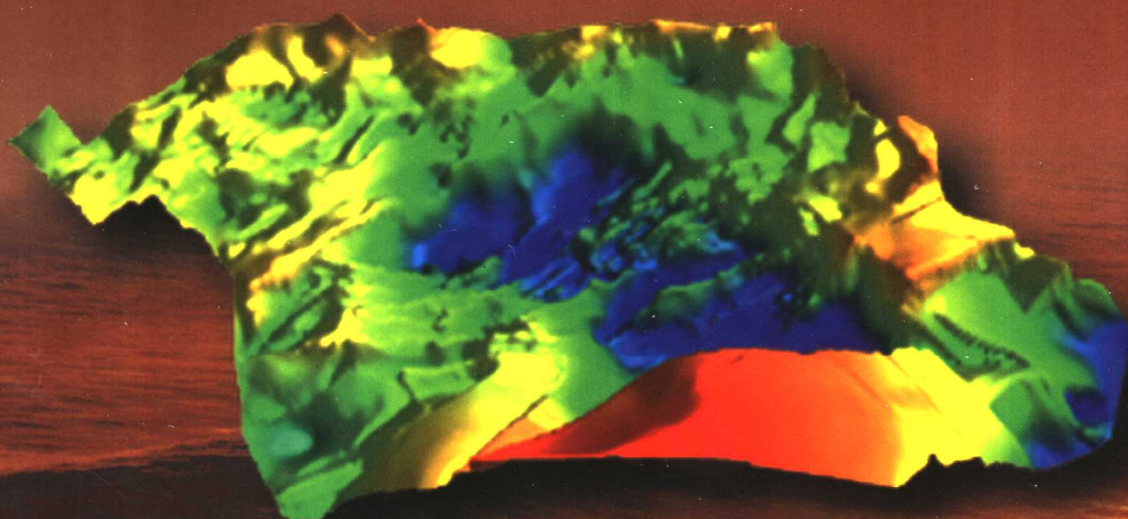


断陷盆地精细勘探

——渤海湾盆地南堡凹陷精细勘探实践与认识

周海民 董月霞 谢占安 廖保方 周凤鸣 编著



8.130.8
4

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书以渤海湾盆地南堡凹陷近八年的精细勘探实践为例,阐述了在东部成熟探区精细实施二次三维地震、重新认识老区勘探开发潜力、开展油田地质再认识等的具体做法与效果,展示了在断陷盆地成熟探区开展精细勘探的巨大潜力。

该书适合于从事油气地质研究的科技人员使用,也可作为相关高等院校和科研院所的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

断陷盆地精细勘探:渤海湾盆地南堡凹陷精细勘探实践与认识/周海民等编著. —北京:石油工业出版社, 2004. 5

ISBN 7-5021-4631-8

I. 断…

II. 周…

III. 渤海湾—断陷盆地—地质勘探

IV. P562

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 034043 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

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 9.75

字数: 240 千字 印数: 1—600 册

书号: ISBN 7-5021-4631-8/TE·3246

定价: 80.00 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

油气勘探是一项极其富有挑战性的事业。任何一个勘探家无不希望自己拥有一个可以纵横驰骋、大显身手的广阔领域和空间。然而，当客观条件限定了勘探开发活动范围，特别是在勘探开发程度越来越高、勘探开发难度越来越大的情况下，勘探工作是否还可以有所作为？这对勘探家来讲无疑是一个严峻的挑战。

冀东油田是渤海湾探区的一个小油田，陆上勘探面积只有 570km^2 。经过 30 多年的勘探开发，主体构造带上不仅全部完成了三维地震勘探，而且已经发现的油田都投入了开发。在这种情况下，勘探工作还能否有所作为？冀东油田近八年来二次创业、精细勘探的实践向我们提供了一个明确的答案：立足富油气凹陷，只要开拓思路、解放思想、转变观念，采取进攻性措施精雕细刻做工作，小探区、老探区同样可以做出勘探大文章。

就是在 570km^2 范围内而且经过 30 多年勘探开发的这样一个老探区，通过近几年精细勘探，冀东油田勘探开发已经呈现出崭新的气象，优质储量快速增长，资源接替实现了良性循环。高柳地区通过二次三维地震和少量探井、评价井，新增探明、控制和预测三级储量达 $2 \times 10^8\text{t}$ ，一批新的地层岩性油气藏不断被发现，这些正在成为渤海湾盆地勘探史上的一个奇迹。以此为基础，原油产量从 1995 年的 $50 \times 10^4\text{t}$ 上升到了 2003 年的 $70 \times 10^4\text{t}$ ，石油储采比从 1995 年的 8.22 上升到了 2003 年的 10.9，已经奠定了 2005 年原油年产量突破 $100 \times 10^4\text{t}$ 并持续稳定增长的资源基础。

也许， $100 \times 10^4\text{t}$ 原油产量对于中国石油来讲算不了什么，但冀东油田精细勘探的成功实践体现了一种积极进取、迎难而上的精神状态，凝聚了一种脚踏实地精雕细刻的工作作风，代表了类似渤海湾陆上这些相对高勘探程度区深化勘探的发展方向。他们的实践充分说明，老探区勘探开发仍然有很大的潜力，仍然有着做不完的大文章，关键在我们的工作思路、技术方法和组织管理。

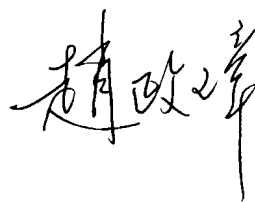
认真分析和总结冀东油田精细勘探的成功实践，不难看出他们的精细勘探集中体现在六个方面：精细实施二次三维地震勘探、精细开展区域地质研究、精细开展油田地质研究、精细选择钻探井方式、精细测井解释技术攻关、精细组织和现场管理。他们的这些成功做法对于东部老探区乃至全国勘探开发工作都有重要的指导意义。

该书的著者是冀东油田精细勘探的实践者，也是开展精细勘探工作的组

QA744/06

织者。书中紧紧围绕精细勘探主题系统总结了近几年他们的具体做法，整部著作有思想、有认识、有理论、有创新、有特点，是一部理论与实际紧密结合、物探与地质紧密结合的上等佳作，很值得一读。

从书中可以看到他们身上涌动着的一种精神，这是一种敢于面对困难、顽强拼搏、开拓进取、勇于创新、脚踏实地、执著追求的精神。正是凭着这种精神，他们在有限的条件下闯出了一条在成熟探区开展精细勘探的成功之路。这种精神也正是一个优秀的油气勘探工作者必备的基本素质。



2004年4月

前言

渤海湾盆地是我国油气资源最为丰富的含油气盆地之一,经过30多年大规模的油气勘探,目前已进入一个比较艰难的勘探阶段。尤其是断陷盆地复式油气聚集带的地质特点,使成熟探区油气勘探工作既面临着挑战,又蕴藏着巨大的潜力。

中国石油冀东油田分公司在有效勘探面积仅有2000km²的条件下,立足于成熟探区新层系、新类型,依靠勘探开发一体化组织管理模式,凭借先进的石油地质勘探理论,利用适用的勘探技术手段,在成熟探区复杂断块油田的勘探实践中成功地摸索出了一条精细勘探的道路,为老探区深化勘探开辟了新途径。

20世纪90年代初期,冀东油田的勘探工作面临着生存与发展的严重危机。1992—1995年期间,勘探连续4年没有大的发现。4年间共钻探井52口,除个别探井在已发现油藏周边钻遇油层外,大部分外甩探井均落空;1995年底,开发评价认为油田只有 134×10^4 t可安排动用的探明地质储量。对于一个年产量 50×10^4 t的小油田来说,勘探潜力与方向不明朗,开发可动用储量严重不足,油田的勘探开发到了举步维艰的地步。

90年代后期,面对有效勘探面积小、勘探领域少、勘探对象复杂的严峻形势,立足重新认识老区勘探开发潜力,坚持走精细勘探的道路,积极开展二次创业,在储量年年大幅度增长的同时,原油产量从1995年的 50×10^4 t上升到2003年的 70×10^4 t,并确立了2005年产量突破 100×10^4 t的工作目标。

为此中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司在2003年7月于杭州召开了隐蔽油气藏精细勘探研讨会,对冀东油田精细勘探的主要做法给予了肯定。本书的完成也是在这次会议材料的基础上,经过编者认真的总结与再次修订后完成的。旨在能让更多的同行了解我们的做法,达到相互交流、相互借鉴的目的。

本书共分五章。第一章为冀东油田的基本地质情况,第二章至第五章为冀东油田在精细勘探方面的具体做法、实例与效果。其中第二章系统介绍了二次三维地震实施的起因、难点分析与技术对策;第三章详细论述了在二次三维地震的基础上,如何面对众多的勘探开发资料在成熟探区开展区域地质研究,特别是断陷盆地层序地层学的研究与应用,重新认识老区勘探开发潜力;第四章重点论述了在成熟探区开展精细油田地质研究、勘探开发一体化重新认识油藏特征、深挖老油田潜力的具体做法与实施效果;第五章主要介

绍了冀东油田以低阻油层成因机理研究为突破口，开展测井精细解释技术攻关，重新认识油、气、水层的成功做法。本书寓具体做法于勘探实例之中，相信对类似探区的勘探工作有借鉴作用。

本书总的写作提纲由周海民编纂，第一章、第三章由董月霞执笔，第二章由谢占安执笔，第四章由廖保方执笔，第五章由周凤鸣执笔，全书由周海民统稿完成。需要指出的是，本书是在冀东油田广大勘探开发工程技术人员近八年来实施二次创业、开展精细勘探实践取得的大量勘探成果的基础上，在中国地质大学、东方地球物理勘探公司等单位的科研合作中，在中国石油天然气股份有限公司、中国石油勘探与生产分公司有关领导的正确指导与关注下完成，在此谨向他们表示诚挚的谢意。同时，在本书的后期制作中，也得到了冀东油田勘探开发研究院麻翠杰、陈蕾、张梅等同志的协助，在此一并表示感谢。

著 者

2004 年 4 月

目 录

第一章 南堡凹陷基本地质特征	(1)
第一节 构造特征.....	(1)
第二节 沉积地层.....	(4)
第三节 石油地质特征.....	(6)
第二章 精细实施二次三维地震勘探	(10)
第一节 三维地震资料品质分析	(11)
第二节 二次三维地震技术方案论证	(13)
第三节 二次三维地震精细处理技术	(40)
第四节 二次三维地震勘探体会	(49)
第五节 二次三维地震资料的变化与实例	(50)
第三章 开展区域地质研究 重新认识勘探开发潜力	(56)
第一节 在层序地层学理论指导下开展连片构造解释 重新认识构造格局	(57)
第二节 开展高精度层序地层学研究 深化高柳地区地质认识	(64)
第四章 精细开展油田地质研究 重新认识油藏特征	(93)
第一节 精细油田地质研究的效果与基本做法	(93)
第二节 以地层层序和构造特征研究为重点的中深层、深层油藏的精细研究	(96)
第三节 以构造精细解释、油水层认识和细分层系论证为重点的浅层多油层油藏的 精细研究——以 L102 区块为例	(107)
第四节 以储层精细描述和剩余油分布研究为重点的浅层高含水油藏的精细研究 ——以 G104-5 区块为例	(114)
第五章 测井精细解释评价技术	(121)
第一节 测井工程设计优化方法.....	(121)
第二节 低阻油气层综合识别与评价技术.....	(123)
第三节 老井油水层再评价技术思路与方法.....	(136)
第四节 实例与分析.....	(143)
参考文献	(148)

第一章 南堡凹陷基本地质特征

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部，面积 1932km²。它是在华北地台基底上，经中、新生代的块断运动而发育起来的一个中、新生界北断南超的箕状凹陷，凹陷北部以西南庄断层为界，与老王庄凸起相隔；东部以柏各庄断裂为界与柏各庄凸起、马头营凸起相连，南与沙垒田凸起呈断超式接触，西以涧东断层与北塘凹陷相邻（图 1-1）。

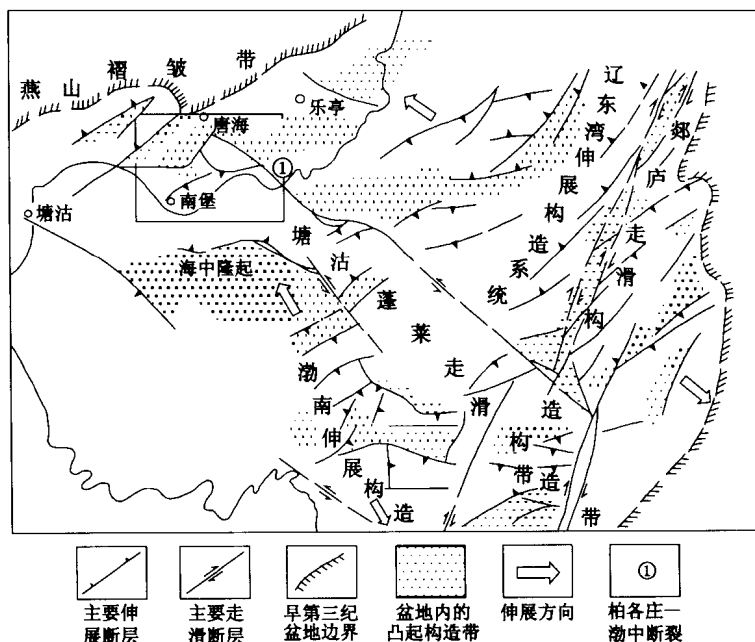


图 1-1 南堡凹陷区域构造位置图

第一节 构造特征

南堡凹陷内断层十分发育，除边界断层外，断层以北东和北东东向为主，以张性正断层占优势，有部分张扭性断层。在平面和剖面上，不同级别、性质和形式的断层有规律地分布。

依据断层对构造单元的控制作用，盆地发育过程中断层发育的先后次序和成因联系以及断层的规模，将本区的断层划分为二级、三级和四级断层。二级断层为控制凹陷发育的边界断层，包括北东东向的西南庄断层、北西向的柏各庄断层等，控制下第三系沉积；三级断层是盆地发育过程中形成的调节断层，包括高柳断层、庙南断层、老堡断层等，对二级构造带的形成和发展起控制作用。四级断层主要是在高级别断层的构成中局部的应力调整形成的小断层（图 1-2）。

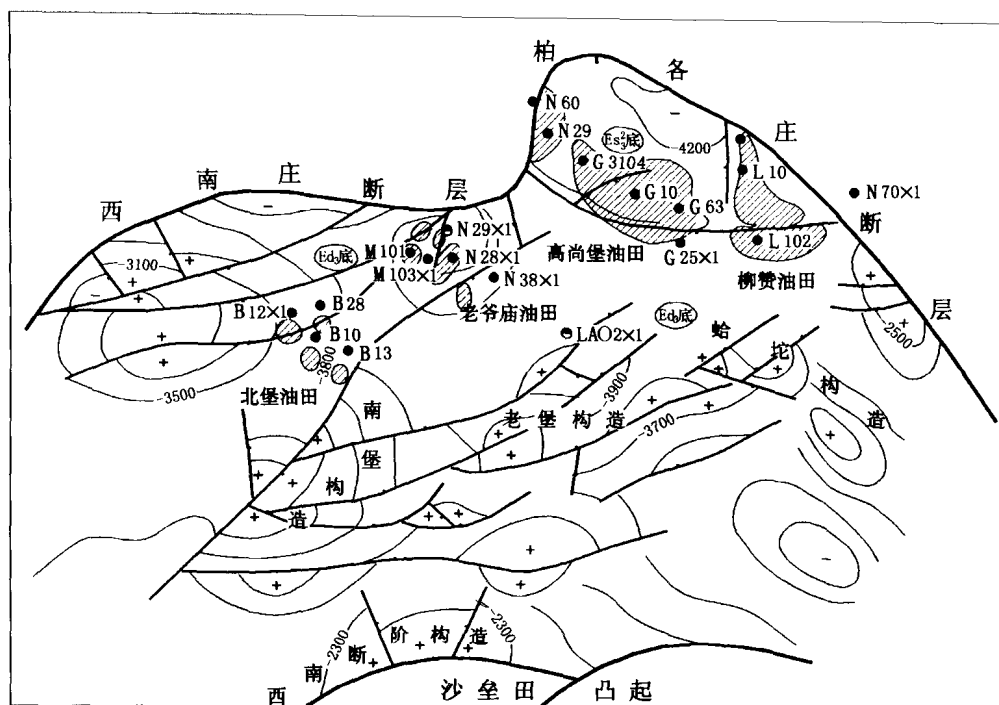


图 1-2 南堡凹陷构造纲要图

一、南堡凹陷构造单元

受中国东部北东向滨太平洋构造域与燕山台褶带近东西向古亚洲构造域两大构造体系的共同制约,南堡出现了较独特的分区现象。南堡凹陷的内部分区主要受凹陷内主要分隔性断裂,即高柳断裂控制,受其分隔,该凹陷可分为两大构造分区:(1)南堡凹陷北部凹槽,位于南堡凹陷的东北端,高柳断裂以北,地处西南庄断裂、柏各庄断裂及高柳断裂的构造夹角部位,为南堡凹陷中生代及新生代沙河街期的强烈构造沉降区之一。至新生代东营期,受南侧高柳断裂两盘差异沉降的控制,该区的沉降活动发生明显衰弱。(2)南堡凹陷南部凹槽,包括高柳断裂以南和以西的凹陷区。它是南堡凹陷中、新生代的持续强烈构造沉降区。

1. 北部凹槽

北部凹槽主要发育高尚堡潜山披覆背斜、柳赞同沉积背斜构造和唐海断鼻构造,有利构造面积 160km²。

高尚堡潜山披覆背斜深层与浅层构造差异较大。深层(Es₃)构造是在中生界潜山基础上逐渐形成的潜山披覆背斜,位于高柳断层上升盘一侧,为近东西向展布的背斜构造,被北西和北东向断层切割成若干个断块。该构造从沙三⁵亚段沉积期开始发育,沙三¹⁻²沉积期发展成北西向延伸的短轴背斜,高点位于 G65 及 G5 区块一带。柳赞地区整体表现为一个位于柏各庄断层下降盘陡岸带的由若干沉积体叠置,经差异压实后被断层复杂化的同沉积背斜、断鼻构造。在 L13 井区、L10 井区、L24 井区发育 3 个局部高点。

北部凹槽具有统一的断裂系统,主要发育一系列东西走向、北东东走向的断层,其中

以高柳及高北断层为典型代表。这些断层平面上延伸的长度、纵向上切割的层位各有不同,但在这些断层的共同作用下,北部凹槽具有相似的构造特征和油气成藏条件。

2. 南部凹槽

南部凹槽位于高柳断层以南地区,主要发育老爷庙、北堡、南堡及老堡蛤坨构造等局部构造。主要构造类型为发育在南堡凹陷北部边界断层西南庄断层下降盘的滚动背斜构造和断鼻构造(如老爷庙滚动背斜构造、北堡背斜构造)、潜山披覆构造(南堡构造)和凹中隆起构造(老堡构造、蛤坨构造)为主。

老爷庙构造带位于南堡凹陷北部边界——西南庄断层下降盘一侧,是发育在西南庄断层下降盘的滚动背斜构造,由庙北背斜、庙南断鼻以及两者之间的低鞍部三部分组成,勘探面积约 150km²。

北堡构造带位于南堡凹陷西端,紧邻西南庄断裂,为一个在向东倾伏、向西抬升的鼻状构造背景上发育起来的背斜构造带。构造带面积 360km²,被北东向断裂切割成多个断块。背斜形态上向北、东、南三面倾斜清楚。剖面形态上同老爷庙构造带极为相似,上、下构造高点吻合较好。

老堡—蛤坨构造带位于柳南次凹和曹妃甸次凹之间,是一个近东西向的潜山披覆构造带。有利勘探面积 200km²,被北东向和北西向断层切割成多个断块。

二、南堡凹陷剖面结构特征

南堡凹陷的主要内部结构特征(图 1-3)表现为:

(1) 南堡凹陷为一中、新生代叠合的含油气凹陷,凹陷的最深部位位于高南地区,中生界底地震反射时间为 5.1s,深度约近万米;南堡凹陷中生界厚度平均约为 1500~1800m,最厚约 3000m;新生界第三系最大厚度约 6000m,第四系厚度约 200m。

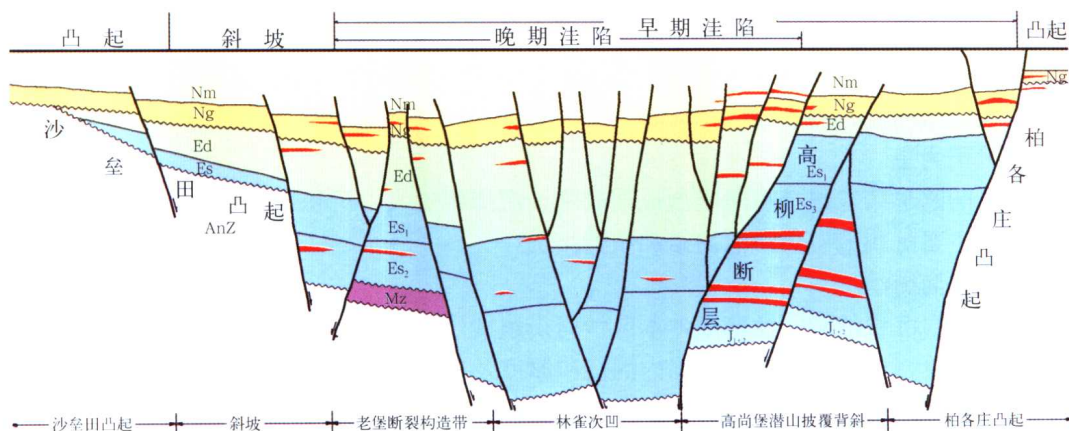


图 1-3 南堡凹陷地质结构剖面示意图

(2) 南堡凹陷的北部和东北部边缘分别为西南庄断裂和柏各庄断裂,断面分别南倾和西南倾,形态为座椅状;凹陷南缘总体为或缓或陡的斜坡,局部为较陡的北倾边缘断裂。因此,受凹陷边界断裂或边界形态控制,南堡凹陷总体形态为一北陡南缓的箕状凹陷,局部呈北深南浅的不对称双断型凹陷形态。

(3) 凹陷内部具有明显凸凹相间的构造格局(图 1-2)。构造隆起区或为被断裂复杂化的背斜构造带(如老爷庙构造带),或为地垒构造区(老堡构造带),或为潜山披覆构造区(如南堡构造带、蛤坨构造带)。构造低洼区或为地堑构造区(如曹妃甸次洼、林雀次洼),或为次级断陷区(如拾场次洼、柳南次洼)。上述构造低洼区为南堡凹陷的主要油气生成区,而构造隆起区则为主要的油气富集区。

(4) 高柳断裂为凹陷内最重要的分划性断裂,该断裂不仅控制了凹陷南北两侧不同的构造演化格局,而且,控制了南北两侧不同含油气系统的形成。下第三系沙河街组在该断裂南北两侧普遍发育,但下第三系东营组在断裂以北最大厚度仅有数百米,在断裂以南其最大厚度却超过 2200m。

(5) 从地震剖面看,南堡凹陷断裂发育垂向上具有明显的层次性,即浅层(Nm, Ng)断裂发育程度最高,中深层(Ed)次之,深层发育程度最低。这可能与本区的构造发育期次及盆地演化过程有关。

第二节 沉积地层

南堡凹陷内部沉积充填主要分为三个部分:前第三系(侏罗系、石炭—二叠系和奥陶系)、下第三系沙河街组和东营组以及上第三系馆陶组和明化镇组,沉积岩最大厚度约 8000m(图 1-4)。南堡凹陷在本区的中生界地层主要由侏罗系和白垩系组成,是南堡凹陷的沉积基底。

南堡凹陷早第三纪经历了断陷湖盆初期—断陷湖盆全盛期—断陷湖盆迁移衰亡期的全过程。具体分为三个断陷阶段:第一个断陷阶段为沙三⁵亚段(Es₃⁵);第二个断陷阶段为沙三⁴亚段—沙二段(Es₃⁴—Es₂);第三个断陷阶段为沙一段—东营组(Es₁—Ed)。总体上沉积了一套以湖相为背景的扇三角洲、水下扇、三角洲碎屑沉积。早第三纪晚期,渤海湾断陷盆地整体抬升遭受剥蚀;晚第三纪整体坳陷构成统一的盆地,主要沉积了一套馆陶组、明化镇组河流相的砂岩、砾岩和泥岩。其中,馆陶组以辫状河沉积为主,明化镇组以曲流河沉积为主。

南堡凹陷早第三纪具有断陷形成期较晚、沉降幅度大、沉积厚度大的特点。南堡凹陷下第三系主要沉积地层为沙河街组和东营组。

一、沙河街组

根据地层沉积的旋回性特征,本区沙河街组地层自上而下可分为三段,即沙一段、沙二段及沙三段,这三段地层在凹陷内的沉积厚度及展布特征各有差异。

1. 沙三段

该段地层是本区下第三系沙河街组最下部的沉积单元,在凹陷内埋藏较深。目前该套地层仅于凹陷东北部的高尚堡—柳赞地区揭露程度较高,其他地区很少揭露。从已有研究结果看,南堡沙三段地层主要具有以下特点:

(1) 地层展布范围广,沉积厚度大。从各骨干地震剖面看,沙三段地层在南堡凹陷中分布很广,沉积厚度多在 1000~1200m 以上。

(2) 纵向上,该段地层可分为两个层序,下部层序由沙三⁵—沙三³亚段地层构成,上部层序由沙三²—沙三¹亚段地层构成。下部层序主体由湖泊水进体系域及高水位体系域构

成, 其底部的低水位体系域在高尚堡—柳赞地区较为发育, 其他地区尚未揭露。上部层序主要由水进体系域和高水位体系域构成, 低水位体系域不发育。

(3) 受各层序及同一层序内部不同体系域纵向叠置、侧向交叉等因素控制, 区内沙三段地层内部发育多套自生自储的生储盖组合。下部层序的水进体系域为区内最有利烃源层之一。目前, 高尚堡—柳赞地区已发现油藏的油源主要与该套烃源层有关; 上部层序的水进体系域也具有一定的生烃能力, 但其生烃能力较下部层序的水进体系域明显偏差。沙三段内部与烃源层交叉、叠置的各种扇三角洲、水下扇及浊积砂体为本区的良好储集层。

2. 沙二段

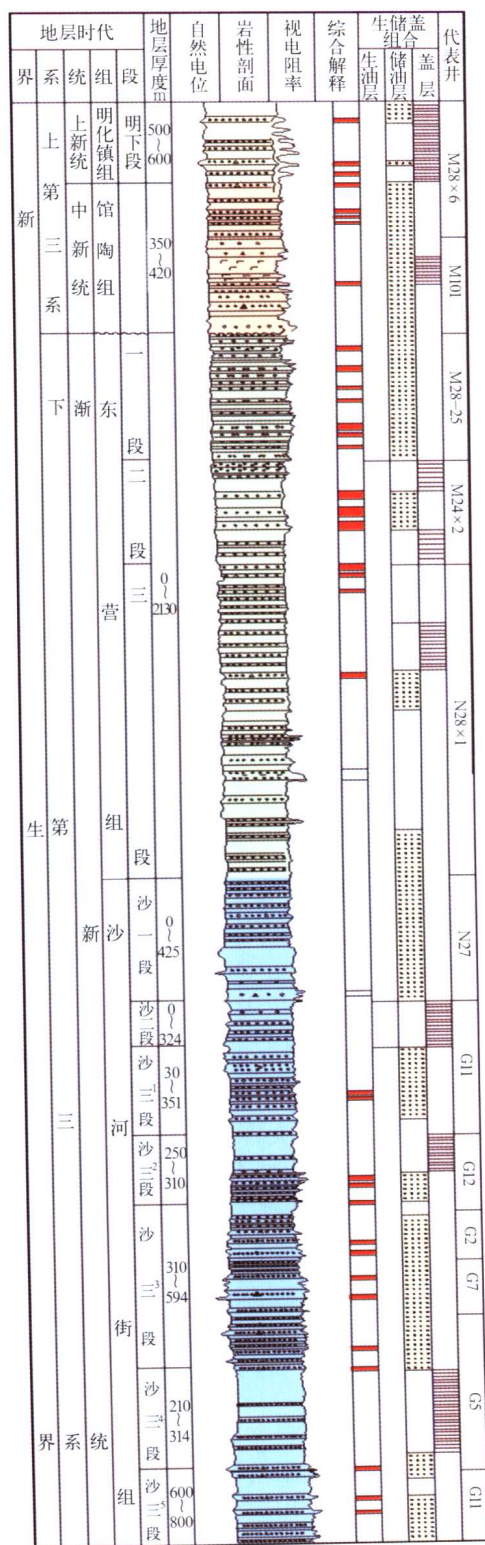
对本区沙二段地层的分布, 曾经历了一定的认识过程。初期的研究工作认为, 沙三段末至沙二段时期为本区的隆升剥蚀阶段, 因而, 沙二段地层不发育。1993 年研究人员在本区第三系地层对比过程中发现了沙二段的标准化石——椭圆拱星介。其后, 北堡地区的几口深探井 (B12-1、BS28 井等) 地层研究结果相继发现了椭圆拱星介、滨海小豆介、胜利村金星介等渤海湾地区沙二段代表生物, 从而确认了南堡凹陷存在沙二段地层。研究区沙二段地层处于下第三系一级沉积旋回的中部, 为氧化环境下冲积体系域的红色和流向正旋回沉积地层。与下伏地层呈平行不整合接触。

3. 沙一段

本区沙一段总体形成于湖水较浅、构造较平静的沉积环境之中, 其岩性可分为上、下两段。上段为灰白色、浅灰色砂砾岩、细砂岩、粉砂岩与浅灰色、深灰色泥岩呈不等厚互层, 并在高尚堡地区发育有一定程度的生物灰岩; 下段为浅灰色细砂岩、粉砂岩与浅灰色泥岩的薄互层。

二、东营组

东营期受区域沉积中心迁移的控制, 陆地区的沉积作用基本萎缩 (平均厚度 < 500 ~



600m), 淮海区的沉积作用则持续发育(可厚达 1500~2000m)。区内东营组地层自上而下也可分为三段, 即东一段、东二段和东三段, 它们共同构成了一个完整的层序。东三段底部为该层序的低水位体系域, 沉积组合以粗碎屑的冲积体系为特征; 其上为由扇三角洲、前扇三角洲相组成的沉积序列; 东二段代表本区东营期的最大水侵期, 沉积了厚达 200~400m 的加积型泥岩段; 东一段代表本区东营期的湖泊萎缩期, 形成了一套以粗碎屑为主的冲积体系。

三、上第三系

本区上第三系的沉积特征与渤海湾盆地其他地区基本类似, 馆陶组平均厚度约 300~500m, 由砾岩、砂砾岩、基性火山岩夹薄层灰绿色、灰色泥岩组成, 是一套辫状河沉积。明化镇组平均厚度约 1500m, 有块状砂岩与灰绿、灰黄、棕红色泥岩互层组成, 是一套曲流河沉积(周海民等, 1999)。

第三节 石油地质特征

南堡凹陷是渤海湾盆地中的一个小型凹陷, 其石油地质特征与渤海湾其他地区基本类似, 但由于所处的构造背景和盆地演化特征的特殊性, 形成其自身的石油地质特点。主要特点: 一是凹陷面积小, 仅有 1932km²。二是油气富集, 储量丰度高。三次资源评价南堡凹陷可探明资源量 4×10^8 t, 每平方千米可探明资源量 22.15×10^4 t。二次资源评价资源量 7×10^8 t, 储量丰度 190.8×10^4 t/km²。三是含油井段长, 油层埋藏深。上覆东营组与上第三系地层厚度大, 主要生油层为沙三段, 埋深大于 3000m。纵向含油井段长 200~1500m, 最长可达 2000 多米, 油层埋深 1500~4000m。四是断层发育, 构造破碎。受郯庐和燕山两大断裂系统的影响, 边界断层具有继承性强、活动时间长、断距大的特点, 控制了凹陷的形成与发展; 凹陷内发育高柳断层, 展布方向为北西—东西向, 早第三纪中、晚期强烈活动, 控制高柳构造带的形成和发展。由此派生了一系列断层, 形成断层多、构造破碎的特点。五是储层变化大, 非均质性强。下第三系多为近物源小型扇三角洲和水下扇沉积体, 砂体规模小, 储层宏观和微观特征均较为复杂, 渗透率变异系数 0.6 以上、渗透率级差 30 以上。六是两个演化阶段形成两大含油气系统。南堡凹陷经历了断陷和坳陷两个发育阶段, 形成了两大含油气系统, 一是以沙河街组三段为烃源岩的含油气系统, 目前揭示主要分布在凹陷北部(以高柳断层为界), 一是以沙一段和东三段为烃源岩的含油气系统, 主要分布在凹陷南部。

一、烃源岩及演化

南堡凹陷是黄骅坳陷北部陆上的主要生油凹陷, 下第三系成熟暗色泥岩最大厚度约 1500~1700m。早第三纪沙三段沉积时期柏各庄断层强烈活动, 形成以深湖和半深湖泥岩为主的拾场和柳南次凹, 构成两个生油中心, 主力生油层为沙三⁴⁺⁵亚段的深湖相泥岩, 生油层厚度 300~500m; 早第三纪晚期高柳断层活动强度大, 沙一段—东营组沉积中心南移至北堡、柳南以南地区, 形成沙一段—东营组的生油中心, 主力生油层位为沙一段—东三段浅湖—半深湖泥岩, 生油岩厚度 300~650m; 位于高柳断层上升盘一侧的拾场次凹东营组大部分缺失, 仅存在部分东三段地层。

沙三⁴⁺⁵亚段烃源岩的有机质类型为腐殖腐泥型(Ⅱ₁型), 东三¹亚段为腐殖腐泥型—

腐泥腐殖型 (II_2-II_1 型), 东三^F亚段及沙一段为腐殖腐泥型 (II_2 型)。沙三⁴亚段及沙三⁵亚段的有机碳含量分别为 1.32% 和 1.28%; 氯仿沥青“A”含量分别为 0.1542% 和 0.1132%; 总烃含量分别为 846mg/L 及 731mg/L; 生烃潜量分别为 4.93mg/g 及 5.64mg/g, 均达到好生油岩标准。东三[±]亚段、东三^F亚段及沙一段的有机碳分别为 0.95%, 0.76% 及 1.16%; 氯仿沥青“A”含量分别为 0.1009%, 0.083% 及 0.1872%; 总烃含量分别为 664mg/L, 612mg/L 及 1354mg/L, 为好或较好烃源岩。

高柳断层以北地区生烃门限深度为 2900~3000m, 成烃高峰期深度为 3900~4800m, 埋深 4800~5600m 进入湿气—凝析油阶段, 5600m 进入干气阶段。高柳断层南部地区生烃门限为 3200m, 成烃高峰期深度为 3700~4600m, 埋深 4600~5800m 进入湿气—凝析油阶段, 5800m 进入干气阶段。

南堡凹陷从沙三段沉积晚期就开始有少量原油生成, 生烃过程一直延续到第四纪, 沙三段烃源岩生烃量最大。全凹陷的生烃期主要从东三段开始, 最大生油期是馆陶组沉积时期, 最大生气期是明化镇组上段沉积时期到第四纪。高柳断层以北地区烃源岩在东三段沉积时期开始排烃, 明化镇组沉积时期为其主要排烃期; 高柳断层以西和以南地区烃源岩东三段开始排烃, 东二段—明化镇沉积时期为主力排烃期。

二、主要储集层分布

南堡凹陷断陷活动的多旋回性控制了凹陷内沉积旋回的形成与发展, 形成多种类型的储集砂体。主要发育冲积扇、扇三角洲和三角洲沉积砂体, 其中扇三角洲砂体是主要的油气储集体。

上第三系为拗陷期冲积扇—河流沉积体系, 馆陶组储层以辫状河道砂体为主, 明化镇组下段以曲流河道砂体为主要储层, 分布于南堡凹陷全区, 是南堡凹陷浅层重要的勘探目的层。

1. 明下段

储层岩性以中、细砂岩为主, 含砂率一般为 38%~48%, 最高可达 59%, 最大单砂层厚度可达 80m, 一般都为 10~25m。岩石的矿物成分以石英和长石为主, 岩屑含量一般为 10%~15%。分选中等—好, 磨圆度为次棱角状—次圆状。有效孔隙度平均为 29.5%, 渗透率平均为 $2272.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为高孔、高渗储层。

2. 馆陶组

储层岩性为细砂岩、中砂岩及含砾不等粒砂岩, 含砂率平均为 46.3%, 最大单砂层厚度可达 56m, 一般都为 3~7m。砂岩的碎屑成分以石英为主, 长石次之, 岩屑含量平均为 15%。分选中等, 磨圆度为次圆—次棱角状。砂岩储层有效孔隙度平均为 26.6%, 渗透率平均为 $916.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为高孔、高渗储层。

勘探实践证实沙三段—沙一段扇三角洲—滨浅湖滩坝储层构成高柳断层以北地区主要油气储集体, 其中沙三⁵亚段储层为冲积扇和扇三角洲相沉积砂体; 沙三⁴亚段储层为水下扇和扇三角洲相沉积砂体; 沙三²⁺³亚段储层为扇三角洲相, 以水下分流河道砂体、前缘砂体为主要储集砂体; 沙二段和沙三¹亚段储层为辫状河三角洲相, 以分流河道砂体和河口坝砂为主; 沙一段储层为扇三角洲相沉积砂体, 其中以水下分流河道砂体、前缘砂体为主。东营组扇三角洲—三角洲储层形成高柳断层以西和以南地区的主要含油储集体, 其中东三段储层为扇三角洲相沉积砂体; 东二段储层为水下扇和扇三角洲相沉积砂体; 东一段储层为辫状河三角洲沉积, 以水下辫状河道砂体和前缘河口坝砂体为主。

3. 东一段

沉积环境为进积型扇三角洲沉积, 单砂层最大厚度为 40m, 一般为 3~12m, 含砂率一般为 57%。砂岩主要是长石砂岩, 碎屑成分主要是石英和长石, 石英含量占 50% 以上。岩石的分选性为中—好, 磨圆度为次圆, 少量为次圆—次棱。胶结类型是孔隙式胶结。储层有效孔隙度一般为 20%~30%, 平均为 24.9%; 渗透率一般大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大为 $3679 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $445 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于中—高孔、高渗储层。

4. 东二段

储层岩性为细砂岩、中砂岩及含砾不等粒砂岩, 最大单砂层厚度可达 25.7m, 一般都为 3~7m。砂岩的碎屑成分以石英、长石为主, 岩屑含量一般为 13%~23%。岩石的分选性为中—好, 磨圆度为次圆—次棱角及次棱角—次圆。胶结类型是孔隙式胶结。砂岩储层有效孔隙度为 14.2%~25.8%, 平均为 22.2%, 渗透率一般大于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $170.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、中渗储层。

5. 东三^上亚段

储层岩性为细砂岩、中砂岩及含砾不等粒砂岩。砂岩的碎屑成分以石英、长石为主, 次为酸性、中基性喷出岩岩屑及花岗岩岩屑等。岩石的分选性为差—中, 磨圆度为次圆—次棱角及次棱角—次圆。胶结类型是孔隙式胶结。砂岩储层有效孔隙度为 15%~21%, 平均 19.2%, 渗透率一般为 $(1 \sim 300) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最高为 $457 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $113.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、中低渗储层。

6. 东三^下亚段

储层岩性以中、细砂岩及薄层含砾不等粒砂岩为主。砂岩的碎屑成分以石英、长石为主, 石英次生加大普遍, 长石有溶蚀现象。岩石的分选性中等, 磨圆度为次棱角—次圆、次圆、次圆—次棱角。胶结类型是孔隙式胶结。砂岩储层有效孔隙度为 10%~21%, 平均 16.4%, 渗透率一般大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最高为 $557 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、中低渗储层。

7. 沙一段

储层岩性以中、细砂岩及含砾不等粒砂岩为主。高柳地区以岩屑长石砂岩及混合砂岩为主, 岩屑含量 20% 左右, 中基性火山岩岩屑占岩屑总量的 40%~65%, 最大单砂层厚度可达 20m, 一般都为 4~12m, 砂岩储层一般孔隙度为 17%~24%, 渗透率一般为 $(75 \sim 528) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中—高孔、高渗储层。北堡地区以岩屑长石砂岩为主, 老爷庙地区以混合砂岩居多, 中基性火山岩岩屑含量较低, 仅为 10%~20%, 最大单砂层厚度可达 15m, 一般都为 3~8m, 砂岩储层一般孔隙度为 9.1%~24%, 平均 22%, 渗透率一般为 $(1.0 \sim 516) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、中渗储层。

8. 沙三段

储层岩性以中、细砂岩及含砾不等粒砂岩为主。混合砂岩、长石岩屑砂岩及岩屑长石砂岩发育, 碎屑颗粒中石英含量多为 25%~35%, 岩屑含量多大于 25%, 中基性火山岩岩屑占岩屑总量的 60%~80%。长石以基性—中性斜长石及碱性长石为主, 蚀变明显。

高柳地区沙三⁵亚段、沙三²⁺³亚段储层成岩阶段属于早成岩 B 亚期和晚成岩 A 亚期, 溶蚀作用明显, 石英及长石次生加大比较普遍, 各类次生溶孔非常发育, 面孔率在 3700m 时最高仍可达 20%。储层孔隙度为 14.5%~20%, 平均渗透率为 $(40.5 \sim 500)$

$\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于中低孔、中低渗储层。

高柳断层以西、以南地区, 只有北堡地区钻至沙一段、沙三段并取到了少量样品, 其砂岩储层较发育, 这些井钻在前扇三角洲和三角洲前缘过渡区的浊积水道上。沙一段、沙三段成岩阶段分别处于晚成岩 A₂ 期、晚成岩 B 期。由于成岩作用强烈, 物性普遍较差。但存在次生孔隙发育带, 砂层物性变好。从纵向上看, 存在三个次生孔隙发育段: 2500~2900m, 3400~3700m, 4300~4700m。

三、成油组合

南堡凹陷地质历史经历了断陷和拗陷两个发育阶段, 形成上、中、下三个构造层, 具有三套成油组合:

下部构造层为盆地基底, 包括中生界、古生界、中上元古界和结晶基底, 上覆下第三系或上第三系(凹陷周缘凸起)为良好盖层, 以下第三系为油源层, 形成新生古储的成油组合。

中部构造层是形成于始新世—渐新世时期的沙河街组、东营组地层, 为断陷期碎屑岩沉积, 沉积厚度最大达 4000~5000m, 储层主要是分布于盆缘的水下扇、扇三角洲和三角洲砂体, 形成以自生自储为主的成油组合。

上部构造层为馆陶组、明化镇组的河流相碎屑岩沉积, 是一套良好的储集岩系, 油源来自下第三系, 形成下生上储成油组合。

目前在南堡凹陷已发现的成油组合以自生自储、下生上储成油组合类型为主。

第二章 精细实施二次三维地震勘探

冀东油田 1996 年在老爷庙地区开展二次三维地震勘探的成果,证明从采集攻关入手根本上改善地震资料品质的思路是正确的,初步形成了有针对性的地震采集、处理和解释技术,为在成熟探区或已开发地区开展精细勘探提供了信心和经验。

在二次三维地震勘探的论证中,首先要明确地震资料改善的潜力和老资料品质差的原因。如在高柳地区开展二次三维的前期,经过反复充分的前期论证,肯定了高柳地区勘探开发的资源潜力和改善提高地震资料品质的潜力。其地震地质条件远远优于老爷庙地区,如果借鉴老爷庙二次三维地震的成功经验,资料品质可以上一个新的台阶,精细勘探必将迎来一个新的勘探开发局面。

通过深入分析,认为高柳地区以往资料差的主要原因包括三个方面:在地震地质条件上,地表条件复杂,中深层断层多,断块小,目的层埋藏深度大;在技术方法上,原采集由于受当时技术、设备等条件的限制,采集方法针对性不强;在组织管理上,施工质量存在较多问题。其中最重要的是技术方法问题:一是仪器动态范围小,数据精度低,对中深层弱反射的接收能力差;二是接收道数少,炮检距受到限制,不利于勘探中深目的层;三是面元大,横向分辨率差,断点落实困难;四是覆盖次数少(8~12次),特别是横向覆盖次数只有2次,静校正耦合精度差;五是药量较大,波形发胖,频带窄,不利于提高分辨率;六是环境干扰强,接收条件差,噪音发育。

在采集方法的论证中,采用了有针对性的采集技术:

一是针对复杂地表条件,精细选用不规则三维采集技术。应用恢复性炮点变观技术解决了工区内大量一般性障碍物使 70% 物理点不能按标准位置设计摆放的问题;应用炮点非纵向变观技术解决了部分典型障碍物(如周围由固定沟渠围绕的长宽相对固定的虾、鱼、蟹池)的问题;应用块状特观设计技术确保了在大部分面元内炮检距、覆盖次数、方位角分布均匀合理;应用实时差分系统和 GPS 网平差技术,保证了炮点、检波点位置的准确。从而解决了地表鱼、虾池多,村庄、稻田、沼泽、潮汐带、芦苇地多,油田设施多[高尚堡油田有油井约 400 口,油气处理厂和联合站各一座,转油站 6 座,计量站 35 座,注水站 7 座,另外还有大量的输油(气)管线分布整个工区]等问题。

二是针对地震地质条件复杂,精心确定有针对性的采集方法。针对该区地层倾角大、断层发育、目的层埋藏深的特点,采用高覆盖($15 \times 4 = 60$ 次)、小面元($15\text{m} \times 30\text{m}$)、宽方位角的采集方法。并采用变药量激发,在障碍物附近减小药量,最大限度缩小禁炮区,尽可能减小浅层资料缺口;针对中深层地质特点和地质目的,合理加大纵、横向炮检距,提高深层的覆盖次数。

三是针对各种干扰,精心现场组织。主要是针对油井和大钻这些后期无法弥补的干扰精心组织施工。

通过对油井干扰的分析,认为干扰的影响距离最大约 200m。因此,将距离接收排列在 200m 以内的油井合理组织予以关停;对于不能关停的高产井,确定测线偏移的最合理