

束青林 张本华 著

河道砂 储层油藏

动态模型和剩余油预测

HE DAO SHA

CHU CENG YOU CANG

DONG TAI MO XING HE SHENG YU YOU YU CE



石油工业出版社

河道砂储层油藏动态 模型和剩余油预测

束青林 张本华 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合利用多学科的理论和方法技术,最大限度应用计算机技术和手段,研究了河流相储层建筑结构模型、空间分布及储层非均质性、隔夹层成因和构型模式,进一步研究了不同开发阶段的宏观、微观和渗流参数变化规律和变化机理,建立了河流相地下储层的油藏动态模型,揭示了特高含水期河道砂储层剩余油控制因素,阐明了剩余油的动态演化机理,建立了多种因素影响下的河道砂油藏剩余油分布规律及模式。

本书可供油田开发工作者、科研院所及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

河道砂储层油藏动态模型和剩余油预测/束青林,张本华著.

北京:石油工业出版社,2004.12

ISBN 7-5021-4910-4

I. 河…

II. 束…

III. 河流相-储油层-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 130017 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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:北京晨旭印刷厂印刷

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:296 千字 印数:1—1000 册

定价:28.00 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

《河道砂储层油藏动态模型和剩余油预测》一书是作者长期从事油田开发生产和科研成果。束青林、张本华两位同志从事油田开发地质工作十多年,该书是他们多年工作的结晶。作者应用了国内外油藏研究、描述和预测的最新理论和方法,论述了河道砂油藏宏观、微观、渗流参数动态模型概念、建模的原理、方法,不同含水期河道砂油藏动态模型、仿真模型,提出流体开发动力地质作用是储层参数演化的机理和控制因素。他们针对孤岛油田注水开发 30 余年,目前已进入高含水和特高含水期,在研究河流相储层构型模式、空间分布及储层非均质性和隔夹层成因模式的基础上,揭示了储层参数变化规律、变化机理,阐明了宏观剩余油、微观形成和分布这个学科前沿难题,建立了孤岛油田宏观、微观、渗流和物理模拟参数动态模型、河道砂油藏四维模型、仿真模型和多种因素影响下的剩余油预测模型。根据孤岛油田厚油层层内夹层分布特征及实际注采状况,建立了多种注采模式,预测了剩余油分布,提出了有针对性的油田开发调整挖潜措施,取得了很好的社会和经济效益。

该书的出版,是孤岛油田油气勘探开发史上的一件大事。给特高含水期注水开发老油田提高采收率、改善开发效果奠定了坚实的基础和科学依据,发展了陆相断陷湖盆的理论和方法。该书是本学科剩余油领域的重要参考书。

原孤岛采油厂总地质师、教授级高工、全国劳动模范:

毕研鹏

序

《河道砂储层油藏动态模型和剩余油预测》一书是束青林、张本华两位作者长期从事油田开发生产和科研的成果,是他们多年工作的结晶。

20 世纪 70 年代初发现并投入开发的孤岛整装大油田自投产开发 30 多年来,已累积生产原油 $12126 \times 10^4 \text{t}$,经历了产能建设、高速高效稳产、低品位储量动用和推广三次采油减缓递减等几个开发阶段,目前已进入了特高含水期,现井网下的采收率只有 35%。本书综合运用多学科的理论和方法技术,研究了河流相储层建筑结构模型、空间分布和储层非均质性,隔夹层成因和构型模式,最大限度应用计算机理论和手段,从油藏动态演化的角度揭示注水开发长达 30 多年的孤岛油田馆上段河道砂储层在初、中、高和特高含水期储层骨架场、孔喉网络场、渗流场等微观流场及其在油田不同含水期开发过程中的特征、变化规律、控制因素,及其与剩余油的关系,进而建立不同含水期油藏开发流体动力地质作用的油藏动态地质模型,揭示特高含水期油藏流场中剩余油宏观和微观形成机理和分布规律。建立了油藏宏观、微观和流场四维数据体,揭示了油藏中宏观和微观剩余油在不同含水期特别是特高含水期的主要类型和空间分布,从而指导油田开发,为提高油田最终采收率服务。

该书的出版,必将给人以启迪,对指导今后油田勘探开发工作起到积极的推动作用,而且进一步丰富了该领域的研究成果。

中国科学院院士:

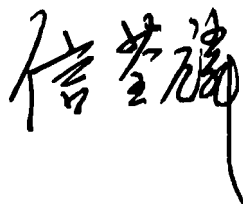
序

《河道砂储层油藏动态模型和剩余油预测》一书经孤岛采油厂地质工作者的不懈努力和出版社同志们的辛勤劳动,终于和大家见面了。这是孤岛油田油气勘探开发史上的一件大事。该书的公开出版必将引起陆相盆地河流相储层油田地质工作者的广泛瞩目和兴趣。

孤岛油田是中国陆相大油田的典型代表,其大型披覆背斜构造和河流相储层特点鲜明,是我国第二大油田——胜利油田的重要油气产区。经过注水开采 30 余年,孤岛油田目前已进入特高含水期。针对这种情况,束青林、张本华两位同志在采油厂从事油田勘探开发地质工作十多年,经过二年的不懈努力,完成了该书。

作者应用了国内外油藏研究、描述和预测的最新理论和方法,以经历近 30 多年注水开发的孤岛油田河道砂储层为例,在研究河流相储层构型模式、空间分布及储层非均质性和隔夹层成因模式的基础上,揭示了储层参数变化规律、变化机理,阐明了宏观剩余油、微观形成和分布这个学科前沿难题。论述了河道砂油藏宏观、微观、渗流参数动态模型概念、建模的原理、方法,不同含水期河道砂油藏动态模型、仿真模型,提出流体开发动力地质作用是储层参数演化机理和控制因素,根据孤岛油田厚油层层内夹层分布特征及实际注采状况,建立了多种注采模式,并结合油藏数值模拟,研究了层内夹层对剩余油的控制作用,指出了有针对性的配套挖潜措施。给特高含水期注水开发油田提高采收率、改善开发效果奠定了坚实的基础和科学依据。

石油大学教授、博导:



前 言

油气是工业的“血液”，是国民经济发展的重要支柱，改善油气田储层结构对滚动勘探及开发有着重要的理论意义和实用价值。我国东部油气田的储量和产量占我国油气储量和产量的一半以上。东部油气田广泛发育分布在同生断层控制的陆相断陷湖盆中，储层非均质性强，给油田勘探开发带来极大地困难。资源有限，创新无限，目前这些油气田已经历了 30 ~ 40 年注水开发，历经多次综合调整，进入了高和特高含水开发期，综合含水超过了 90%，采收率仅 29% 左右。解放思想，挑战极限，研究河道砂油藏建筑构型模式、非均质模式、隔夹层模式、储层参数变化规律和变化机理，建立油藏动态模型、仿真模型，预测多种因素注采模式下可动剩余油的分布，为不断提高老油田采收率，提出有针对性的配套挖潜措施打下坚实基础。

该书分六章，绪论主要介绍河道砂储层建筑结构模型、剩余油研究现状、油藏动态模型的研究现状以及本书的特色与创新之处。第一章介绍孤岛油田构造格架及演化、沉积体系、油气藏类型及分布和目前开发状况。第二章论述现代沉积研究所揭示的曲河流、辫状河、网状河砂体构型模式及孤岛油田砂体成因类型和空间分布。第三章论述河道砂储层平面建筑结构模型，层内非均质模型和微观非均质模型及储层三维定量地质建模。第四章阐述了河道砂储层隔夹层形成机理、控制因素，隔夹层构型及其与剩余油分布的关系。第五章阐述河道砂储层油藏流场宏观动态模型、微观动态模型。第六章论述河道砂储层宏观、微观剩余油形成机理、控制因素及宏观、微观剩余油分布规律。

本书是参与孤岛油田勘探开发的广大技术人员集体智慧的结晶。在两年的编写过程中中科院朱日祥院士、杨长春研究员，石油大学刘泽容、姜在兴、陈清华、戴俊生、吴胜和、姚军、徐守余、冯庆洪教授、王蛟博士，胜利油田毕研鹏、刘建民教授级高工提供了大量资料并给予悉心的指导，孤岛采油厂地质科研人员付出了辛勤的劳动，在此表示衷心感谢。

由于笔者水平有限，自知“吾生也有涯，而知也无涯，管窥蠡测”，书中不当处，恳请读者批评指正。

作者

2004 年 12 月

目 录

绪论	(1)
第一章 孤岛油田石油地质概述	(5)
第一节 孤岛油田构造格架及演化	(6)
第二节 孤岛油田沉积体系	(8)
第三节 孤岛油田油气藏类型及分布	(11)
第四节 孤岛油田开采现状	(14)
第二章 河流相储层构型模式和空间分布	(16)
第一节 曲流河构型模式	(16)
第二节 辫状河构型模式	(25)
第三节 网状河构型模式	(28)
第四节 孤岛油田河道砂储层构型模式	(30)
第五节 孤岛油田河道砂储层空间展布	(38)
第三章 河道砂储层非均质模型	(43)
第一节 河道砂储层非均质性研究原理和方法	(43)
第二节 河道砂储层层次划分	(44)
第三节 河道砂储层平面非均质模型	(47)
第四节 河道砂储层层间非均质模型	(64)
第五节 河道砂储层层内非均质模型	(68)
第六节 河道砂储层三维定量地质建模	(72)
第七节 河道砂储层微观非均质模型	(78)
第四章 河道砂储层隔夹层成因类型与分布模式	(81)
第一节 隔夹层概念	(81)
第二节 河道砂储层夹层的成因	(82)
第三节 夹层的测井曲线特征及其识别	(84)
第四节 河道砂储层夹层描述技术及分布模式	(88)
第五节 夹层对厚油层开发效果的影响	(100)
第五章 河道砂储层油藏流场动态模型	(102)
第一节 油藏流场宏观动态模型	(102)
第二节 油藏流场微观动态模型	(118)
第六章 特高含水期河道砂储层剩余油形成机理和分布模式	(129)
第一节 宏观剩余油形成机理和控制因素	(129)
第二节 微观剩余油控制因素及形成机理	(145)
第三节 河道砂储层剩余油分布规律	(160)
第四节 剩余油分布模式	(169)
第五节 河道砂储层特高含水期剩余油挖潜措施及应用效果	(170)
参考文献	(174)

绪 论

我国东部油田主要发育在陆相断陷湖盆内,断层发育,储层非均质性强。油田经历了数十年注水开发,综合含水高,地下储层和油藏应力场发生了变化,剩余油分布极为复杂。要改善这类油田开发效果、提高剩余油采收率,必须揭示长期注水开发油藏非均质性和开采非均质性,建立油藏动态模型。

据徐安娜等对我国(15 个主要油区 71 个油田,占全国已开发 315 个油田的 20%,占已开发总储量的 70.4%)不同类型碎屑岩储层中可动剩余油分布概率研究表明,河流成因储层内不但存在较多可动剩余油,而且是其中潜力最大的(表 1)。

表 1 我国不同类型碎岩可动剩余油分布概率对比表(徐安娜等,1998)

沉积相	含水 100% 驱油效率(%)	含水 98% 驱油效率(%)	目前水驱采收率(%)	可动剩余油分布概率(%)	
				含水 100%	含水 98%
三角洲	64.6	52.6	36.1	28.5	16.5
滩坝	67.1	53.1	39.9	27.3	13.2
扇三角洲	57.9	49.9	40.5	17.4	9.4
河流	62.5	47.5	30.2	32.3	17.3
冲积扇	54.4	45.3	30.9	23.5	14.4
湖底扇	58.2	45.6	27.8	30.4	17.8

河流相储层是我国已发现油田主要的储层类型,也是我国油气最富集的储油层。我国东部各油田中,河流相储层在各类碎屑岩储油层中占有重要比例。据不完全统计,河流相储层石油地质储量占我国已开发油田动用储量的 46.2%(俞启泰等,1999)。河流相沉积储层内部结构复杂,储层平面及纵向上的非均质性强,给油田勘探开发带来极大困难。据资料统计,全国水驱油田平均采收率为 33.1%,而河流相储层水驱采收率平均只有 30.2%,地质储量采出程度为 23% 左右,大约仍有近四分之三的地质储量滞留在储层内。胜利油田目前在新近系馆陶组河流相储层中,找到的储量约占油田总储量的 2/5,大型高产油田有孤岛、孤东、埕岛油田等。目前这些油田多数都经过数十年注水开发,已进入高含水、特高含水开发阶段,综合含水率在 80%~95% 以上。长期注水开发导致原本就非常复杂的地下储层微观流场又被改造和破坏,油藏参数发生变化,非均质性进一步增强,致使特高含水期剩余油宏观和微观分布进一步复杂化。

20 世纪 70 年代初发现并投入开发的孤岛整装大油田,目前已累积生产原油 $12126 \times 10^4 \text{t}$,历经层系细分、强化注采系统、局部加密细分、周期性的注采调整及化学驱油等开发阶段,目前已进入了特高含水期,现井网下标定的采收率只有 35%。但油田开发对象已由早期的油层组到中期的小层乃至如今的单层、单砂体,开采的主要矛盾已由层间矛盾转化为如今的层内乃至砂体内部建筑结构之间的矛盾,原有的地质模型已难于适应开发的需要,必须将储层地质模型建立在单砂体一级,而且还要了解其内部的建筑结构特征,研究和解剖河道砂储层油藏动态模型与剩余油富集区的关系有重要的理论意义和现实意义。因此,如何准确地预测剩余油富集

区分布规律,采取有针对性的措施不断提高老油田采收率,是目前我国东部老油田所面临的共同问题。

一、储层建筑结构模型

河流相储层中,大部分的成因砂体在空间上相互切割、交错,形成复杂的接触结构。而且,不同类型的成因砂体有着不同的发育规律,导致砂体间的接触关系具有多样性、砂体间的连通程度具有差异性。所以,砂体间的接触方式和连通程度的表征对于描述储层非均质性、建立储层建筑结构模型和油田开发具有重要意义。根据砂体成因类型的不同,可将砂体间的接触分为两大类:同类型成因砂体的接触和不同类型成因砂体的接触。同类型成因砂体的接触在河流相储层中主要表现为河道砂体间的接触,由于曲流河有凹岸和凸岸之分,故其接触的连通性亦有多多样性和不确定性;不同类型成因砂体的接触通常表现为河道砂体与河间砂体、河道边缘砂体以及其他成因砂体之间的接触,其连通性视具体情况而定。

近年来,储层模式预测描述法的提出为精细描述储层提供了一个新的思路。该方法是指以各种沉积模式和沉积学知识为指导,对储层的空间分布和物性特征进行模式化预测性描述与编图的做法。采用这种方法不仅大大提高了单一成因砂体几何形态、井间边界、连续性和分布组合面貌的描述精度,而且可以实现对储层厚度和渗透率等物性特征宏观分布规律的预测性描述。这种推理和描述需要较好的沉积学研究和大面积的密井网资料,孤岛油田现有的研究成果和油田当前密井网资料条件是进行这方面研究的坚实基础。

通过对河流相储层成因单元类型的识别、储层单元的细分与对比、以及单一成因单元边界,尤其是单一河道砂体边界的识别,由点到线、由线到面,最终建立起研究区精细的剖面和平面对储层建筑结构模型。储层建筑结构模型的建立,较之过去的沉积微相研究,对砂体结构研究更显精细化,这必将为后续研究工作的开展开辟新的思路,奠定坚实的基础。

二、剩余油研究现状

鉴于剩余油研究在加密完善井部署方面、单井射孔投产及增产措施选择方面所起的重要作用,各国都非常重视,纷纷投入大量的人力、物力进行研究。剩余油研究包括宏观剩余油和微观剩余油研究,目前都是世界性学科前沿的难题,已经成为国际学术会议,如世界石油大会、国际储层表征会议以及 SPE、AAPG 等专业性年会讨论的重要主题之一,在 SPE 文献中,有关剩余油研究的文章连年增加。

国内外有关剩余油的研究重点主要集中在以下三方面:①剩余油分布的描述;②剩余油饱和度的测量与监测技术;③剩余油挖潜技术。下面重点介绍前两个方面研究现状。

据国内外大量的研究结果表明,在宏观上,剩余油主要分布在注入水未波及到的、或者波及程度比较低的部位;在微观上主要因储层润湿性、油藏流场演变和驱油效率低等遗留的剩余油,剩余油形成与分布主要受沉积相、微构造、储层非均质性、润湿性及井网条件等综合因素的控制。目前对剩余油分布规律的认识较全面,多认为剩余油主要分布在:①边缘相带,如河床边缘、堤岸相带、边边角角、低渗透差储层或表外储层;②封闭性断层或低序级断层附近、构造高部位与微构造起伏的高点;③正韵律厚层的上部;④井间分流线、井网控制不住、注采系统不完善的部位等。目前在有关剩余油形成与分布规律方面的认识,若与陆相沉积储层实际油藏地质模型对比分析来看,还有待进一步深入。特别对特高含水期河道砂储层来讲,剩余油形成与分布极为复杂,剩余油富集区的控制因素目前在认识上有待进一步深化。

目前有关剩余油分布的研究分为宏观分布研究、微观分布研究和剩余油饱和度研究三大部分,现将各部分对应的研究原理和方法概述如下。

宏观剩余油研究的原理和方法:①油藏数值模拟法。该方法主要是研究油层饱和度,它不仅可以计算整个油层中饱和度在空间上随时间的变化,同时也可以预测未来饱和度的变化。②物质平衡法。应用物质平衡法能获得水驱结束时的剩余油饱和度。③水驱特征曲线法。根据现场实际生产资料中的累积产油和产水量以及油藏地质储量,算出油藏采出程度,再根据目前剩余油饱和度表达式 $S_{or} = S_{oi}(1 - R)$ 可算出油田各区块的平均剩余油饱和度。④动态分析方法。主要是根据油田生产的各种数据及其测试资料进行剩余油研究直接而简便的方法。⑤沉积相方法。这种方法在我国得以普遍应用,主要是因为我国大多数油田储层属于陆相的河流三角洲沉积。⑥检查井研究方法。该方法主要是利用油基泥浆取心、密闭取心、大直径取心以及水淹层取心等来研究剩余油的分布。⑦开发地震技术。在过去的 10 多年里,地震采集技术和数据处理与成像技术取得了重大进展。⑧测井解释技术。一方面是对常规测井资料进行组合分析解释,用测井资料求出地层水、束缚水和残余油饱和度,然后根据多相流体在微观孔隙内的渗流特性和规律以及油水共渗分流量方程,求出剩余油饱和度、含水率,并划分水淹等级。另一方面是采用一些特殊的测井技术,如时间推移测井、“测—注—测”方法及井间监测方法等。

微观剩余油研究的原理和方法:①孔隙结构及微观驱替机理研究。既可模拟驱替过程,也可运用岩心切片观察剩余油在孔隙中的分布规律。②剩余油物理化学场研究。其主要的原理是因原油性质为非均质,注入水常携带细菌、有机酸、氧和矿物氧化剂,原油与注入水的相互作用,水驱后的剩余油常被氧化,使原油粘度增高、密度增高、分子量更大。③微观物理模型研究。目前这类研究主要有两个方面:一是利用理想的孔隙模型进行剩余油驱替机理及影响因素的研究;二是根据实际油藏的岩心及孔隙结构,建立微观仿真模型,进行驱替实验,直接指导油田的开发工作。④图像处理技术。近几年开发出的含油薄片和光刻仿真微观模型的图像处理技术,专门用于研究剩余油在孔隙结构网络里的形成机理、分布特征及产状。将这种技术与其他资料(压汞、铸体薄片、相渗透率、X 射线衍射、电镜、岩矿鉴定、沉积相及其他地质特征研究成果等)结合,可以共同评价储层性质,为注水开发后期剩余油的分布特征研究提供一种新的定量分析方法。

三、河道砂储层油藏动态模型的研究现状和主要内容

从查阅大量的文献来看:研究长期注水开发油田不同开发阶段剩余油的分布,主要通过研究储层参数变化规律和变化机理来描述,前人已做了大量的工作,采用了很多方法。但对于储层宏观非均质性、流场动态变化及剩余油分布的一些机理性的、定量的、具有共性的研究工作尚待进一步深入。在河道砂储层宏观非均质性描述方面,过分注重储层垂向的细分和油藏流场宏观参数的非均质性,但对成因单元本身的分布、单元间渗流屏障(沉积屏障、成岩胶结屏障和断层遮挡及各种地质界面)的研究不够。在流场参数动态变化研究中,一维、二维研究储层参数变化规律较多,但从三维、四维空间定量揭示油藏开发流体动力地质作用相对较少。在剩余油表征方面,对宏观富集区控制因素的定量研究和微观剩余油仿真理论和方法技术方面有待进一步深化。

河流储层油藏动态模型研究的主要内容:综合应用石油地质学、沉积岩石学、构造地质学、地球动力学、晶体表面物理学、水动力学、渗流力学油藏工程、物理化学和地质统计学等多学科

的理论、方法和技术,应用油藏动静态参数和计算机手段,采用露头 and 岩心资料相结合、定性和定量相结合、宏观和微观相结合、油藏精细动静描述研究相结合、油藏综合研究和油藏物理模拟、数学模拟相结合、三维和四维油藏研究表征相结合的研究方法,建立河道砂储层砂体建筑结构模型、隔夹层构型模型、不同层次的储层非均质模型,建立油藏开发流体动力地质作用的骨架场、网络场、渗流场等油藏流场动态模型,深入研究孤岛油田河道砂储层不同含水期油藏开发流体动力地质作用的主要特征、变化规律和控制因素,揭示剩余油宏观、微观形成机理、分布规律和控制因素,建立油藏储层仿真模型和数学模型,预测特高含水期可动剩余油分布规律。

四、研究特色与创新之处

本书首次将储层层次分析研究的理论和方法,引入覆盖区河道砂储层研究,开展了第7级层次界面的识别。为了揭示河道砂储层非均质性及与特高含水期剩余油分布规律和形成机理,从储层平面建筑结构模型,宏观、微观非均质,到剩余油分布规律、形成机理等方面开展了系统研究,主要研究的特色和创新如下。

- ① 运用储层层次分析方法,利用密井网条件下丰富的地质信息,建立了以单一成因砂体为单元的储层平面结构模型;
- ② 利用储层构型理论对点坝砂体内部侧积层的空间分布进行研究;
- ③ 利用神经网络建模技术,建立了河道砂储层油藏宏观参数四维地质模型;
- ④ 利用计算机仿真技术,建立河道砂储层油藏剩余油仿真模型;
- ⑤ 根据厚油层层内夹层分布特征及实际注采状况,综合利用取心井分析资料、动态监测资料、油藏数值模拟、物理模拟、微观水驱油实验,定量研究了多种夹层位置、多种注采模式下剩余油富集区形成机理。
- ⑥ 针对剩余油富集区的特点,提出了有针对性的挖潜措施。

第一章 孤岛油田石油地质概述

孤岛披覆背斜油藏是我国油气勘探在 20 世纪 60 年代的重要发现,位于山东省东营市河口区境内,黄河入海口的北侧,平均海拔高 3~4m。其区域构造位于济阳坳陷沾化凹陷的东部(图 1-1),西北为渤南洼陷,东北为五号桩洼陷,南为孤南洼陷所围绕。

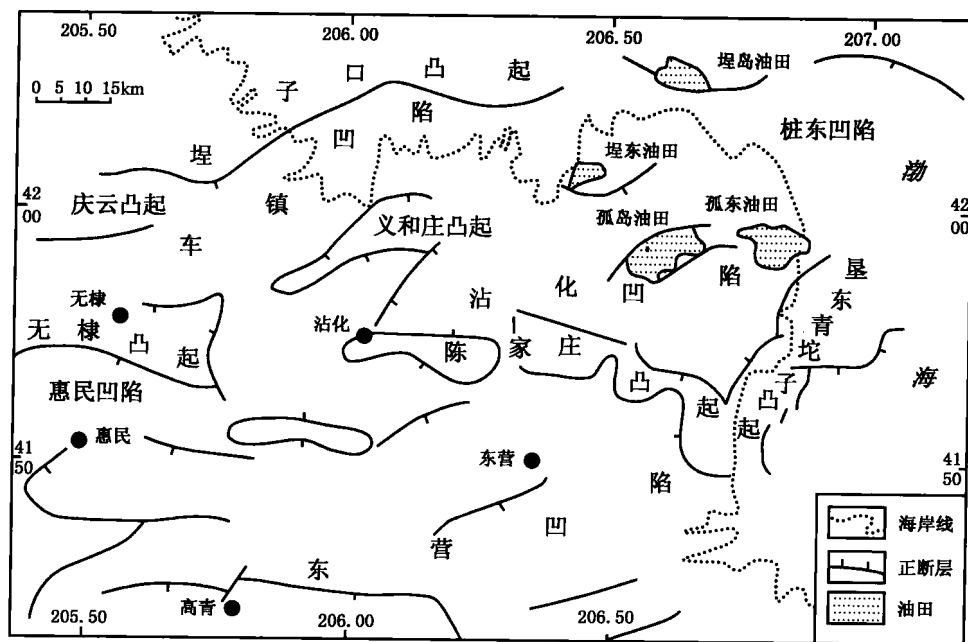


图 1-1 孤岛油田区域构造位置图

孤岛油田为一继承性发育在古生界潜山之上的大型披覆背斜构造,轴向近北东—南西,长 15km,宽 6km,闭合高度 140m,圈闭面积 100km² 左右,由于临近优质的生油区,而且具有良好的油气封盖条件,因此,孤岛油田是以大型披覆背斜为主的具有多套含油气层系、多种油气藏类型的复式油气藏。截至 2003 年底,探明含油面积 92.5 km²,地质储量 39302 × 10⁴t。总体来说,孤岛油田含油丰度较高,平均为 424 × 10⁴t/km²,最高达 748 × 10⁴t/km²。

平面上,根据其内部构造特征及开发管理的需要,划分为渤 21 断块、西区、中一区、中二区、东区和南区六个开发区块(图 1-2)。纵向上,新近系馆陶组是主要的含油层系,油藏埋深 1120~1350m,其地质储量占孤岛油田的 97.1%,其中以馆 3~6 砂层组含油较为普遍,分布较广,为主要开发层系。除此以外,新近系的明化镇组在该披覆构造顶部钻遇零散含气砂体,馆下段仅在披覆背斜构造高部位的中一区见油层;古近系东营组和沙河街组油层仅在构造边部和边界断层附近局部零星分布(图 1-3)。

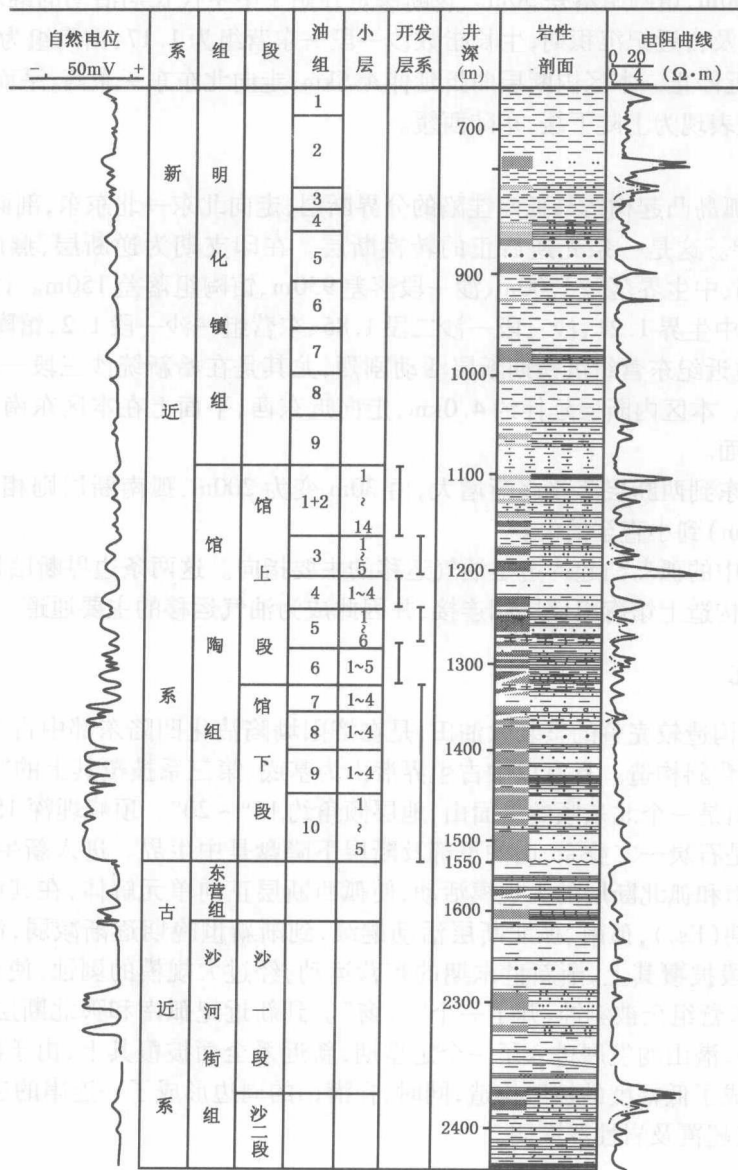


图 1-3 孤岛油田综合柱状图

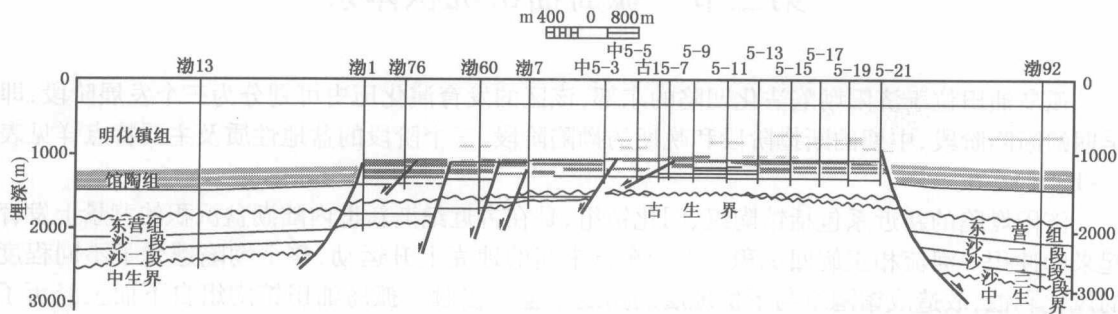


图 1-4 孤岛油田南北向油藏剖面图

体奥陶系落差 1600m,馆陶组落差 50m。该断层是开始于中生代长期活动的继承性断层,活动期有两期:中生代及古近纪沉积期,生长指数沙一段—东营组为 1.17,馆陶组为 1.1,在新近纪断层活动变弱接近停止。本区内断层曲折延伸 4.5km,走向北东东—东西,平面上在本区中部向外突出,剖面上表现为上陡下缓,东陡西缓。

2. 孤南断层

孤南断层是孤岛凸起构造与孤南洼陷的分界断层,走向北东—北东东,剖面上基本为一平面,倾角 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。这是一条先逆后正的转换断层。在印支期为逆断层,燕山期为正断层。古生界落差 175m、中生界落差 1700m、沙一段落差 950m、馆陶组落差 150m。计算的生长指数为:古生界 0.66、中生界 1.21、沙三段—沙二段 1.85、东营组—沙一段 1.2,馆陶组 1.04。由此可见,中生代到古近纪东营组沉积期断层活动剧烈,尤其是在始新统沙三段—沙二段沉积期,新近纪活动变弱。本区内断层延伸约 4.0km,走向近东西,平面上在本区东南角向外突出,剖面上基本为一平面。

孤北断层从东到西断层落差逐渐增大,由 30m 变为 200m,孤南断层则相反,从东到西断层落差由大(400m)到小直至消失。

位于油源区中的孤岛凸起构造是油气运移的主要指向。这两条边界断层将洼陷中的沙三段烃源岩与凸起构造上馆陶组储层相连接,并因此成为油气运移的主要通道。

三、构造演化

孤岛油田是构造较完整的整装大油田,是在济阳拗陷沾化凹陷东部中古生界潜山之上继承性发育的披覆背斜构造。具有以中古生界潜山为基底、第三系披覆其上的“二元结构”。总的来说,孤岛潜山是一个北东倾的单面山,地层倾角约 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。顶峰埋深 1500m 左右,山顶是奥陶系,山腰是石炭—二叠系,山的下部及断层下降盘是中生界。进入新生代以后,尤其是始新世晚期,孤南和孤北断层的大规模活动,使孤西断层正向单元解体,在其中段形成了孤岛潜山,渐新世早期(E_{s2}),孤南、孤北断层活动继续,到渐新世晚期逐渐减弱,沙河街组向潜山超覆,东营组上段披覆其上,渐新世末期的东营运动,经过大规模的剥蚀,使孤岛潜山顶部分约 2.7km^2 范围的东营组全被剥蚀,开了一个“天窗”。到新近纪孤南和孤北断层仍在活动,但其活动强度更微弱,潜山的发展进入了一个定型期,新近系全面披覆其上,由于沉积和压实的差异,在潜山上形成了低幅度的披覆构造,同时,在潜山的周边形成了一连串的逆牵引背斜、断鼻构造、断块、地层超覆及岩性等圈闭。

第二节 孤岛油田沉积体系

孤岛油田位于济阳拗陷沾化凹陷的东部,该区的发育演化历史可划分为三个发展阶段,即早期的断陷阶段、中期的断拗阶段和晚期的拗陷阶段,三个阶段的盆地性质及主要特点详见表 1-1、图 1-5。

济阳拗陷的新近系包括馆陶组、明化镇组,是在古近纪渐新世内陆湖盆沉积的背景上发育起来的冲积—河流相正旋回沉积。由于东营末期的地壳上升运动,整个拗陷遭受了不同程度的风化剥蚀,故造成馆陶组与下伏地层的角度不整合接触。孤岛油田馆陶组自下而上经历了馆 7~10—馆 5~6 砂层组的辫状河沉积,馆 3~4 砂层组的曲流河沉积,馆 1+2 砂层组的河流边缘相或泛滥平原沉积的演变。

表 1-1 济阳拗陷盆地充填演化史简表

地质时代	阶段	构造运动	性质	充填物质
新近纪	拗陷阶段		拗陷为主	河流相沉积及冲积 洪泛平原相沉积
古近纪	断拗阶段	喜马拉雅运动东营幕 喜马拉雅运动济阳幕	陷落为主	湖泊相沉积
中生代	断陷阶段	燕山运动末幕 燕山运动二幕	断裂为主	火山岩及碎屑岩

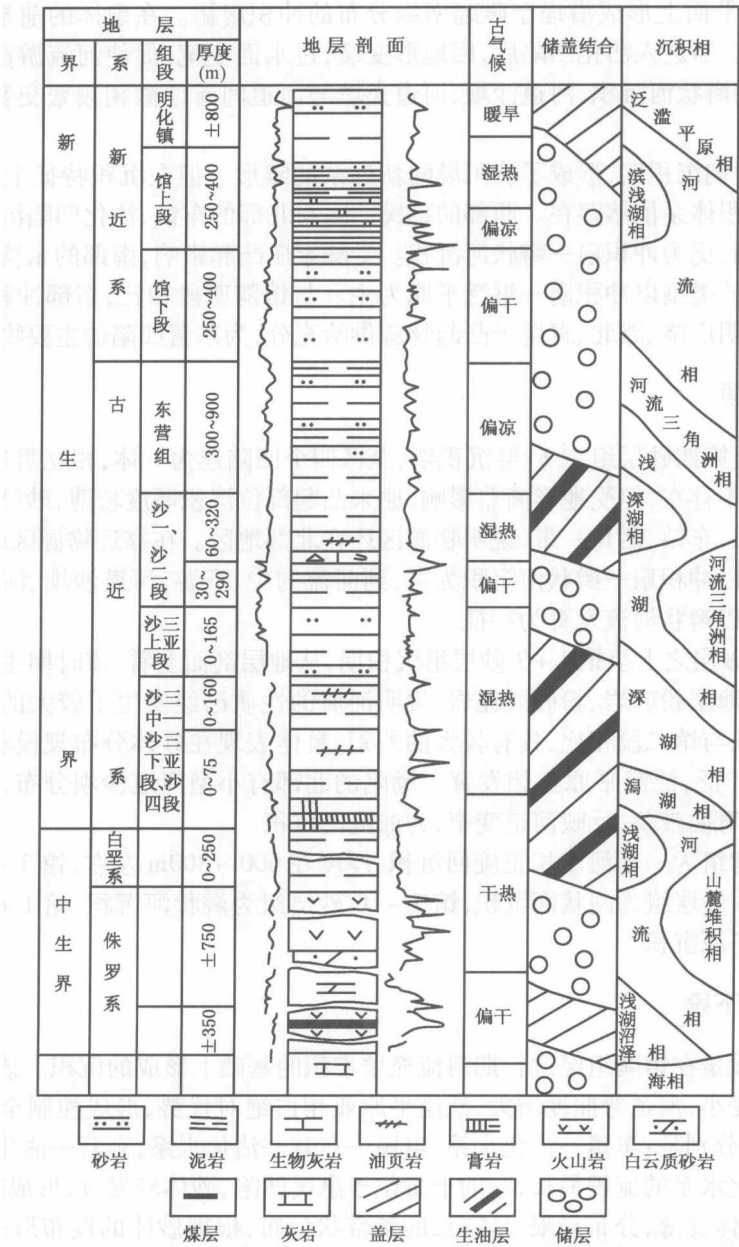


图 1-5 济阳拗陷地层格架和沉积相演化图