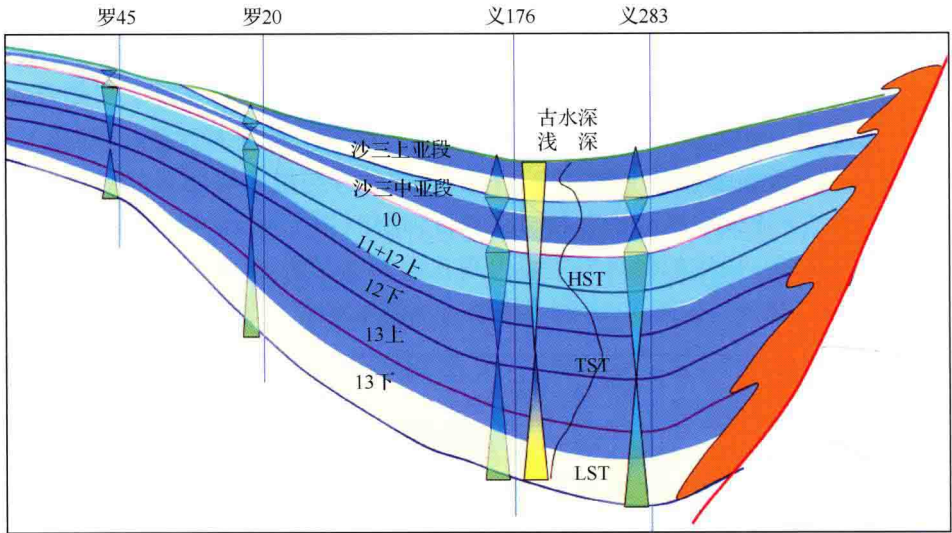


图 1.3 渤南洼陷沙三段近南北向剖面层序划分方案

点时期,表现为进积地层结构,纹层状灰质泥岩、块状泥页岩、泥页岩夹砂岩条带和泥页岩夹碳酸盐岩条带;沙三段中上时期,层序构型特征为古水深逐渐减小深-浅水湖型,碎屑物质供应增加,洼陷带泥页岩夹砂岩条带广泛发育,斜坡带以发育块状泥页岩为主。沙二段时期,水体相对较浅,碎屑物质充沛,主要发育砂砾岩、砂岩。沙一段沉积时期,渤南洼陷又处于断陷湖盆发育的鼎盛阶段,沉积基准面不断上升,水体缓慢加深,沙一段底界为薄层白云岩、灰岩或灰色生物灰岩;这些碳酸盐岩的自然电位曲线较平直,底部可见不规则的低幅鼓包负异常,视电阻率曲线由上往下逐步抬高,俗称“步步高”电阻,底部电阻为高阻尖峰的“剪刀电阻”,该层序底界就对应于“剪刀电阻”的最高峰处。该层序以上半旋回为主,下降半旋回不太发育。沙一段底部岩性为薄—中厚层灰黄色白云岩、灰色灰岩、生物灰岩与油页岩互层,向上过渡为深灰色泥岩与深灰色、褐灰色泥岩互层(图 1.3)。

1.2.2 泥页岩的矿物成分特征

泥页岩的类型较多,但不同岩相主要表现在矿物成分含量的变化上。方解石(白云石)、黏土矿物及粉砂质的石英和长石等的陆源碎屑是泥页岩的主要矿物成分,此外,还含有少量的黄铁矿(图 1.4、表 1.1)。

表 1.1 部分取心井泥页岩主要矿物含量 (单位:%)

井	黏土矿物	石英	方解石	白云石	钾长石	斜长石	黄铁矿	菱铁矿
罗 67	17.01	17.85	52.81	6.03	1.2	1.26	3.83	
罗 69	18.16	18.01	52.37	4.85	1.12	1.42	3.82	0.22
新义深 9	18.01	22.02	46.85	5.09	1.63	2.01	4.02	

在渤南洼陷沙三段泥页岩中,方解石含量普遍较高,平均含量在 62.83%,最高可达 93%,白云石平均含量为 6.31%,最高为 18%。方解石常以泥晶状纹层或透镜体存在,也会

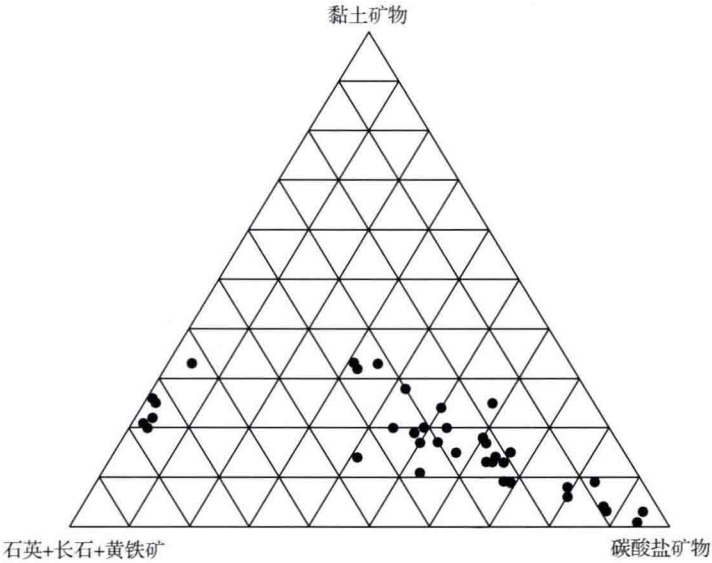


图 1.4 部分泥页岩全岩矿物成分的三端元图

与黏土矿物、有机质均匀混杂，部分层段会出现方解石的重结晶。白云石大多呈微小的自形晶体，且大多存在于黏土层内，或两层层间，白云石晶间孔也可作为储集空间(图 1.5)。

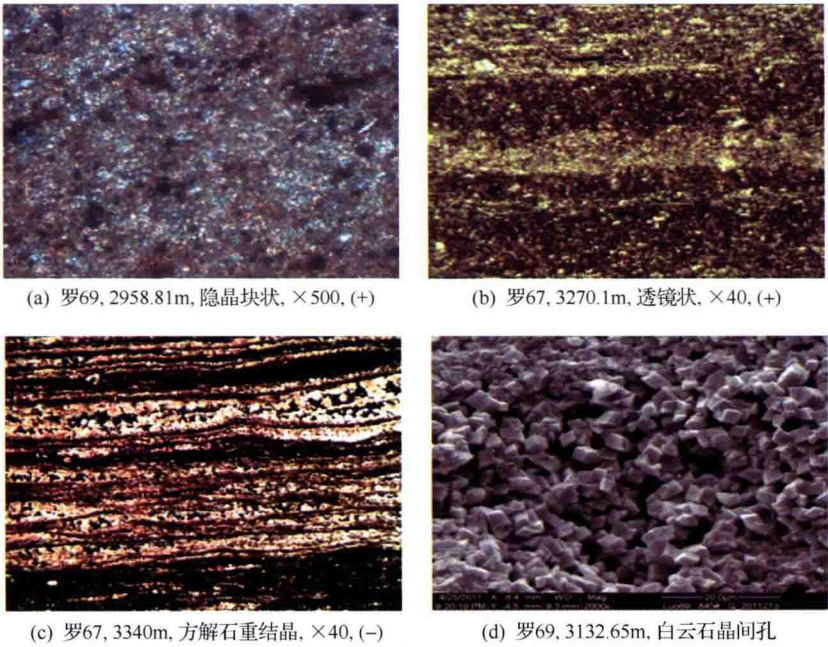


图 1.5 泥页岩碳酸盐矿物赋存状态

碎屑矿物主要是石英和长石，分析测试数据表明，石英为主要碎屑矿物，一般含量在 17%~20%，部分层段的值稍高，在 30%~40%，但该类层段不多。石英颗粒粒径大多在 0.01~0.1mm，磨圆度变化较大，有的磨圆较好，有的磨圆较差，棱角明显。其中长石含

量较少,主要为钾长石和斜长石。

黏土矿物以伊利石和伊利石/蒙脱石(简称伊/蒙)混层为主,高岭石和绿泥石含量相对较少。其中罗 67 井沙三段伊利石、伊/蒙混层、高岭石含量平均为 48.1%、45%、5.69%,绿泥石含量仅为 2.44%;罗 69 井以伊/蒙混层为主,含量平均为 61.48%,其次为伊利石,含量平均为 29.79%,高岭石和绿泥石含量仅为 6.18%、2.92%;新义深 9 井沙三段伊/蒙混层、伊利石平均含量为 55.92%、41.92%,高岭石和绿泥石含量分别为 1%、1.17%(图 1.6)。

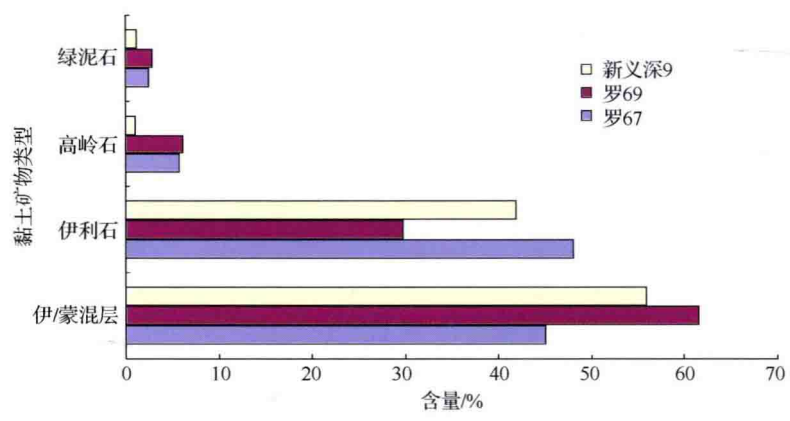


图 1.6 部分取心井泥页岩黏土矿物含量条形图

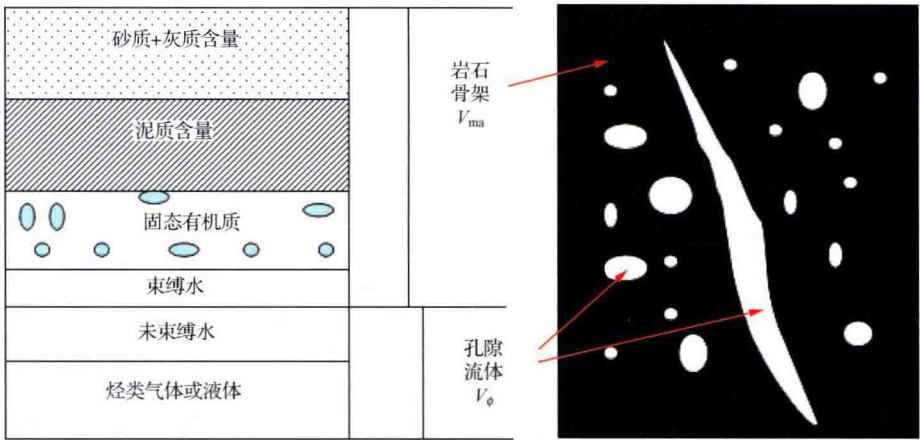
1.2.3 泥页岩的有机质特征

总有机碳含量(TOC)不仅是泥页岩重要的组分类型之一,更重要的是,由于泥页岩的油气属于自生自储,TOC 类型和成熟度的不同,决定了泥页岩含油气性的差异。

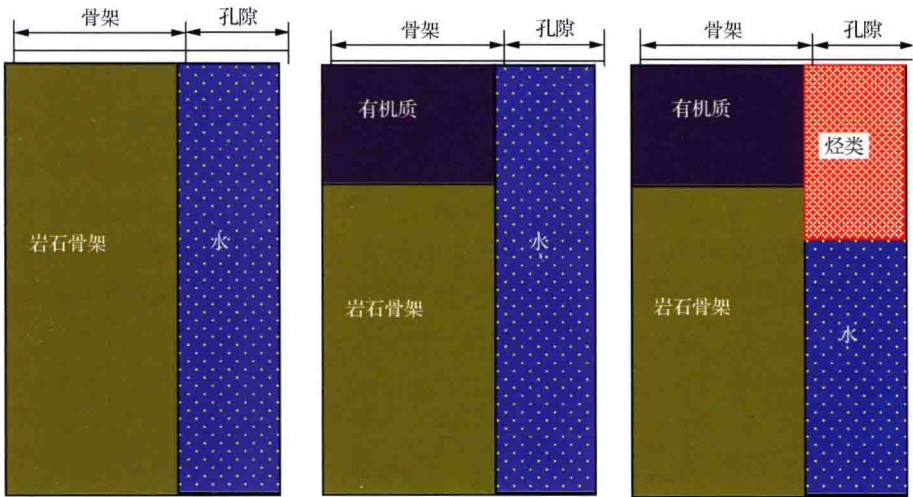
泥页岩岩石成分由岩石骨架和孔隙流体组成。其中灰质、砂质和泥质含量占岩石骨架的主体,约在 80%以上,其余部分为固态有机质和束缚水[图 1.7(a)]。根据有机质含量的多少及岩石内是否已经生烃两个条件,可将泥页岩划分为三种类型[图 1.7(b)]:①不含有机质泥页岩,即岩石本身不含有机质,不具备生烃能力;②含有机质、不含烃泥页岩,岩石含有机质,但还没有达到生烃门限或不含烃;③含有机质含烃泥页岩,即岩石成分中含有机质并且已经有烃类生成。

渤南地区沙三段 TOC 分布为 2%~8%,主体为 2%~4%(图 1.8),南部斜坡带 13~12 层组 TOC 增高;北部洼陷带 13~12 层组 TOC 总体变化不大,集中在 2%~2.5%(图 1.9)。

TOC 是反映干酪根含量最直观、最有效的指标,氯仿沥青“A”含量和热解烃量(S_1)是直接反映泥页岩含油量的地化指标。当烃源岩埋藏较浅、成熟度较低时, S_1 随 TOC 的增大呈线性关系增加。当烃源岩埋藏较深、成熟度较高时, S_1 随 TOC 的增大表现出明显的三段性特征(图 1.10):当 TOC 较高(大于 2.4%)时, S_1 为相对稳定的高值;当 TOC 较低(小于 0.75%)时, S_1 保持稳定低值;当 TOC 为 0.75%~2.4%时, S_1 呈现明显的上升



(a) 泥页岩岩石成分示意图



(b) 泥页岩有机质及烃类组分示意图

图 1.7 泥页岩岩石组分类型

V_{ma} · 岩石骨架体积; V_{ϕ} · 孔隙流体体积

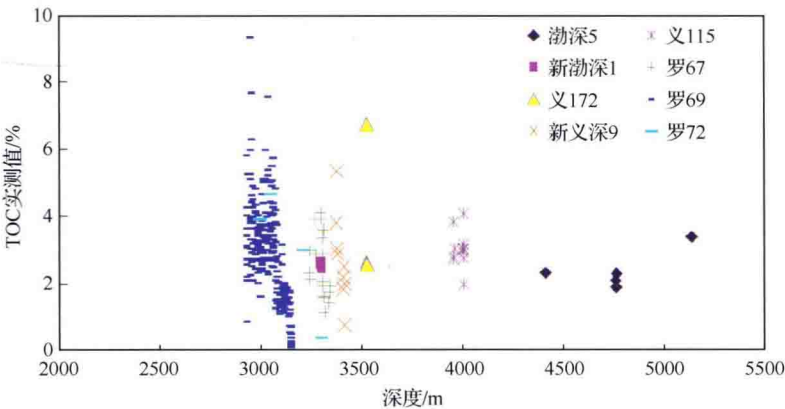


图 1.8 渤南地区 TOC 与深度关系图