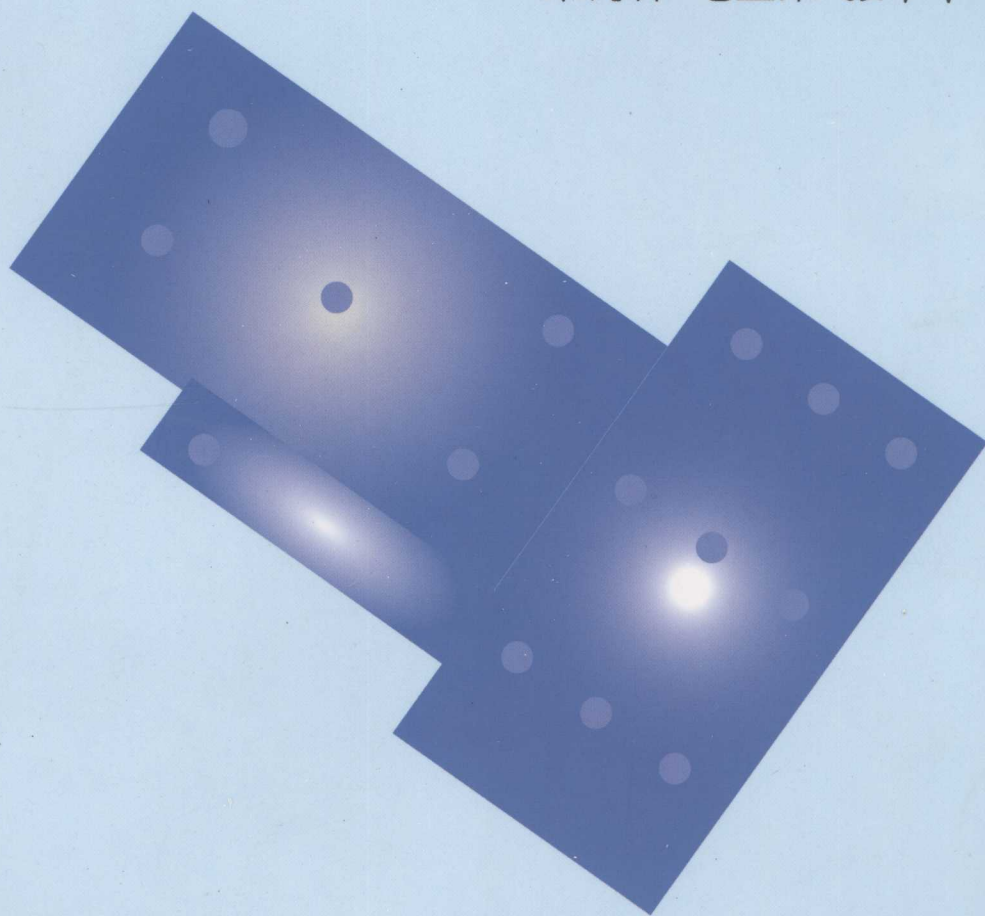


河道砂

边际稠油油藏 热采开发理论和技术

束青林 毛卫荣 张本华 著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

河道砂边际稠油油藏热采 开发理论和技术

束青林 毛卫荣 张本华 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以孤岛油田河道砂注蒸汽热采边际稠油油藏为实例,运用油田热采开发十多年所积累的丰富资料,采用开发地质学、室内物理实验和物理模拟、油藏工程分析及热采数值模拟等技术手段,系统阐述了河流相薄层边际稠油油藏的主要地质特征,研究了边际稠油渗流特征和渗流机理,揭示了蒸汽吞吐中后期剩余油分布规律和控制因素,形成了薄层边际稠油油藏热采井网加密、水平井优化、水侵综合治理、注采参数优化、热采防砂、地层解堵、注汽地面工艺及注蒸汽经济评价等配套技术。

本书可供石油地质、油田开发、矿场生产岗位的科研、技术人员和高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

河道砂边际稠油油藏热采开发理论和技术/束青林等著.
北京:石油工业出版社,2005.7
ISBN 7-5021-5142-7

- I. 河…
- II. 束…
- III. 稠油开采:热力采油
- IV. TE345

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 076850 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

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13

字数:327 千字 印数:1—1000 册

定价:30.00 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

《河道砂边际稠油油藏热采开发理论和技术》一书是束青林、毛卫荣、张本华三位同志长期从事油田开发生产和科研的成果,是孤岛油田开发史上的一件大事。

孤岛油田是我国 20 世纪 70 年代投入开发的大型整装稠油疏松砂岩披覆背斜构造油气藏,其原油粘度的分布为顶稀边稠,各小层原油粘度随深度增加而增加。稠油区位于孤岛背斜构造侧翼,纵向上分布为处于稀油与边底水之间的油水过渡带,平面上围绕孤岛油田呈环状分布,具有油层厚度薄、原油粘度大、储层埋藏深、泥质含量高、出砂严重、受水侵影响大的特点,属河道砂边际稠油油藏,投资风险和技术难度大,在国内外尚无成熟的开发理论和实用的配套技术可借鉴。

作者以孤岛油田河道砂边际稠油油藏为实例,利用十多年热采开发所积累的丰富资料,综合应用油藏地质精细描述、室内物理实验和物理模拟、油藏工程分析及热采数值模拟等技术手段,开展了孤岛油田河道砂边际稠油地层对比、微构造研究、沉积模式、隔夹层分布及油水分布规律等精细油藏描述工作,进行了孤岛边际稠油渗流特征、渗流机理及热采机理研究,建立了河道砂储层油藏精细模型,揭示了蒸汽吞吐中后期剩余油分布规律和控制因素,形成了薄层边际稠油油藏热采井网加密、水平井优化、水侵综合治理、注采参数优化、热采防砂、地层解堵、注汽地面工艺及注蒸汽经济评价等配套技术,成功地将厚度仅 3~10m 的边底水薄层稠油疏松砂岩油藏投入工业性热采开发,仅用了十年左右的时间就建成 100 万 t 的年产油能力,稠油热采已成为孤岛油田接替稳产的主导技术之一。其热采稠油年产量占到了整个胜利油田稠油产量的 50% 以上,成为目前胜利油田最大的热采稠油基地,取得了显著的经济效益。

读者可以发现,该书的特色之一是实例丰富,虽然绝大多数实例均来自一个颇具个性的油田,但由于作者的着意升华,这些实例无不可为类似油藏所借鉴;该书另一特点是,可操作性强,几乎所有实例都是作者亲身实践之成果,均来自于矿场实际,便于读者借鉴和应用。

本书较系统全面地总结、归纳、研究分析了孤岛油田稠油热采开发实践,建立了河流相薄层边际稠油热采开发模式,发展完善了孤岛油田特高含水期开发理论与技术,为河道砂稠油油藏高效开发提供了科学依据和实践经验。

全国劳动模范、教授级高级工程师、原孤岛采油厂总地质师:

束青林

序

我国油藏类型丰富,注蒸汽热力采油的稠油油藏是其中的一种。国内目前已形成了不同类型稠油油藏注蒸汽开发技术,如深层气顶、巨厚块状稠油油藏(辽河高升油藏),边底水活跃的块状稠油油藏(胜利单家寺油田),多油组厚互层边水稠油油藏(辽河锦45块),多油层薄互层状稠油油藏(辽河杜66块)。但对像孤岛油田这样具有原油粘度大、储层厚度薄、泥质含量高、油层易出砂、受注入水和地层水双重影响的边际稠油油藏,热采开发投资风险和技术难度大,如何进行注蒸汽有效开发,在国内外尚无成熟的开发理论和实用的配套技术可借鉴。作者针对其独特的油藏特点,进行相应配套技术攻关,成功地将厚度仅3~10m的边底水薄层稠油疏松砂岩油藏投入工业性热采开发,仅用了十年时间就建成100万t的年产油能力,使一个在常规技术条件下经济效益极低的薄层边际稠油油藏得到了高速高效开发,取得了显著效果,成为孤岛油田持续稳定发展的重要接替阵地,目前孤岛油田热采稠油年产量达到了96万t,占到了整个胜利油田稠油产量的50%以上。

《河道砂边际稠油油藏热采开发理论和技术》一书,资料丰富,内容充实,理论和方法技术先进,是作者长期从事油田开发生产与科研工作的结晶和升华。本书以孤岛油田新近系馆陶组上段河道砂边际热采稠油油藏为例,以不断提高热采油藏采收率为核心,采用研究与应用相结合的思路,综合运用多学科理论和方法,从孤岛油田热采稠油开发实践入手,精细解剖了孤岛油田河道砂边际稠油油藏地质特征,开展了边际稠油渗流流变特征及热采机理研究,建立了河道砂储层精细地质模型,揭示了水侵影响下蒸汽吞吐开发规律、剩余油分布规律及控制因素,配套形成了薄层边际稠油油藏高效开发的技术。

《河道砂边际稠油油藏热采开发理论和技术》一书的出版,不仅系统总结了孤岛油田热采稠油十多年的开发实践,而且进一步丰富了该领域的研究成果。相信该书的出版必将能给从事热采开发的广大科研工作者及现场技术人员以启迪,加速我国稠油热采开发技术的深化和发展。

蔡连俊

前 言

孤岛油田是我国 20 世纪 70 年代投入开发的大型整装稠油疏松砂岩披覆背斜构造油气藏,在 30 多年的开发历程中,探索形成了不同原油粘度储量有效开发技术。对构造位置较高、地面脱气原油粘度在 $250 \sim 5000 \text{mPa} \cdot \text{s}$ (50°C) 的“稀油”,采用注水(注聚合物)开发;对处于构造低部位原油粘度为 $5000 \sim 35000 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 的稠油区采用注蒸汽热采开发。

稠油区位于孤岛披覆背斜构造侧翼,纵向上分布为处于稀油与边底水之间的油水过渡带,平面上围绕孤岛油田呈环状分布。具有油层厚度薄、原油粘度大、储层埋藏深、泥质含量高、出砂严重、受水侵影响大的特点,在孤岛油田开发初期,曾采取过稠稀油层同时射开、以稀油带稠油及稠油层与下部水层同时射开、以水带油的试验,但由于稠稀干扰严重,常规开采无法正常生产。孤岛油田边际稠油投资风险和技术难度大,在国内外尚无成熟的开发理论和实用的配套技术可借鉴。

“九五”以来,从油田开发实际需要出发,针对其独特的油藏特征,紧紧围绕“资源有限、创新无限、解放思想、挑战极限”的战略指导思想,加强相应配套技术研究攻关,成功地将厚度仅 $3 \sim 10 \text{m}$ 的边底水薄层稠油疏松砂岩油藏投入工业性热采开发,仅用了十年左右的时间就建成 100 万 t 的年产油能力,取得了显著的经济效益,成为孤岛油田持续稳定发展的重要接替阵地。目前孤岛热采稠油年产量达到了 96 万 t,占到了整个胜利油田稠油产量的 50% 以上,为胜利油田最大的热采稠油基地。

该书共分八章。绪论主要介绍本书研究的主要内容、方法技术及研究特色与创新点。第一章介绍孤岛油田构造格架、沉积体系、油气藏类型及孤岛边际稠油油藏特征和热采开发状况。第二章阐述了河道砂边际稠油油藏精细地质模型,重点开展了孤岛油田河道砂边际稠油油藏地层精细对比、微构造研究、沉积模式、隔夹层分布特征及油水分布规律研究。第三章阐述了河道砂边际稠油的渗流特征、渗流机理和开发方式的选择。第四章、第五章分别论述了水侵影响下的边际稠油蒸汽吞吐开发规律、控制因素及剩余油分布规律。第六章和第七章系统介绍了孤岛油田河道砂边际稠油油藏在热采开发中形成的配套技术,重点论述了热采井网加密、水平井优化、水侵综合治理、注采参数优化、热采防砂、地层解堵、注汽地面工艺。第八章以一个典型实例详细介绍了稠油注蒸汽热采经济评价方法技术及过程,并对蒸汽吞吐开发技术经济政策界限进行了探索。

本书是参与孤岛油田稠油热采开发的广大技术人员集体智慧的结晶。在两年多的编写过程中得到石油大学刘泽容、胜利油田毕研鹏、刘建民教授级高级工程师的悉心指导,胜利油田地质科学研究院稠油热采开发研究室提供了部分资料,孤岛采油厂地质科研人员为本书付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心感谢。

由于笔者水平有限,书中有些观点和认识难免有不当之处,恳请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 河道砂边际稠油油藏概述	(6)
第一节 孤岛油田地质概述	(6)
第二节 河道砂边际稠油油藏特征	(15)
第三节 河道砂边际稠油油藏开发简况	(18)
第二章 河道砂边际稠油油藏精细地质模型	(21)
第一节 河道砂边际稠油储层精细地层模型	(21)
第二节 河道砂边际稠油储层微构造模型	(26)
第三节 河道砂边际稠油储层沉积模式	(29)
第四节 河道砂边际稠油储层隔夹层模式	(43)
第五节 河道砂边际稠油油藏流体模型	(47)
第三章 河道砂边际稠油渗流机理与开发方式	(56)
第一节 河道砂边际稠油流变特性	(56)
第二节 河道砂边际稠油渗流机理	(63)
第三节 河道砂边际稠油开发方式	(69)
第四章 河道砂边际稠油油藏蒸汽吞吐开发规律及控制因素	(75)
第一节 河道砂边际稠油油藏蒸汽吞吐开发规律	(75)
第二节 河道砂边际稠油油藏蒸汽吞吐控制因素	(83)
第三节 稠油蒸汽吞吐开发机理	(88)
第五章 河道砂边际稠油油藏蒸汽吞吐剩余油形成机理及分布规律	(92)
第一节 剩余油研究的原理与方法	(92)
第二节 河道砂边际稠油蒸汽吞吐可采储量预测	(93)
第三节 河道砂边际稠油蒸汽吞吐剩余油形成机理及分布规律	(97)
第六章 河道砂边际稠油油藏注蒸汽热采开发技术	(115)
第一节 河道砂边际稠油油藏热采井网加密优化技术	(115)
第二节 河道砂边际稠油油藏热采水平井优化技术	(124)
第三节 河道砂边际稠油油藏水侵综合治理技术	(137)
第四节 河道砂边际稠油油藏注采参数优化技术	(144)
第五节 河道砂边际稠油油藏进一步提高采收率技术展望	(146)
第七章 河道砂边际稠油油藏注蒸汽热采工艺技术	(148)
第一节 河道砂边际稠油油藏热采井防砂技术	(148)
第二节 河道砂边际稠油油藏高泥质含量地层解堵技术	(159)
第三节 河道砂边际稠油油藏优化注汽配套技术	(165)

第八章 河道砂边际稠油油藏注蒸汽热采经济评价技术 (173)

 第一节 油田开发经济评价方法 (173)

 第二节 河道砂边际稠油油藏热采产能建设项目后评估 (176)

 第三节 河道砂边际稠油油藏蒸汽吞吐开发技术政策界限 (192)

参考文献 (196)

绪 论

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。对于原油粘度较大的稠油油藏,由于油水粘度比大,其水驱采收率将更低,据对我国 19 个稠油注水开发区块实践证实,地层原油粘度大于 $100\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的稠油油藏的水驱储量的控制程度、注水开发效果均比较差,水驱储量利用系数一般小于 0.5,水驱动用指数小于 0.1,水驱采收率很低,一般不到 15%。因此,对于地层原油粘度大于 $100\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的稠油油藏,其开发方式采用注蒸汽热力开发更为合宜。

孤岛油田是我国 20 世纪 70 年代投入开发的大型整装稠油疏松砂岩披覆背斜构造油气藏,主要含油层系为新近系的馆陶组,分为上、下两段,主要开发层系为上段的馆 3~6 砂层组,属河流相正韵律沉积,其中馆 3~4 砂层组属曲流河沉积,馆 5~6 砂层组属辫状河流沉积。馆陶组原油性质为高粘度、低含蜡、低凝固点的沥青质石油,其原油粘度的分布规律为顶稀边稠,各小层原油粘度受小层深度控制,即随小层深度增加原油粘度增加。孤岛油田位于构造较高部位的“稀油”区主要采用注水开发,其地面原油粘度为 $250\sim 5000\text{mPa}\cdot\text{s}$,地下原油粘度 $20\sim 130\text{mPa}\cdot\text{s}$,油水粘度比大 ($80\sim 350$),注水开发容易引起舌进现象;对处于构造底部位地面原油粘度为 $5000\sim 35000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的稠油区主要采用注蒸汽热采开发。

河道砂储层特高含水期要实现油田开发持续稳定发展,主要有三个方面潜力:一是寻找新的接替资源;二是应用新技术挖潜老区剩余油、提高采收率;三是开发特殊类型油气藏等难动用储量。孤岛油田已属高成熟勘探区,探井密度达到了 $0.66\text{口}/\text{km}^2$,进一步寻找新的接替储量难度很大;同时,孤岛油田老区全部适合区块几乎都已开展了聚合物驱提高采收率技术应用,注聚区地质储量占到孤岛油田总储量的 42.5%,进一步提高采收率(四次采油)技术尚未成熟。因此,薄层边际稠油难动用储量的有效开发将成为实现油田持续稳定发展的主要潜力。

孤岛油田稠油区位于孤岛背斜构造侧翼,纵向上分布为处于稀油与边底水之间的油水过渡带,平面上围绕孤岛油田呈环状分布,分为馆 3~4、馆 5、馆 6 层三个稠油环;具有油层厚度薄(仅 $3\sim 10\text{m}$)、原油粘度大(50°C 时达 $5000\sim 35000\text{mPa}\cdot\text{s}$)、储层埋藏深(1310m)、泥质含量高($15\%\sim 20\%$)、出砂严重、受边底水和注入水影响大的特点,属河道砂热采边际稠油油藏。按中国稠油蒸汽吞吐开采筛选标准,孤岛热采稠油属二等 3~4 类储量,油藏条件较差;按胜利油田标准,孤岛热采稠油属三类薄层中渗普通稠油—特稠油,油藏条件远不如单家寺等其他油田。投资经济风险和技术难度大,在国内外尚无成熟的开发理论和实用的配套技术可照搬套用。在孤岛油田开发初期(1972 年)曾采取过稠稀油层同时射开、以稀油带稠油及稠油层与下部水同时射开、以水带油的试验,但由于稠稀及油水的层间矛盾,常规开采无法正常生产,稠油储量基本未动用。“九五”以来,从油田开发实际需要出发,针对该稠油环储层厚度薄、泥质含

量高、出砂严重、受边底水和注入水影响大的特点,开展了相应配套技术攻关,成功地将厚度仅3~10m的边底水薄层疏松砂岩稠油油藏投入工业性热采开发。于1992年在中二北馆5层开展了蒸汽吞吐开采先导试验,取得成功后逐步扩大热采规模,到2004年已建成了 100×10^4 t稠油年生产能力,有力的弥补了产量递减,热采稠油储量的动用已成为孤岛油田接替稳产的主战场。

但随着油田开发的深入,孤岛油田河道砂热采稠油面临着资源接替困难和高周期吞吐存在的诸多问题,加上受边底水和注入水水侵的双重影响,热采老区逐步进入高含水、高轮次吞吐开发阶段,油井含水上升加快、产量递减加大;“十一五”期间孤岛油田稠油热采新区潜力有限,而蒸汽吞吐后期接替开采方式仍不明确。因此,如何进一步提高老区开发效果,寻找新的产能接替阵地,保持稠油热采的稳产高产,是油田开发面临的一项重要工作;我们开展了“河道砂边际稠油油藏热采开发理论与技术”研究,通过对孤岛河道砂边际稠油储层和蒸汽吞吐开发规律的系统研究,加深了对剩余油分布规律的认识,配套完善了蒸汽吞吐中后期提高采收率技术,提高挖潜方案决策的科学性、有效性,提高了蒸汽吞吐开发效果和热采采收率。本书旨在把孤岛河道砂热采边际稠油高效开发配套技术与实践经验贡献给读者,以期大家共同提高。

一、国内外研究现状和发展趋势

稠油即高粘度重质原油。中国在20世纪50年代就有发现,并在60年代进行过小型热采试验。由于稠油在油层中的原油粘度高,渗流阻力大,甚至不能流动,因而用常规技术难以经济有效地开发。70年代以来陆续发现了大型稠油油田,对某些原油粘度相对较低的普通稠油油藏,采用常规开发方式投入工业性开发。从1982年开始,主要依靠中国自己的技术力量,在引进国外部分先进技术及装备的基础上,大力加强科学研究,经过“六五”、“七五”及“八五”三个国家科技攻关项目的试验研究,中国采用注蒸汽热采技术,将过去难以用常规方式开发的稠油油田相继投入了开发,1995年稠油热采达到了 1100×10^4 t。最近十多年来,中国的热力采油技术发展很快,蒸汽吞吐技术已成为稠油商业性开采的主要方法,深井蒸汽吞吐开采技术已经配套,并具有自己的特点。不同类型油藏的蒸汽驱先导试验也正在进行中,深层蒸汽驱开采技术正在完善、配套、提高中,浅层油藏蒸汽驱开采技术已投入工业性应用。

世界稠油的开采以热采为主,以2000年为例,全世界强化采油日产油 36.6×10^4 t,热力采油日产油 20.7×10^4 t,占56.6%;热力采油中注蒸汽开采占97%,火烧油层占2.2%,其他主要为SAGD、热水驱、电加热等。近几年来,世界稠油热采技术的进步和发展使稠油开采成本不断下降,而采收率却不断提高。已形成工业性应用成熟技术主要有:蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层技术(应用有限);开展矿场先导试验技术主要有:蒸汽辅助重力泄油(SAGD)、水平压裂辅助蒸汽驱技术(FAST);前沿研究的热采技术主要有:蒸汽与非凝析气推进技术(SAGP)、水平注空气技术(THAI)。

蒸汽吞吐是目前国内外大部分稠油油田采取的开发方式,国内目前已形成了不同类型稠油油藏蒸汽吞吐开发技术,如深层气顶、巨厚块状稠油油藏(辽河高升油藏),边底水活跃的块状稠油油藏(胜利单家寺油田),多油组厚互层边水稠油油藏(辽河锦45块),多油层薄互层状稠油油藏(辽河杜66块)。但对像孤岛油田稠油环这样具有原油粘度大、储层厚度薄、泥质含量高、油层易出砂、受注入水和地层水双重影响热采边际稠油油藏,投资经济风险和技术难度大,如何进行注蒸汽有效开发,在国内外尚无成熟的开发理论和实用的配套技术可照搬套用。

从查阅大量文献来看,目前国内外采用蒸汽吞吐开发的油田大都已进入吞吐中后期,基本上处在高含水高轮次开发阶段,采出程度低,剩余储量多。目前分析吞吐后稠油剩余油分布规律的方法较多,但对吞吐后剩余油分布规律并未进行深入系统的研究,特别是微观剩余油的分布规律研究和正韵律油层层内夹层对剩余油控制作用起步较晚,国外这方面的研究工作也做得较少。根据不同类型油藏剩余油分布的特点,有针对性地提出相应的开发技术策略,改善吞吐后稠油油藏开发效果,实现剩余油的有效动用、提高经济效益,是今后一段时间的发展趋势。因此为了稳定、提高孤岛油田乃至整个胜利油田的稠油产量,依靠科技进步开展河流相薄层边际稠油热采开发技术研究与应用,具有很强的前瞻性和探索性,同时也具有很强的理论意义和现实意义。

二、主要内容及方法技术

1. 研究思路和技术路线

本书以孤岛油田上第三系馆陶组上段河流相薄层边际稠油油藏为例,采用研究与应用相结合的思路,针对非均质严重的河流相边际稠油油藏的地质特征和蒸汽吞吐剩余油形成分布的特殊规律,瞄准国际前沿石油地质和稠油热采开发的理论发展动态,综合石油地质、地球物理、油田开发、计算机工程等学科的最新成果,运用多学科理论和方法,以储层精细地质模型和蒸汽吞吐开采特征及剩余油预测为核心,开展了孤岛河流相边际稠油油藏地层格架、构造模式、沉积模式及储层非均质性、隔夹层的成因类型、分布特征及空间展布的表征,研究了河流相薄层边际稠油的形成机理、分布规律、渗流特征及热采机理,建立了河流相地下储层的油藏宏观、微观动态模型,揭示了蒸汽吞吐中后期河道砂储层剩余油分布规律和控制因素,形成了薄层边际稠油油藏的井网加密优化、热采水平井优化、水侵综合治理、注采参数优化、热采井防砂及注汽工艺、高泥质含量地层解堵和注蒸汽经济界限政策等配套理论和技术,成功地将厚度仅3~10m的边底水薄层疏松砂岩稠油油藏投入工业性热采开发,使一个在常规技术条件下没有开采价值的河流相薄层边际稠油油藏得到了高速高效开发。

研究的技术路线概括起来就是:“一个中心,两个基本点”。“一个中心”就是以蒸汽吞吐十大配套技术为技术支撑,不断提高稠油热采开发效果和采收率;“两个基本点”即精细地质研究和开发特征及剩余油分布规律研究这两个基础研究。总体上形成“十大配套技术,两个基础研究”(图1)。

2. 研究内容及方法技术

1) 河道砂边际稠油油藏地质模型的建立及剩余油分布研究技术

重建了孤岛油田河流相薄层边际稠油地层、构造、储层、流体及油藏三维地质模型,客观地反映了目标区复杂油藏的地质规律和油水分布规律;同时,开展了蒸汽吞吐动态开采特征研究,通过采用生产动态综合分析、热采数值模拟等方法和技术,对孤岛油田蒸汽吞吐中后期剩余油分布进行了定量研究,对200m×283m反九点法井网蒸汽吞吐加热半径、温度场、含油饱和度变化进行了系统研究,阐明河流相储层蒸汽吞吐中后期剩余油分布规律和控制因素,确定了井网加密的潜力及挖潜方向。开展对剩余油挖潜目标进行综合评价和预测,明确了潜力及挖潜方向。

2) 河道砂边际稠油渗流特征研究及开发方式优化技术

针对一般普通稠油流变特性和渗流特征的研究均只研究原油本身,未能对原油和岩石的相互作用进行分析。为深入研究普通稠油的渗流规律,开展了油层条件下多孔介质中普通稠

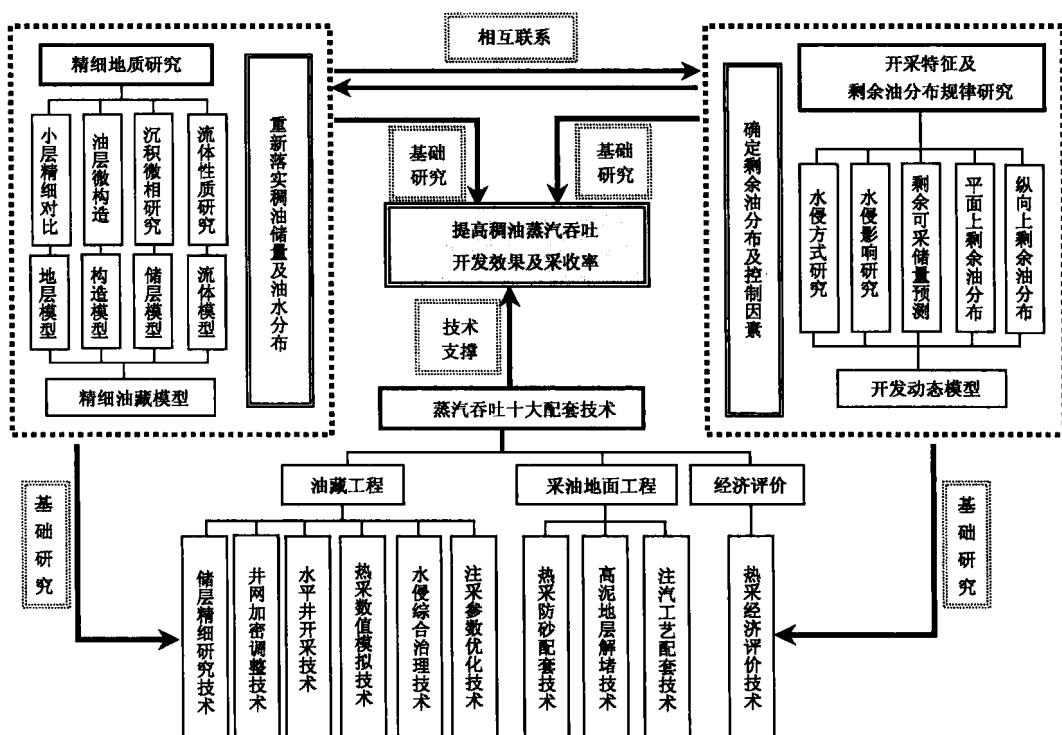


图1 稠油环蒸汽吞吐开发技术研究流程图

油的渗流和流变性特征研究,并对孤岛河道砂边际稠油开发方式进行了优化。

3) 河道砂边际稠油蒸汽吞吐中后期井网加密技术

通过应用数值模拟技术对井网加密进行了优化研究,编制科学合理的加密调整方案。即:

① 对储层物性较好、井网规则、油层厚度较大、油层层数较多的馆5稠油环,通过优化设计,在原200m×283m反九点法井网剩余油富集的对角之间进行加密,加密成141m×200m五点法井网;② 对油层厚度较薄、储层非均性大、油层更易出砂、油水关系更为复杂的馆6稠油环,根据其储层发育特征,制定了采用水平井与直井联合优化加密的措施。同时,开展了热采水平井油藏工程参数设计及优化,对水平井长度、方位、水平段位置、水平井注汽参数、采液强度及射孔方式进行了系统优化,保证了水平井的投产效果。

4) 河道砂边际稠油水侵综合治理技术

针对水侵的不利影响,根据热采区不同部位水侵方式的差异,采取“用、排、停、堵、避”相结合五字方针综合治理水侵,强化对边底水的利用与控制。即:在蒸汽吞吐初期,利用边底水能量延长油井生产周期提高油汽比;在热采区高含水边部下大泵排液,抑制边底水向内部推进;停注降注热采区附近同层系常规注水井,减少注入水水侵;同时,优选热采区南部、中部含水较高的热采井实施高温封堵,降低单井含水;并对新钻井提高避射底界,抑制水侵。

5) 河流相薄层边际稠油注采参数优化技术

针对不同开采层系、不同的水侵方式,按油井类型优化吞吐参数,延长了周期生产时间,改善了开发效果。

6) 河流相薄层边际稠油热采井防砂配套技术

热采井防砂实现了两个根本性转变。一是“高温涂敷砂→注汽→热采绕丝”的“两步法”

防砂向“高温涂敷砂(或 RC - G) + 热采绕丝→注汽”的“一步法”防砂的转变;二是热采防砂有效期由一个吞吐周期向多个吞吐周期的转变,强有力地保证了蒸汽吞吐的顺利进行。

7) 河流相薄层边际稠油高泥质含量地层解堵配套技术

通过化学解堵助排剂的室内筛选、试验和现场应用,先后研制开发了 SD - 4 深部解堵剂、BN - 5 地层清洗剂、HR - 2 薄膜扩展剂和硝酸粉沫酸化剂等,解决了油层粘土遇热膨胀堵塞孔道的问题,取得了良好效果。

三、研究特色及创新点

本书的研究特色及创新点如下:

- ① 建立了河流相边际稠油油藏精细地质模型,阐明了边际稠油形成机理和分布规律;
- ② 深入研究了受注入水和地层水双重影响下的薄层边际稠油油藏蒸汽吞吐开采特征及剩余油分布规律和分布模式;
- ③ 率先采用反九点法与五点法相结合、直井与水平井联合的加密井网技术,改善和优化了孤岛河流相薄层边际稠油油藏的热采井网,提高了采收率;
- ④ 通过油藏数值模拟、渗流物理模拟等技术手段,提出并采取“用、排、停、堵、避”相结合的综合治理水侵措施,提高了稠油热采产量,降低了含水上升率;
- ⑤ 研制开发了多种适合孤岛油田高泥质含量储层解堵剂,并将传统的两步法防砂转变为一步法防砂,明显地降低了稠油开采成本;
- ⑥ 形成了一套完整的河流相薄层边际稠油蒸汽吞吐开发理论和技术,对油田提高采收率具有重要的指导意义,并取得了显著的经济效益和社会效益。

说,孤岛油田含油丰度较高,平均为 $424 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,最高达 $748 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。

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)。

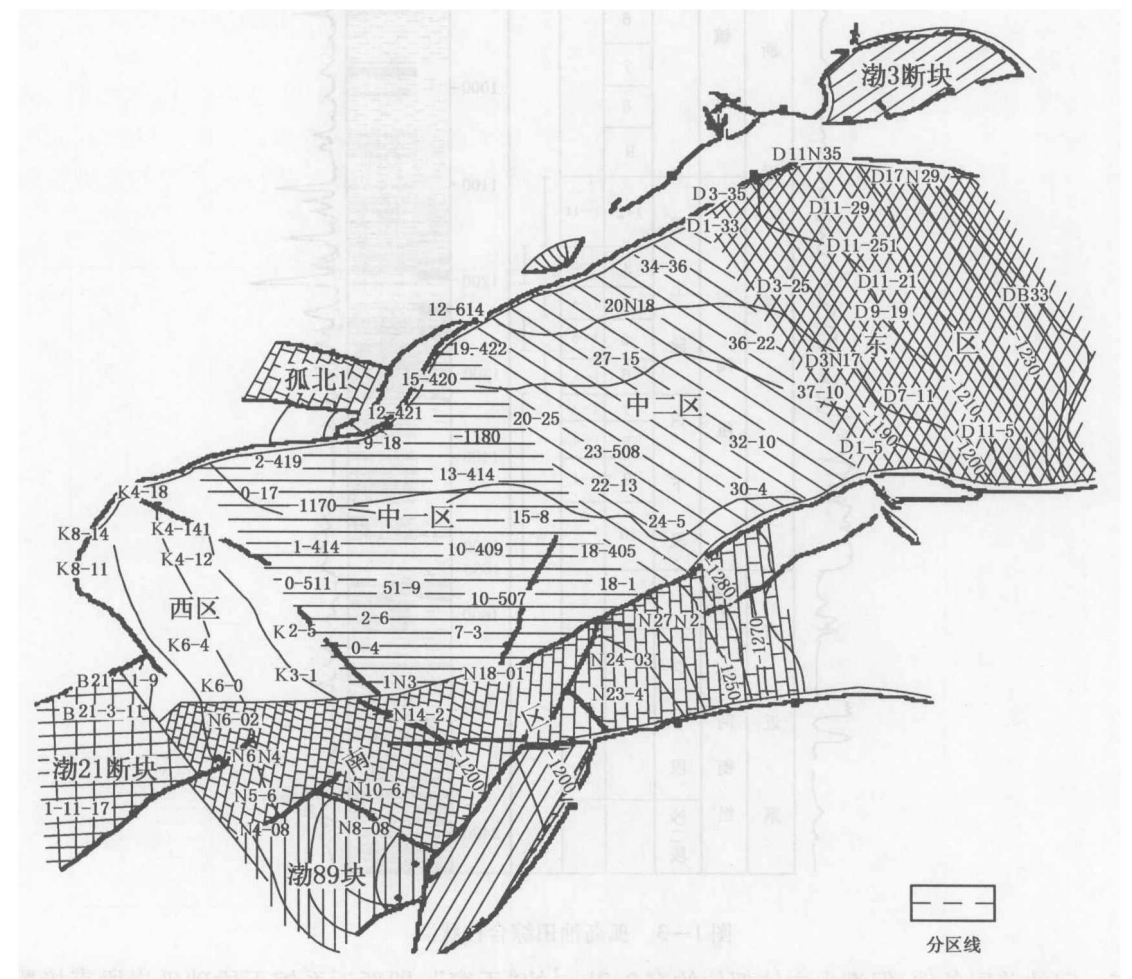


图 1—2 孤岛油田构造井位图

一、孤岛油田河道砂油藏构造格架

1. 孤岛披覆背斜构造特征

孤岛披覆背斜构造是在前古近系残丘古地形背景的基础上继承性发育起来的,构造形态比较完整,背斜构造高点位于中一区南部,高点埋深 1180m,走向北东,地层倾角平缓,顶部 $30' \sim 1^{\circ}30'$,翼部 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$,闭合面积 100 km^2 ,闭合幅度 140m(图 1—4)。该构造西南部断层比较发育,这些断层主要是由沉积作用形成的小断层,对披覆背斜构造整体面貌未起到破坏作用,但对油气富集起到一定的分割作用。潜山本身埋藏浅,埋深约 1500m,古近系超覆在潜山之上,

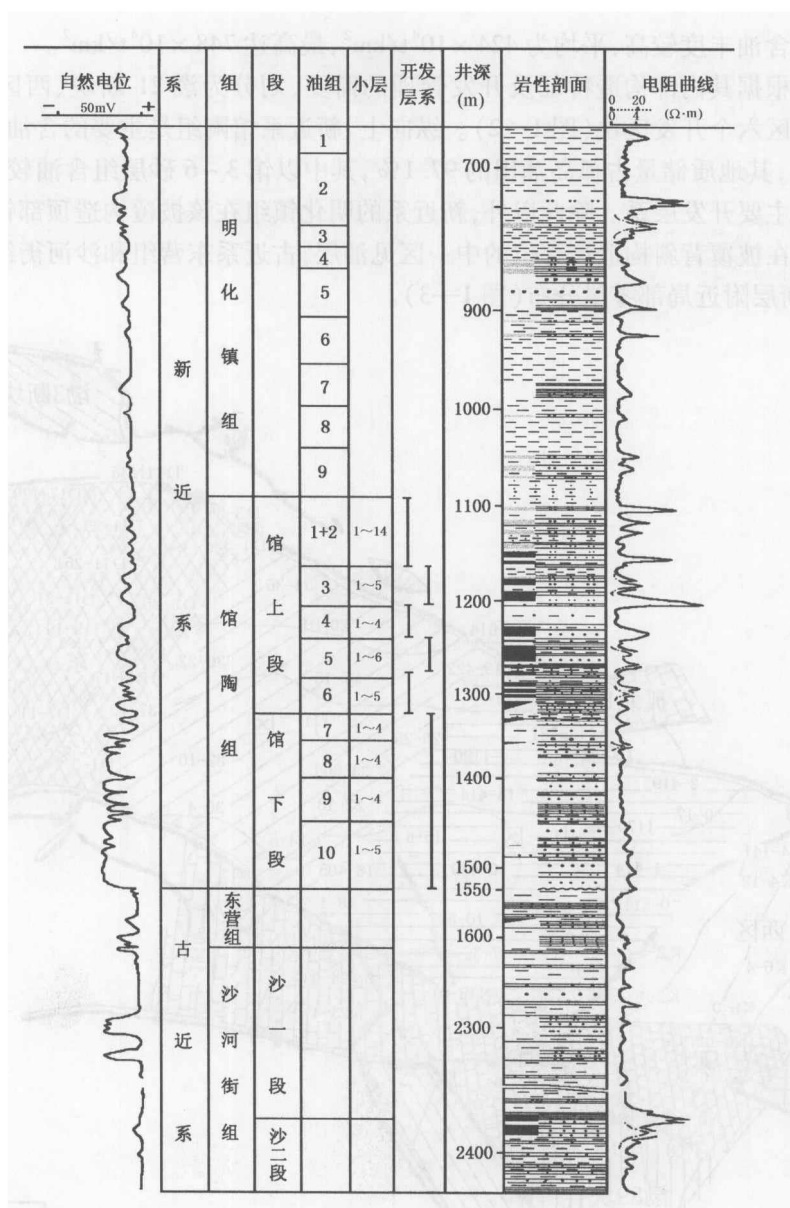


图 1—3 孤岛油田综合柱状图

有一定的盖层条件,但潜山主体部位约有 2.7km²的“天窗”,即新近系馆下段砂砾岩段直接覆盖于奥陶系灰岩之上,未能形成封盖层,虽然钻遇潜山的井已达 20 口,油气显示井段长,但均未获工业油气流,仅在南部被东营组泥岩覆盖的孤古 4 山头发现油气藏。

2. 孤岛油田断裂体系

孤岛油田主要发育了两条近东西向的孤北和孤南断裂,以及 23 条低级序的正断层,下面分别论述各自的特征和分布。

1) 孤北断层

孤北断层是孤岛凸起构造与孤北洼陷的分界线,其走向北东,与孤岛潜山伸展方向基本平行,倾向北西。剖面上呈上陡下缓的犁式,上陡倾角 50°~60°、下缓倾角 30°~40°。在潜山主体奥陶系落差为 1600m,馆陶组落差为 50m。该断层是开始于中生代长期活动的继承性断层,

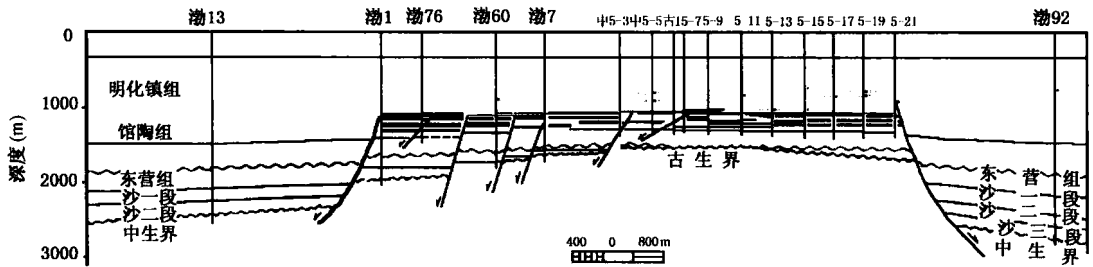


图 1—4 孤岛油田南北向油藏剖面图

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,尤其是在始新世沙三段—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。

二、孤岛油田沉积体系

孤岛油田位于济阳坳陷沾化凹陷的东部,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、中期的断坳阶段和晚期的坳陷阶段,三个阶段的盆地性质及主要特点详见表 1—1、图 1—5。

表 1—1 济阳坳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		坳陷阶段		坳陷为主	河流相沉积及冲积 洪泛平原相沉积
古近纪	渐新世末期 始新世—渐新世	断坳阶段	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	中生代末期 早—中侏罗世	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

济阳坳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。由于东营组沉积末期的地壳上升运动,整个坳陷遭受了不