



中国石油勘探开发研究院出版物

中国特色

油田开发理论与实践

金毓荪 等著



石油工业出版社

中国特色油田开发 理论与实践

金毓荪 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本以实践为基础,把几十年来开发油田的经历,加以梳理,提出了具有中国特色的油田开发理论和技术。油田开发是一项复杂、巨大的系统建设工程,不是单一科研题目,也不是一项技术发明。我国油田开发工作所以能持续发展,就是建立在不断发现开发地质规律、充分使用开发地质规律的基础上,这是科学思维的模式。

本书可供从事油田开发工作的工程技术、科研和管理人员,以及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国特色油田开发理论与技术实践/金毓荪等著.

北京:石油工业出版社,2012.9

ISBN 978-7-5021-9180-1

I. 中…

II. 金…

III. 油田开发-研究-中国

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161245 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

编辑部:(010)64523535 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:7.5

字数:95 千字 印数:1—2000 册

定价:36.00 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

《中国特色油田开发理论与实践》

编 委 会

主 任：宋新民

副主任：金毓荪

成 员：常毓文 田昌炳 胡永乐

编 写 组

主 编：金毓荪

成 员：王红庄 王延章 王思钧 刘翔鹤 刘雯林
石建姿 兰乘宇 宋新民 何鲁平 金毓荪
林志芳 周钰辉 张 锐 赵世远 袁庆峰
裘恽楠 窦宏恩 廖明书

参与讨论、提供资料的专家：（按姓氏笔画排序）

于立君 尹立柱 刘 恒 白喜俊
罗文钊 苗厚纯 赵庆东 欧阳健
甄 鹏 董 杰 裴占松

前 言

我国油田开发理论是我国从事油田开发的工作者首先应该总结和研究的大事,责无旁贷、义不容辞,这是我们共同的责任和义务。

本书是几十年来我们学习运用毛泽东所著《实践论》与《矛盾论》的体会。针对我国绝大多数油藏是陆相沉积的特点,在不断实践、不断认识的过程中,逐步形成了特有的油田开发理论。概括地讲,其最基本的理念包含了“分层(段)认识、分层(段)驱油、分层(段)保持压力开采”,可简称“分层(段)开发论”。

逐步的树立唯物辩证观点,努力发现“地质规律”、使用“地质规律”,使我们的实践是在理论指导下进行,油田开发工作才能不断地创新和持续发展。

由于我国的陆相油藏和西方的海相油藏有很大区别,我们从这一根本点出发,对症下药,使原油产量从 1949 年的年产量不到 10 万吨,至今已增至年产近 2 亿吨,投入开发的油气田 1949 年仅有几个小油田,目前大小油气田已有 800 多个。如此快速地开发,为我国经济建设、改善人民生活 and 增强国力等作出了巨大贡献。

开发油田所使用的技术内容都是从油田开发实践中,对其规律性问题进行考察与研究的结果,本书提出的一些概念是影响全局的关键,旨在避免犯战略上原则性的错误,而一些专业技术个别问题处理不当,只是犯战术上技术性的错误,所以本书没有过多地描述具体技术内容。为了掌握和驾驭油田开发的全过程,做到有序发展,要认真研究开发理论,以发挥其更高层次的指导作用。

油田开发中所使用的技术,大的方面有九项,在第二章中作了介

绍,但各油田要从本油田实际情况出发,以达到认识油田和改造油田的目的,因时因地处之,不可照搬照抄,避免犯一些难以改正的错误。油田开发是一项复杂的、系统的大工程,不是单纯的科学研究,也不是单纯的技术发明,而是直接生产力的工程建设,因此,必须建立“大开发”的概念,广义地讲,包括三个系统:

一是科技系统。过去开发方案编制中,对几项主体技术研究得多,如开发地质、油藏工程、钻井工程、采油工程和地面建设工程,这是必要的,正确的,要继续坚持。

二是管理系统。目前“挖掘”管理带来的经济效益还很不够,要将油田开发过程中员工培训管理、经营财务管理、生产技术管理和地下油藏管理等不断改革创新,及时调整政策和有关技术,从另一个角度解放生产力,推动油田开发工作。

三是思想文化系统。保证企业有正确的发展方向,员工有饱满的情绪,始终保持不怕困难、勇于创新的精神面貌。

从思维模式讲,西方国家多流行“分析的模式”,容易产生头疼医头、脚疼医脚的毛病,只见树木,不见森林。我们采用“综合思维模式”,从整体概念出发,研究相互关系、普遍联系,综合分析,这是研究战略问题所必需的。我们的油田开发工作要把这三大系统从组织上、工作安排上有机结合起来,把各方面的力量拧成统一的合力,这将战无不胜,我们过去在这方面有许多宝贵经验,在新形势下要更加发扬光大。

油田开发是一项大工程建设,如同水利工程和其他矿业工程,它是应用自然科学基础理论的某些观点,结合油田开发实际所逐步形成的应用科学。

一个油田的开发历程要几年、十几年、几十年,甚至要超过一百年,它所应用的专业技术也是多种多样的,要达到几十种门类,所动用的人

力一般也是几千、几万、十几万,甚至几十万。而油田深埋地下,又具有其复杂性和特殊性,这样带来了很多困难。自新中国成立以来,我国油田开发工程建设得到极大的发展,生产规模之大、技术进步之快、对国家贡献之多,为中外人士佩服和赞赏。这一切,创造了石油工业许多历史性的变化:

一是由一个半封建半殖民地依靠洋油过日子的国家,进而转变为一个年产近两亿吨的世界产油大国。

二是从几个小油田年产油不到 10 万吨,仅依靠简单的行政管理,后来又实行高度集中的计划经济,至今又转变为社会主义市场经济,融入国际的世界经济社会。

三是由过去依靠油苗露头资料挖掘采油,到目前已开发了较大规模的 800 多个油气田,拥有现代化高科技装备,创造了具有中国特色的油田开发理论,即“分层(段)认识、分层(段)驱油、分层(段)保持压力开采”。这一理论符合我国地质特点,符合我国国情,符合我国油田开发的历史。

四是自实施“两种资源”、“两种市场”方针以来,走出国门,参与了 20 多个国家的油田开发工作,促进了更为广泛的国际交流。

五是创立了大庆精神和铁人精神,这是精神变物质、物质变精神的宝贵经验。这是改变我们石油工业落后面貌无穷无尽的推动力。

六是创立了世界上没有的“干部工人岗位责任制”,充分发挥了他们的积极性和创造性,把油田每时每刻发生的千千万万的事,由千千万万的人有组织、有系统、有标准地管理好。

当前,我国正处于大发展、大变革、大调整时期,国内对油气产量需求日益增多,油田开发的工程建设也必须持续发展。因此,我们开发战线要继续广泛、持久地学习“两论”提高思维能力,认真总结从实践中

得来的认识,梳理出自己理论的新内容。当然,我们还要吸收别国的经验,但归根到底主要还是要有自己的经验。要进一步深入研究思考我国油田开发的规律,完善具有中国特色的理论,掌握油田开发的大趋势、大战略,作为今后油田开发的重要参考。

在本书的编写过程中,衷心感谢中国石油天然气股份有限公司总地质师、中国石油勘探开发研究院院长王道富对本书的关心和支持,衷心感谢中国石油勘探开发研究院专家室、开发所、开发规划所,以及大庆油田勘探开发研究院、采油工程研究院、大庆油田设计院、第一采油厂、井下作业分公司等单位所给予的大力支持和帮助!

由于我们经验和知识所局限,本书只是抛砖引玉,提出一点看法,对不足之处诚请读者批评指正。

目 录

第一章 理论要点	(1)
第一节 认识“地下”、改造“地下”	(1)
第二节 研究驱油的动力与阻力	(2)
第三节 对油层和流体变化规律的研究	(4)
第四节 采油生产模式	(6)
第五节 基本技术政策	(8)
第六节 油田开发的阶段性	(9)
第七节 具体情况区别对待	(11)
第八节 加强油藏科学管理	(13)
第九节 探索未来,创新发展	(15)
第二章 主要技术	(26)
第一节 开发地震技术	(26)
第二节 开发测井技术	(29)
第三节 开发地质技术	(38)
第四节 油藏工程技术	(46)
第五节 钻井工程技术	(52)
第六节 油田调剖、堵水技术	(61)
第七节 油田压裂技术	(64)
第八节 油田地面建设技术	(73)
第九节 稠油开采技术	(82)
第三章 思维方式	(94)
第一节 油田开发实践性原则	(94)
第二节 油田开发客观性原则	(99)
第三节 油田开发联系性原则	(101)
第四节 油田开发发展性原则	(104)
参考文献	(109)

第一章 理论要点

第一节 认识“地下”、改造“地下”

油田开发工程理论是在实践、认识、再实践、再认识的过程中逐步形成的,其目的就是不断研究搞清深埋地下的含油地质体情况,进而将其储存的原油采出。一个油田开发历程可以几年、几十年,甚至上百年,但自始至终都是按照这一法则反复进行的,因此,深化认识,从而掌握不同开发阶段的规律,是指导油田开发的最高原则,是实事求是的体现。

这个过程不是简单的重复,而是认识上的不断深化和提高,对这些规律的理性认识经过多次的实践,证明是正确的、有效的,这些理性认识就是理论,不能把理论神秘化,也不能庸俗化。

如何将开发过程的感性认识升华为理性认识,这一过程在实践中大致有如下流程:

- (1)要取全取准必需的资料和数据;
- (2)对资料和数据进行鉴定、分析、归纳与分类;
- (3)从单井入手,开展井层、井组、区块、整套的开发层系综合研究;
- (4)综合分析,冷静思考哪些做法对,哪些效果不好及原因,从对比得失、成功与失败中找出主观对客观的符合程度,这是最关键的一步;
- (5)提出下一步工作部署、战略与战术的要求;
- (6)进入新一轮的实践。

正如毛主席在《在中国革命的战略问题》中所指出:“关于指挥员

的正确的部署来源于正确的决心,正确的决心来源于正确的判断,正确的判断来源于周到的和必要的侦察和对于各种侦察材料的连贯起来的思索”。

上述的做法就是应用唯物主义世界观及辩证认识论来认识油田这个庞大而复杂的客体,进而提出符合我国国情且行之有效的油田开发战略。

第二节 研究驱油的动力与阻力

油田开发是一门复杂的物理力学,就其过程来讲,是原油在地下流动的动力不断克服其流动阻力,从油层各处流向井底,再从井筒将油举升到地面。

油田开发就是人们控制这一系统工程。如果压力控制得好,原油产量就大,也比较稳定,采收率就高;如果控制得不好,采油过程就很被动,油层压力下降,产量下降,含水上升,采收率也低。所以保持油层压力是油田开发的一项根本性措施,是油田开发的主导因素。

油田开发过程中应保持较高的地层压力,才能有较大的生产压差,才能有较高的产量,油井如果没有生产压差,那么产量等于零。

保持油层压力受地质因素控制,特别是由于我国大多是陆相沉积的油藏,含油层系较多,各层物性差异又大,所以造成各层的流动阻力差别很大,非均质性严重,在开发过程中要努力缩小这种差异,通过层系组合、油层改造和我们大量采用的油水分层工艺等措施,才能保持各层最佳的驱动方式,才能动用好各层的储量,提高总体采收率。

油田开发过程对油层的作用力,主要表现在动力和阻力两个方面。

一、动力

驱油的动力,包括边底水能量、重力作用能量、溶解气能量和弹性能量等各种天然能量。注水、注气、注各种驱油剂,即所谓的水驱、气



驱、混相驱、化学驱、热力驱、微生物驱等,是人工驱动作用的驱动能量。这些能量以压力或压差的形式作用于油层,称之为驱动力。在驱动力的作用下,克服油层中的各种阻力,把油驱到井底,再举升到地面。

二、阻力

油层开发过程中在层内会产生以下五种阻力:

(1)黏滞力。流体在流动中,如果各层流体流速不同,层间将产生内摩擦力,这种力就叫黏滞力,其大小的力度量就是黏度。

(2)重力。地球对物体的吸引力称物体的重力,流体的重力一般用重率来表示,重率定义为单位体积流体所具有的重量,流体重量和它的相对位置联系起来,就表现为重力势,它可用压力表示。流体向上运动时,表现为阻力;流体向下运动时,表现为动力。

(3)弹性力。岩石和其中饱和的流体均具有压缩性及弹性,因此使得油、气流动过程中产生弹性力,为了综合考虑岩石及其中流体的弹性,引入综合弹性压缩系数的概念,即每降低一个大气压时,单位体积岩石中孔隙及岩石中流体体积的变化。应该指出,岩石弹性的变化是有范围的,当外力作用超过一定限度时,就会产生塑性变形,就是通常所说的压敏效应。流体在弹性变形介质中和在塑性介质中,流动规律是不同的。

(4)毛细管力。油气层是由无数个微小的毛细管连接组成的,当其中一种流体驱替另一种流体时,在两相界面上会产生压力跳跃,它的大小取决于界面的弯曲度,这个压力跳跃就称为毛细管力。

(5)惯性力。在渗流过程中表现为质量力,流体的质量特性一般用密度来描述,密度是单位体积流体具有的质量,当流体开始流动或流动速度改变大小和方向时,就会产生惯性力,它在渗流过程中主要表现为阻力。

油田开发过程中,在不同驱动力的作用下,不同油田的油层中这五种作用力的大小、方向相互关系不同,有时表现为动力,有时表现为阻

力,因此开发效果也不同。为了开发好油田,就要深入了解油层中各种作用力的关系,尽量把阻力变为动力,以改善开发效果,提高油田采收率。

第三节 对油层和流体变化规律的研究

当选定“早期注水、保持压力开采”的方针开发油田后,对注水后油层和流体的变化规律需要不断加深认识。

油田注水后一切重大变化都受地质因素控制,储层的非均质性是油田变化的内因,注水是外因,外因通过内因起作用。

但是,搞清地下情况绝非是一件容易的事,在实际工作中只有极少一部分实际资料,还必须依靠人们主观的判断,这就要求主观上要有正确的哲理思维作指导。

油田有它自己的特性:一是隐蔽性,深埋地下;二是流动性,随着注水的推进,地下的原油也是流动的;三是多变性,注入剂和地下的原油及矿物颗粒表面都会发生物理、化学变化。所以油田开发后,地下不是静止的,而是运动的,由于我们工作对象时刻都在变化,所以不可能一次就认识清楚。

在没有注水之前,静态资料只是说明各层层间、平面、层内非均质的差异。注水之后,这种差异演变成了压力场的改变,产生相互干扰的矛盾,油田动态分析就是分析层间、平面、层内三大矛盾的具体表现及其最终变化结果,落实各层储量的动用情况、剩余油数量及分布范围。

储层研究是开发地质的核心内容,储层是油气聚集的场所,是我们直接工作的对象,对它的研究就是对剩余油的分布和数量测定的研究,这直接影响开发工作的内容和部署,是各阶段开发工作内容和布置的依据,是我们认识地下、改造地下的最终成果。储层研究实质就是搞清剩余储量分布和数量。

地质研究工作由于有上述内容,所以是一项事关全局的战略研究,



对油田开发工作有直接指导意义。

油田开发包含了地震、测井、钻井、采油和地面集输等工程,都属于战术范畴。它们都是围绕这一地质战略目标发挥各自专业的技术。战略目标的实现又是靠各项战术支撑,这样就有机组合成油田开发的系统工程。

油田地下情况的变化主要有以下四个方面:

(1)对岩石骨架的影响和作用。

① 温差作用:由于注入水和油层温差很大,长时间巨大的温差使孔喉表面和内部骨架的收缩和膨胀发生不协调,导致地下储层孔喉网络中的胶结物及骨架矿物在原地产生机械破碎,这就是油层内物理风化作用。假如注入水溶蚀储层,造成孔喉骨架和网络破坏,就是储层内流体的化学风化作用。

② 剥蚀作用:是由于油藏流体长期对储层冲刷作用造成的,这种作用导致孔喉骨架和网络的破坏和改造,将其产物剥离原地,同时也是储层中物质运移的重要动力。

③ 搬运作用:机械搬运可使储层中的长石、黏土地层中的微粒产生运移。孔喉中的化学风化剥蚀产物,一般呈胶体溶液,一方面随油水搬运到地表,另一方面也可以搬运到层内小孔道地方沉积下来,从而改造和破坏储层的孔喉网络与骨架。

④ 沉积作用:油层内流体将搬运的物质带到适当的位置后,周围的环境发生改变,而将所携带物质沉淀下来的过程。它使孔道变小,甚至堵塞。

上述四种作用,引起储层孔隙度的变化、孔隙结构的变化、渗透率的变化和润湿性的变化等。

(2)对原油组分和性质的影响。

① 油田注水后,由于注入水携带溶解氧、微量元素和多种细菌进入地层,使储层水淹区原油发生氧化还原反应和生物化学作用,导致原油组分发生变化。

② 注入水与原油长期接触,使原油性质发生变化,这种变化主要体现在原油密度、黏度、含蜡量、含胶量和凝固点,以及体积系数、气油比、压缩系数和饱和压力等的变化。

(3) 压力场的影响与变化。

由于注水开发过程中,累计注水量、累计采油量、累计采液量,以及注入压力、地层压力、井底流压变化,造成油层压力场、饱和度场变化。上述变化直接影响水驱波及厚度、波及面积、驱油效率及阶段采收率的变化。

(4) 油井、水井套管损坏对油田开发的影响。

综上所述,这些影响形成了不同时期和不同阶段的剩余油(包括可动剩余油和残余油)数量及其分布状态。我们要求在开发过程中,录取大量井口和井下资料进行跟踪分析,为下一步调整挖潜提供科学根据。

第四节 采油生产模式

油藏采油生产模式,也就是采油量随着时间变化的曲线,大体分为三种类型。

一、高产稳产采油曲线

高产稳产采油曲线示意图如图 1 所示,为什么有这样的曲线:

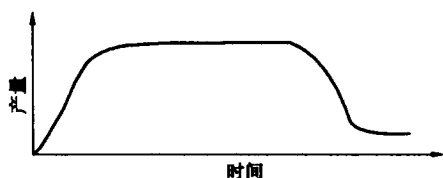


图 1 高产稳产采油曲线示意图

(1) 油田产量较大,对本区乃至全国都有一定影响,油田产量不允许大起大落,否则会引起其他产业和本地区甚至全国的经济发生波动。例如,大庆油田为什么要求采取长期稳定高产这一开

发方针,就是当时大庆油田产量所占比重较大,石油工业部要求“油田开发要适应国民经济发展的需求,保持一定的高产稳产期,力求取得较高的最终采收率和较好的经济效益。”这样保持了原油生产经常

处于主动地位。

(2) 这样做对认识地下情况比较有利,可以提供许多油藏生产动态资料,对下一步开发工作提供新的认识。

(3) 下一步的开发准备工作比较充分。

二、短期高产采油曲线

短期高产采油曲线示意图如图 2 所示。

(1) 西方国家追求企业的经济效益,不受政府制约,其目的是力求在短时期内资金得到回收,很快就转入盈利阶段。

(2) 在某种特定的环境下,如海洋油田以及他们的生产设备和管网,受海水、海风的腐蚀,使用期较短,不可能稳产很长时间。

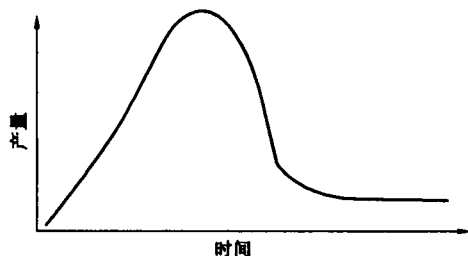


图 2 短期高产采油曲线示意图

三、低速开采采油曲线

规模较小的油田和一些渗透率比较低的油田,长期处于低速开发。低速开采采油曲线示意图如图 3 所示。

上述三种曲线的产生及原因有下列几点:

(1) 国家政策的指导。

(2) 企业内部条件的成熟程度。

(3) 开发环境的影响。

这三种模式对阶段采出程度影响极大,但对最终采收率的影响,尚无定论。



图 3 低速开采采油曲线示意图

第五节 基本技术政策

油田开发的方针政策是油田开发的纲领,提高油田采收率是一项基本的政策。

1954年12月,玉门老君庙油田第一口注水井开始注水,标志着我国油田开发工作进入一个崭新的阶段,有了正式的开发方案。当时确定的开发方针是“尽最大努力满足国家对原油产量的需要,探索发展油田开发技术,争取达到较高的采收率”,这是当时全国恢复上产时期油田开发的总方针。

大庆萨尔图油田发现后,石油工业部党组经过多次讨论并作出了决定,制订大庆油田开发的总原则是“以提高采收率为核心,在一个比较长的时期内稳定高产,只有做到一个比较长的时期内稳定高产,才能适应于全国各部门有计划发展的要求,才能充分发挥油田基本建设的作用,才能实现提高采收率的目的,只有提高采收率,才能够充分利用地下资源,给提高采油速度准备物质条件,实现经济合理的开发油田,也才能真正体现总路线的精神”。这个总原则阐述了大庆油田当时确定的高产稳产的缘由。

直到1988年3月,石油工业部颁布《油田开发管理纲要》第二条仍提出“油田开发达到设计标准后,必须保持一定的高产稳产期,并争取达到较高的经济极限采收率。”故大庆油田自开发以来,一直把提高采收率作为重要的技术政策。

1981年,国务院副总理余秋里在石油工业部油田开发调整工作汇报会上,指出“……要在提高采收率上下工夫,把它作为一项最主要的技术改革。”

以后在各届领导具体推动下,这项工作进展很快。

提高采收率主要是两个系数的要求,一是驱油体积系数要大,二是驱油效率系数要高。回顾我们的历史,一般在开发初期都有所考虑、有