

油田中后期开发动态 预测预警及开发规划

任宝生 刘志斌 赵 明 编著



石油工业出版社

油田中后期开发动态预测 预警及开发规划

任宝生 刘志斌 赵 明 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对油田中后期开发的动态特征,详细阐述了油田中后期开发预测预警及开发规划的全过程。内容主要包括中后期油田开发指标的相关性分析、油田中后期开发动态系统模拟、中后期油田开发动态预测预警及中后期油田开发规划理论与应用平台设计。

本书可供油田从事开发动态分析、规划的技术人员参考,亦可供石油与天然气相关专业的本科生、研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

油田中后期开发动态预测预警及开发规划/任宝生,刘志斌,
赵明编著. —北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7274-9

I. 油…

II. ①任…②刘…③赵…

III. 油田开发

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 117184 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) 64523579 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.25

字数: 365 千字

定价: 56.00 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

前 言

目前,国内东部大多数油田已陆续进入中后期开发阶段,相当一部分剩余可采储量将在这一阶段采出。中后期开发是油田开发过程中的重要阶段,油田进入中后期开发阶段对技术的要求更高,开发动态变化更加复杂,开发成本呈直线上升趋势,适应于其他阶段的常规动态预测与优化方法在解决这一阶段生产过程中的各种问题时将会遇到前所未有的困难,所以有必要研究一套更适合于中后期油田开发的预测预警及优化技术,准确把握油田中后期开发动态变化规律,采取有效控制措施,控水稳油、降低开发成本、提高油田经济效益、实现油田自身效益最大化。

制订科学的油田中后期开发规划方案,必须综合考虑国家计划指标、油田产能、油田开发投入以及油田自身的开发动态变化规律。因此,对油田中后期开发进行动态分析,研究新的开发动态预测方法以更好地把握其开发动态变化规律是非常必要的。油田开发动态预测就是利用预测理论与技术推断油田开发指标的动态变化规律和特征,以便制订科学合理的开发规划方案,指导我们更好地开发油田。油田开发动态预测本质上就是油田开发指标的动态预测,而从众多的开发指标及影响因素中,筛选出与油田生产过程关系最密切、最能反映油田开发动态变化规律的指标来进行预测,是首先要解决的问题。本书对油田中后期开发指标数据的基本特征进行了分析,提出了通过灰色关联性分析和模糊聚类方法对非线性指标数据进行分类及关联度计算的原理和计算步骤,分别对开发指标与开发指标之间、影响因素与影响因素之间、开发指标与影响因素之间的相关性进行了定性和定量分析,最终可确定出与产量相关性最强的开发指标及影响因素,大大提高了预测的准确度和水平,这无疑是本书的特色之一。

自20世纪70年代以来,油田动态预测问题的研究取得了很大的进展,已有的一些预测方法对解决油田实际问题起到了非常重要的作用。但随着油田进入中后期开发阶段,含水急剧上升,油田地质条件及油、气、水运动规律变得异常复杂,常规的油藏工程方法的适用受到限制。本书探讨了油田中后期开发动态预测的困难和问题,对油田开发动态预测的常用方法进行了适用性分析和评价,并结合油田自身的开发特征,研究了油田开发动态预测的几种新方法——支持向量机预测、基于时变系统的功能模拟预测、组合预测、智能预测及

概率模拟预测。这是本书的重点及又一大特色。

在油田开发动态预测的基础上,本书还讨论了油田开发动态预警的理论、特点及构建原则,提出了三种有效的油田开发动态预警方法——趋势预警、监控预警和规划预警。这三种预警方法克服了现有预警系统只是简单地将实时生产数据与规划开发指标值进行对比的缺陷,变“滞后”预警为“超前”预警,这样就能全面、准确地了解与把握油气田开发动态,及时诊断与发现油气田目前和将来面临的各项开发指标波动情况,并分析产生这些波动的原因,提出相应的解决办法。

油田开发规划研究是实现油气田科学合理开发的重要途径。本书建立了油田开发规划的单目标、多目标与二层规划优化模型,并对模型算法进行了详细研究。通过求解一系列的规划优化模型,可使油田开发沿着期望的轨迹进行,为油田开发的可持续性提供技术支撑。

本书不仅有翔实的理论分析,还对油田开发规划系统的构架进行了设计。提出了系统的数据库设计方案,并针对系统配置模块、相关性分析模块、油田开发动态预测模块、油田开发动态预警模块、产量跟踪分析模块、油田开发规划模块进行了详细地分析和讨论。利用配套软件即可实现油田中后期开发动态预测预警及开发规划,制订出既能遵循油田的内部机理,又能满足日益增长的国民经济建设对石油产量的需求,还能达到最优控制开采的开发规划方案。

由于编者水平有限,书中不妥之处,敬请各位专家和广大读者批评指正。

编著者

2009年11月

目 录

1 概述	1
1.1 背景	1
1.2 油田开发动态预测问题及分类	2
1.3 油田中后期开发动态特征及预测的困难和问题	3
1.4 油田中后期开发动态预测常用方法的适应性分析	12
1.5 本书的主要内容及特点	19
2 油田开发动态油藏工程分析预测方法	24
2.1 油藏工程研究对象	24
2.2 实用油藏工程计算方法	36
2.3 油田水驱开发动态指标预测的常规方法	51
2.4 油气储量预测方法	61
3 油田开发指标的相关性分析	66
3.1 油田中后期开发指标数据的基本特征分析	66
3.2 油田中后期开发指标数据的分类	71
3.3 油田开发动态指标及影响因素定性分析	71
3.4 油田开发指标与影响因素的相关性定量分析	75
3.5 实例分析	81
3.6 油田中后期开发预测指标体系	89
4 油田中后期开发动态系统模拟	92
4.1 油田开发动态系统功能模拟	92
4.2 油田开发指标及影响因素关联关系的功能模拟性	99
4.3 油田开发指标及影响因素的功能模拟预测	101
5 油田开发动态预测新方法	105
5.1 支持向量机预测	105
5.2 基于时变系统的功能模拟预测	116
5.3 组合预测	119
5.4 智能预测	122
5.5 概率模拟预测	124
6 油田开发动态预警及开发规划	136
6.1 油田开发动态预警理论	136
6.2 油田开发动态预警的特点及构建原则	137
6.3 油田开发动态预警系统	138
6.4 油田开发动态预警方法	140

6.5 油田开发规划优化模型	157
6.6 油田开发规划优化模型算法研究	172
7 油田开发规划系统平台设计	179
7.1 油田开发规划系统的构架	179
7.2 系统数据库设计	179
7.3 系统配置模块	186
7.4 相关性分析模块	190
7.5 油田开发动态预测模块	194
7.6 油田开发动态预警模块	201
7.7 产量跟踪分析模块	202
7.8 油田开发规划模块	205
参考文献.....	220

1 概 述

1.1 背景

近年来,随着国家对原油需求的增长与油田公司生产能力的矛盾日益突出,制订合理完善的油田开发规划就显得尤为重要。目前国内各大油田已陆续进入中后期开发阶段,开发动态变化异常复杂,开发成本呈直线上升趋势,如何准确把握油田开发动态变化,采取有效措施控水稳油、降低开发成本是各油田当前面临的严峻问题。

随着我国大型国有石油天然气企业改制的完成,油气田公司机制与机构改革的完善,国外油气田公司先进管理理念的引入,油气田公司已从过去的完成计划任务向着追求自身的效益过渡。即如何提高油气田的效益是现在及今后各大油气田公司面临的最主要的问题,而解决这一问题的关键就是如何制订科学合理的油气田开发规划方案。为了编制油田中后期开发方案,必须在准确把握油田动态变化规律的基础上综合考虑政治、经济、技术等各方面因素,即在掌握油田开发动态规律的基础上,进行系统分析和科学规划决策,实施最优控制,建立一系列油气田开发规划优化模型。通过模型求解,制订一个既能遵循开发油田的内部机理,又能满足日益增长的国民经济建设对石油产量的需求,还能达到最优控制开采的开发规划方案,提高油田经济效益,实现油田自身效益最大化。

本书的主要目的是通过建立油田开发规划数据库平台,根据油田开发过程中的各项数据掌握油田中后期开发自身的动态变化特征,对其进行系统分析、预测预警和规划,以便实施油田开发的最优控制,制订出科学合理的开发规划,最终提高开发水平,使上游生产数据库在开发规划中得到更好的应用,使开发规划的相关研究工作(如开发动态分析预测及预警、经济效益评价及预警、产能建设后评估等)上一个台阶,并为油田中后期开发的最优决策提供必要的理论及技术支持。

制订油田中后期科学开发方案,必须综合考虑国家计划指标、油田产能指标、油田开发投入以及油田自身的开发动态变化规律,所以开发动态分析预测是开发规划必备的基础。我国油田总体已进入中后期开发阶段,由于中后期是重要的开采阶段,有相当一部分剩余可采储量将在这一阶段采出,因此,研究油田中后期开发规划动态预测方法非常必要。纵观油田开发规划动态预测的国内外现状及进展,还没有专门关于这方面的研究报道。搞清油田中后期的采液速度、采油速度、含水上升及开井数等开发动态特征的变化规律,研究油田中后期产油量、产液量、剩余开采储量、含水率、采出程度、采收率等开发指标的预测方法对于提高油田中后期开发指标预测的准确度和水平、指导油田开发以及准确把握油田开发趋势具有重要的现实意义。

自 20 世纪 70 年代以来,油田动态预测问题的研究取得了很大的进展。分析近几十年来预测研究的实践,明显看出在解决复杂的油田动态预测问题过程中存在着两种截然不同的研究方法,一是传统的分析方法,它强调系统状态变化的因果性,坚信还原论对油田动态系统的有效性;二是现代系统分析方法,它认为油田动态系统是一种信息不完全系统,因此主张

用“整体论”代表“还原论”、用“目的论”代表“因果论”，依据输入输出信息，再参照对系统物理知识和其他方面的了解进行建模。本章首先介绍油田开发动态预测问题及分类；其次指出中后期油田开发规划动态预测的困难和问题；然后对油田开发动态预测的常用方法进行适用性分析评价；接着剖析油田中后期开发动态规律；最后提出油田中后期开发规划动态预测方法研究趋势。

1.2 油田开发动态预测问题及分类

预测是认识客观世界的一种方法，是一门跨越时空的透视科学。预测科学的显著特征是根植过去，立足现在，推断未来。即在可靠原则信息的基础上研究客观事物过去、现在和将来的演变规律性，最终目的是为未来的最优化和最优控制提供依据。

由于预测是对目前尚未发生事物的推断，而事件在未来的时域中往往存在着多种可能性，因此，预测研究有两个特点：一是探讨未来；二是推测与未来有联系的不确定性。显然，预测的作用在于帮助人们逐步认识和控制这种不确定性，使之对未来的无知降到最低限度。因此油田开发预测应遵循下述的基本原理：知识性原理——指人们能够认识预测对象及其相关事物发展变化的规律性；惯性原理——是指系统状态发展的惯性，即时间上的续前延后效应，二是指系统的结构稳定或随时间变化遵循着某种规律性；相关原理——相关性有多种表现形式，其中最主要、应用最广泛的是因果关系，其特点是原因在前，结果在后，两者间存在着某种简单函数关系；近大远小原理——近期数据比远期数据对未来影响大，或者说预测客体在时间离过去越远时，它取决于过去趋势的程度越小；概率推断原理——由于各种因素的干扰，常常使变量的未来表现出随机形式，当推断预测结果能以较大概率出现时，就认为这个结果是成立的；反馈原理——预测反馈的目的在于实现整个预测过程的动态化和最优化，即通过预测偏差反馈实现模型的修正与完善。上述的基本原理是预测技术或方法成立的基础，只有承认上述原理的有效性，才可能承认利用这些原理所建立的预测方法的有效性。特别应该指出的是，任何一项预测研究事实上都存在着一个对被预测对象及对象所处的环境所作的一些假设的问题，而这些假设在原理上均不能违背上所述的预测基本原理，否则预测结果就变得毫无价值。

随着预测理论与技术的不断发展，定量预测模型经历了统计学模型、计量经济模型和控制论预测模型三个阶段。就控制论预测模型而言，它是借鉴工程控制理论、系统辨识理论，发展了系统动力学模型、卡尔曼滤波、动态系数、多层递阶等动态预测模型和自适应预测模型，但这些高级外推技术所能解决的仍然是具有动态特征的静态问题，如线性时变系统、线性非时变系统、非线性非时变系统，而对于非线性时变系统的辨识问题目前仍在研究，还没有形成一套完整的、适用的方法。

油田开发规划动态预测就是利用预测理论与技术推断油田开发规划指标的动态变化规律和特征，便于制订科学合理的开发规划方案，指导人们更好地开采油田。油田开发规划动态预测问题本质上就是油田开发指标的动态预测问题，其基础是开发指标分析。油田开发动态预测问题按输入和输出变量的多少可分成三类问题。一类是单变量单因素预测问题，该类问题只有一个输入变量和一个输出变量。在油田开发动态规划预测中，重要的单变量单因素预测问题是基于时间序列的预测，它依据油田的某个开发指标的历史值来预测该指标未来的变化过程和演变趋势，由此预测某个（某些）时间点的数值。例如，依据产油量开发指标与时

间的历史数据，预测某个（某些）时间点的产油量问题，该问题可见表 1.1 所示。

表 1.1 单变量预测问题

时间（年份）	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
产量，万吨	32	21	130.3	18	70.4	?	?

二类是单变量多因素预测问题，该类问题有多个输入变量和一个输出变量。在油田开发动态规划预测中，重要的单变量多因素预测问题同时考虑了某个开发指标与时间和它的其他相关影响因素的关系，它依据油田的某个开发指标和其相关的影响因素的历史值来预测该指标未来的变化过程和演变趋势，由此预测某个（某些）时间点的数值。例如，依据产油量开发指标与其多个影响因素的历史数据，预测某个（某些）时间点的产油量问题，该问题可见表 1.2 所示。

表 1.2 单变量多因素预测问题

时间（年份）	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
产量（变量），万吨	32	21	130.3	18	70.4	?	?
生产井数（因素），口	28	26	136	24	63	140	13
注水井数（因素），口	24	30	142.3	27	58.7	180.9	13.6
措施量（因素），万吨	17	28	147	30	50	200	14

三类是多变量多因素预测问题，该类问题有多个输入变量和多个输出变量。在油田开发动态规划预测中，重要的多变量多因素预测问题同时考虑了某些开发指标与时间和它们的其他相关影响因素的关系，它依据油田的某些开发指标的历史值来预测这些指标未来的变化过程和演变趋势，由此预测它们某个（某些）时间点的数值。例如，依据产油量、产水量和采出程度三个开发指标与其多个影响因素的历史数据，预测某个（某些）时间点的产油量、产水量和采出程度问题，该问题可见表 1.3 所示。

表 1.3 多变量多因素预测问题

时间 （年份）	输 入				输 出		
	生产井，口	注水井，口	注水量，万吨	措施量，万吨	产油量，万吨	产水量，万吨	采出程度
2002	34	21	130.3	18	70.4	110.6	12.9
2003	28	26	136.7	24	63.3	140.3	13.1
2004	24	30	142.3	27	58.7	180.9	13.6
2005	17	28	147.6	30	50.3	200.1	14.6
2006	16	26	140.2	31	?	?	?
2007	15	25	138.1	32	?	?	?
2008	13	24	135.3	34	?	?	?

1.3 油田中后期开发动态特征及预测的困难和问题

在本节中，首先分析了油田在不同含水采油期的开采特征，并总结了不同类型油藏、不同含水阶段油田开发指标的变化规律，从而挖掘出油田中后期开发动态分析出现的困难和问题

题的根源。

油田开采程度、开发状况、开发动态规律因开发阶段不同而不断地发生变化。下面以大港油田为例，针对五种不同类型油藏给出不同含水采油期油藏的开发特征分析及油田开发指标的变化规律。

1.3.1 不同含水采油期的开采特征

在油藏开发过程中，一般认为当油藏综合含水不大于 60% 为中低含水期，综合含水在 60%~90% 为高含水期，综合含水大于 90% 即进入了特高含水开发阶段。开发进入中后期阶段的油田通常处于中、高或特高含水期。

1.3.1.1 中低含水采油期开采特征

低含水采油期（含水 0%~20%）是注水见效、主力油层充分发挥作用、油田上产阶段。由于新井不断投入，产量、液量不断上升，含水上升幅度不大。对于天然能量不足的大、中型多层砂岩油藏、溶解气驱油藏，采取早期注水的开发方式，可以保持油层能量，使油井保持较长的低含水开采期。

中含水采油期（含水 20%~60%）的特点是含水明显加快，液量上升幅度较大，地层中压力消耗与生产压差增加，油水分布逐渐复杂化，各种矛盾加剧，储量动用下降，自喷能力不断下降，产能受到越来越大的限制。该阶段一般由基础井网进行开发，层间干扰现象十分突出。由于初期注水井全井笼统注水，采油井全井合采，因此注入水主要进入高渗透层，导致高渗透层动用较好，中低渗透层动用较差或基本未动用，注入水的单层突进和平面舌进现象比较严重。其主要措施是调节开发层系中若干主要小层之间的干扰。

1.3.1.2 高含水采油期开采特征

该阶段（含水 60%~90%）一般为快速提液阶段，随着液量的上升，含水快速上升，油水运动与分布已变得复杂，剩余油比较分散，采油指数很低，耗水量急剧上升，措施效果明显下降，抽油方式已成主体，油井状况大大变差，开采难度加大，工作量和效益变差，油藏排液量接近或达到最大合理值，开发方法全面强化，产油量进入较大的递减期。该阶段主力油层含水已高，基本被淹，层间干扰现象加剧，较稀的基础井网已经不能适应油层的平面非均质性，而层间非均质性也越来越明显。因此，必须细分开发层系，进行加密调整。此外，由于含水的升高，保持原来的采液强度不变，油井的产油量就会下降。所以该阶段的主要任务是及时掌握油藏油井产能和含水等变化规律，处理好有效排液与含水上升快之间的矛盾，找准接替稳产的重大潜力，首先是主力层上的潜力，适时采取有效的调整措施，增大动用程度，增加可采储量，提高有效排液量，保证含水正常上升率，努力延长高产稳产期。

1.3.1.3 特高含水采油期开采特征

当油田的含水达到 90% 以上时，油田的可采储量的采出程度已经很高，一般达到 70% 以上，地下的油水分布状况有了很大的变化。此时油井含水很高，但产油量下降，调整井效果明显变差，井下作业措施效果降低，导致油田递减加快。从理论无因次采油采液指数的变化（图 1.1 和图 1.2）来看，对于中、高粘度油藏，该阶段采油指数下降幅度增大，采液指数成倍上升。增加可采储量、提高采收率是这一阶段的主要目标。挖潜的主要对象是高度分

散而又局部相对富集的、不再大片连续的剩余油。具体措施是搞清剩余油的分布，开展综合调整加密，控制含水上升等工作。

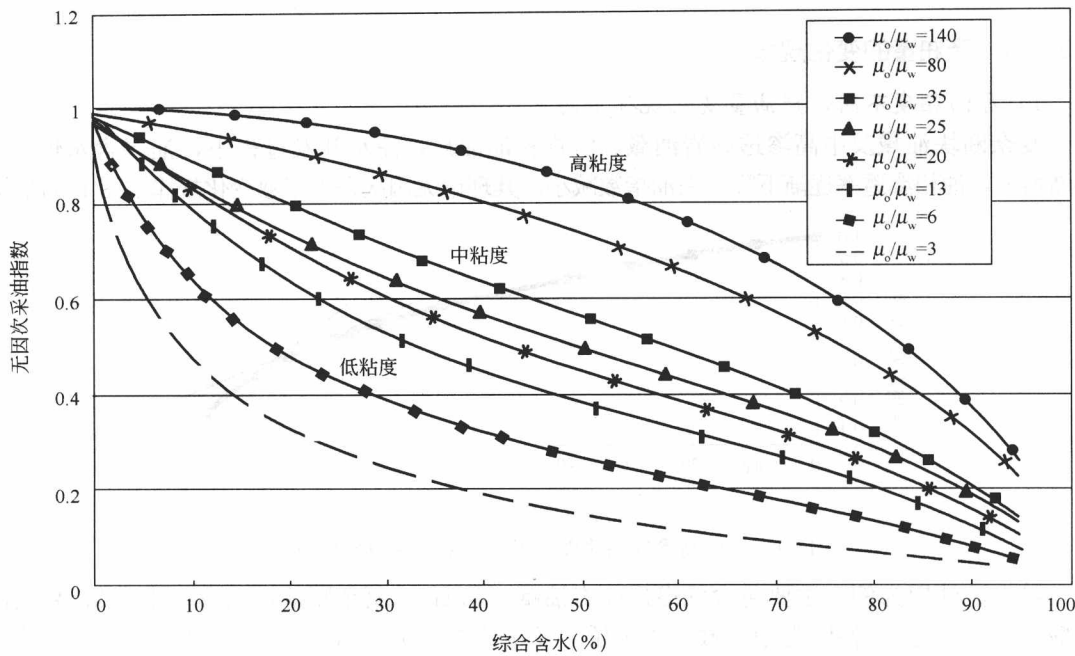


图 1.1 不同原油粘度比条件下无因次采油指数变化曲线

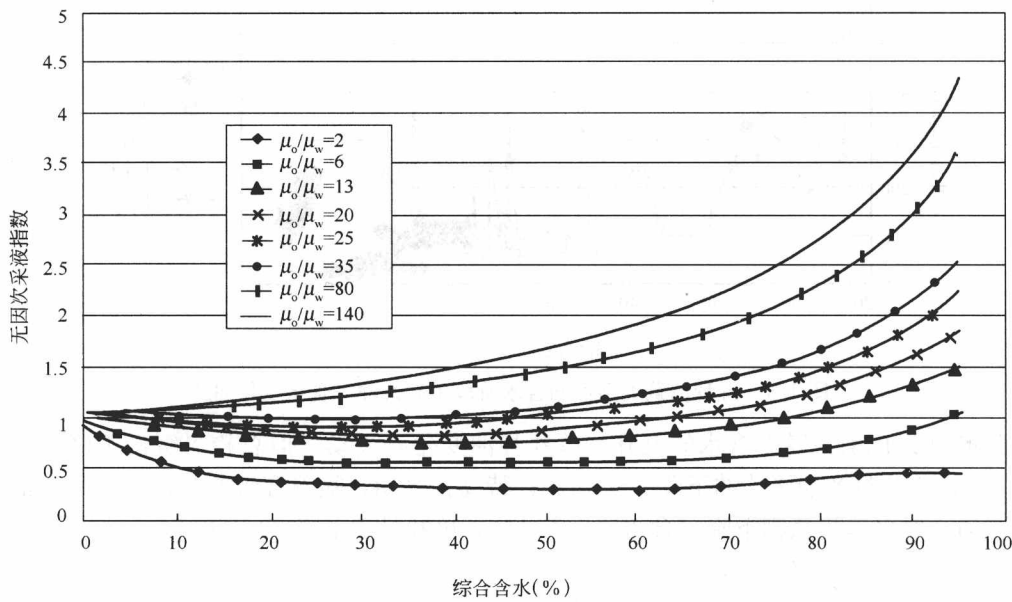


图 1.2 不同原油粘度比相同渗透率无因次采液指数变化曲线

图 1.1 给出了不同油水粘度比下的无因次采油指数变化规律，随着含水的上升，无因次采油指数下降。中、高粘度油藏，高含水期及特高含水期无因次采油指数下降幅度增大。

图 1.2 给出了不同油水粘度比下的无因次采液指数变化规律，随着含水的上升，无因次

采液指数上升。中、高粘度油藏，高含水期及特高含水期无因次采液指数成倍上升。

1.3.2 不同含水阶段油田开发指标的变化规律

1.3.2.1 产油量的变化规律

1) 原油粘度不同，产油量变化规律不同

复杂断块油藏及中高渗透砂岩油藏属常规稠油油藏，注水开发过程中，油层含水饱和度不断增大，油相渗透率逐渐下降，采油指数减小，其理论无因次采油指数变化规律如图 1.3 所示。

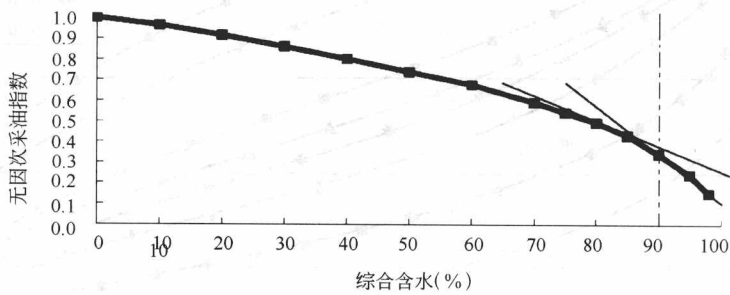


图 1.3 中高渗透油藏理论无因次采油指数变化曲线

以大港油田为例，主要包含低渗透砂岩油藏（马西）、复杂断块油气藏（港东）、裂缝性碳酸岩（王徐庄）、特殊类型油藏（千米桥）及中高渗透砂岩油藏（羊三木）类型，单井月产油与综合含水率的实际变化规律如图 1.4 所示。

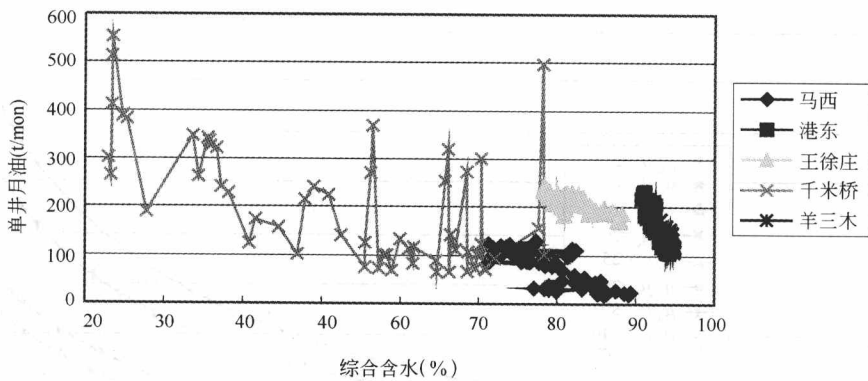


图 1.4 五种油藏类型不同含水阶段单井月油—含水变化曲线

含水 90% 以前，随着含水的上升，单井月油变化有波动，但总趋势缓慢下降，含水每上升 1%，单井月产油平均约下降 3~45t/d；特高含水期，随着含水上升，单井月产油变化也有波动，但总趋势急剧下降，含水每上升 1%，单井月油下降 30~50t/d。

2) 采油速度的变化规律

随着可采储量采出程度的增高，油藏的采油速度不断减小，低粘油藏（原油地下粘度小于 10mPa·s）的采油速度一般高于非低粘（原油地下粘度大于等于 10mPa·s）油藏的采油速度，但低粘油藏采油速度的递减较非低粘油藏采油速度的递减大，其重要原因是低粘油藏的提液幅度不及非低粘油藏，非低粘油藏的大幅度提液在一定程度上减缓了产量的递减。因此要减缓油藏采油速度的递减，需控制单井液量的下降趋势，力争单井液量不下降或少下降。

低渗透砂岩油藏（马西）、复杂断块油气藏（港东）、裂缝性碳酸岩（王徐庄）、特殊类型油藏（板桥4）及中高渗透砂岩油藏（羊三木）单井日采油速度与综合含水率的实际变化规律如图 1.5 所示。

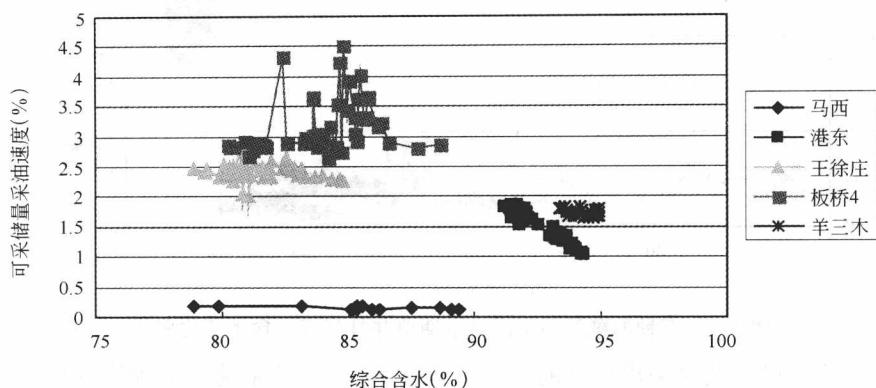


图 1.5 五种油藏类型不同含水阶段采油速度与含水变化曲线

含水 90% 以前，随着含水的上升，采油速度变化有波动，但总体缓慢下降，含水每上升 1%，采油速度平均下降 0.01%~0.1%；特高含水期，随着含水上升，采油速度变化也有波动，但总体下降剧烈，含水每上升 1%，采油速度平均下降 0.10%~0.20%。

1.3.2.2 产液量的变化规律

1) 产液量的变化规律

大港油田中高渗透砂岩油藏及复杂断块油藏，以中粘度和高粘度油藏为主，属常规稠油油藏，注水开发过程中，油层含水饱和度不断增大，油相渗透率逐渐下降，水相渗透率逐渐上升，采水指数和采液指数不断增大，特别是开发中后期，理论上采液指数增长更快。无因次采液指数理论变化规律如图 1.6 所示。

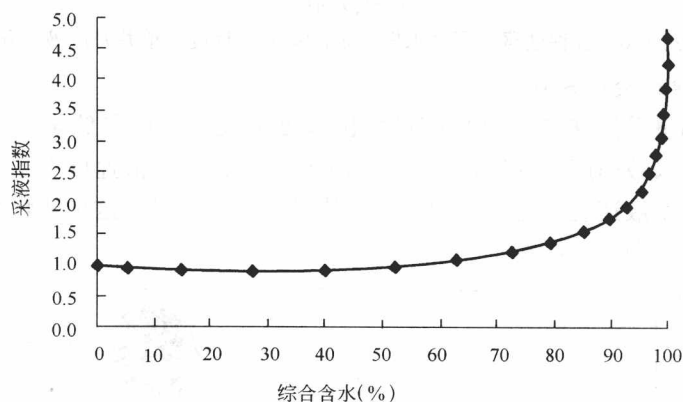


图 1.6 中高渗透砂岩油藏理论无因次采液指数变化曲线

但从矿场实际资料来看，在开发中后期单井月产液量的变化与理论变化规律发生了较大的变化，如图 1.7 所示。

单井月产液与综合含水的关系：综合含水 90% 以后，油藏单井月产液均降低，综合含水 90% 之前单井月产液虽有波动，但特殊类型油藏千米桥油田与裂缝性碳酸岩油藏王徐庄

油田总体处于上升趋势，低渗透油藏马西油田单井月产液处于缓慢下降趋势。

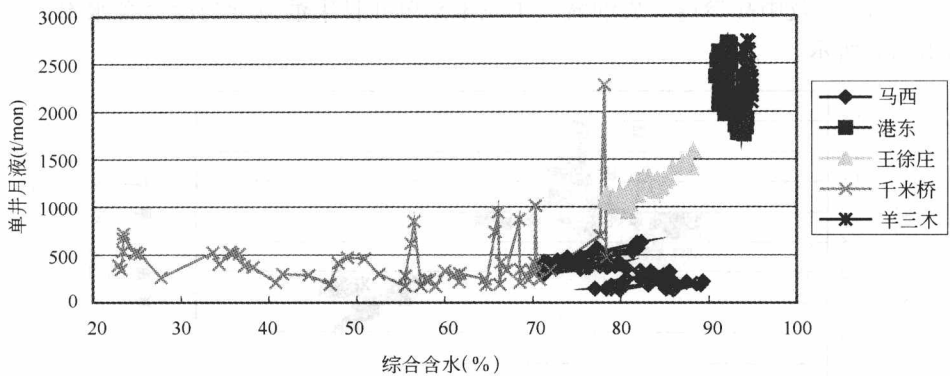


图 1.7 五种油藏类型不同含水期单井月产液—含水变化曲线

单井月产液与可采储量采出程度的关系（图 1.8）：可采储量采出程度 80% 以后，油藏单井月产液的变化虽有波动，但裂缝性碳酸岩油藏王徐庄油田与中高渗透砂岩油藏羊三木油田单井月产液总体处于缓慢上升趋势，低渗透油藏马西油田和复杂断块油气藏港东油田单井月产液基本处于下降状态，特殊类型油藏板桥 4 油田单井月产液基本保持不变。

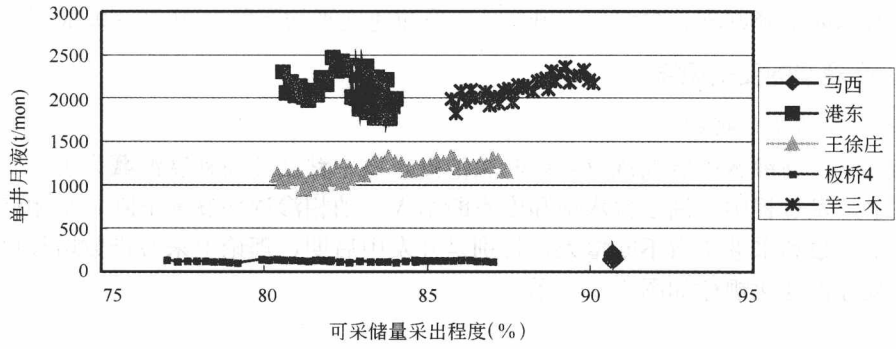


图 1.8 五种油藏不同含水期可采储量采出程度—单井月产液变化曲线

2) 采液速度的变化规律

油藏可采储量采液速度与可采储量采出程度的关系：可采储量采出程度大于 80% 后，油藏可采储量及采液速度均降低，且非低粘油藏可采储量采液速度大于低粘油藏。从矿场实际资料来看，在采液速度变化有波动，但总体呈下降趋势时，这种变化与理论变化规律发生了较大的变化，如图 1.9 所示。

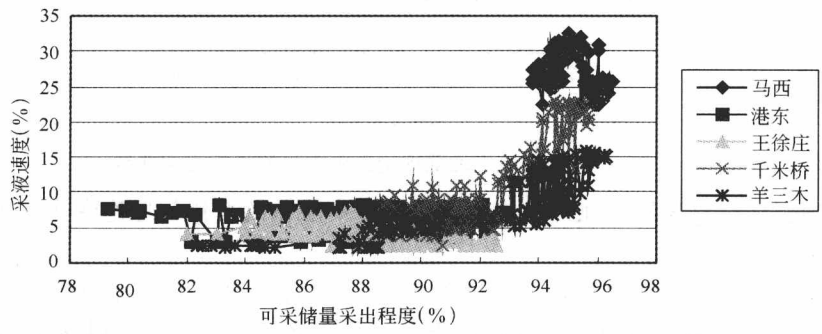


图 1.9 五种油藏类型不同含水期采液速度—含水变化曲线

综上所述，开发中后期液量和采液速度变化有波动，总体上下降，与理论上的升高完全相背，其主要原因是考虑了以经济效益为中心，实施产液结构调整，控制含水上升策略。该阶段一般通过堵水调剖、卡封高含水层、关停转特高含水井、拔电泵、大排量电泵换小排量电泵、有杆大泵换小泵等措施控制含水上升，调整产液结构。由于实施产液结构调整，高液量、高或特高含水井减少，采液速度下降，平均单井月产液量下降。

1.3.2.3 含水的变化规律

1) 含水率与可采储量采出程度之间的关系

采出程度—综合含水的变化规律：国内外大量理论研究和矿场实践表明，随着油水粘度比、储层非均质性以及岩石表面润湿性的不同，含水上升的特点也不同。一般按照含水上升曲线的形态将其分为凸型、S型及凹型三种类型，有时还增加凸—S型及S—凹型等过渡类型（图 1.10）。

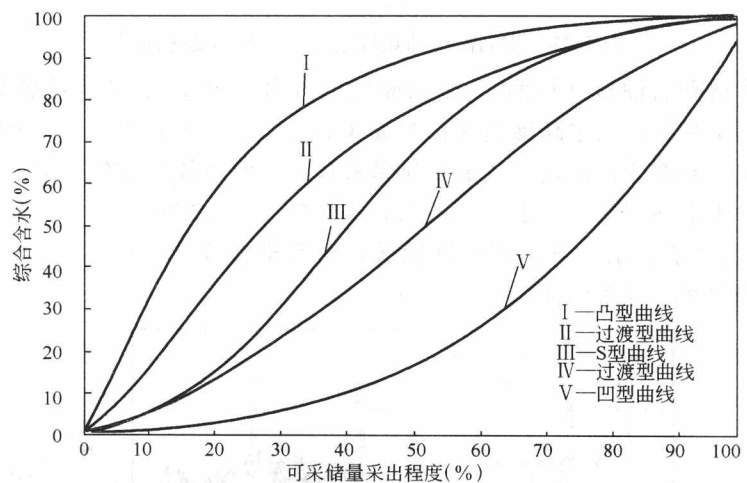


图 1.10 不同油水粘度比下含水率—可采储量采出程度关系曲线

大港油田整装构造油藏及复杂断块油藏属于常规稠油中高渗油藏，含水上升规律符合稠油油藏的一般规律，无水采油期短，见水后含水上升快；开发进入中后期阶段以后，含水上升速度逐渐变缓，含水上升曲线呈凸型（图 1.11），约 30% 的油藏可采储量将在此阶段采出，因此中后期阶段是油田的重要开发阶段。

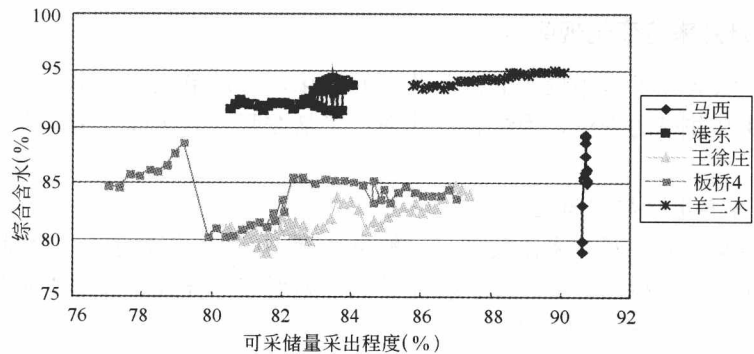


图 1.11 五种油藏类型实际含水率—采出程度关系曲线

2) 含水上升率与含水率之间的关系

根据水驱油机理,对于常规稠油油藏,中高含水期含水上升快,高含水期特别是特高含水期,含水上升速度逐渐减缓。从常规稠油油藏理论含水上升率变化曲线可以看出,含水50%左右上升最快,含水上升率可以达到5%左右,含水90%以后,含水上升率在2%以下(图1.12)。

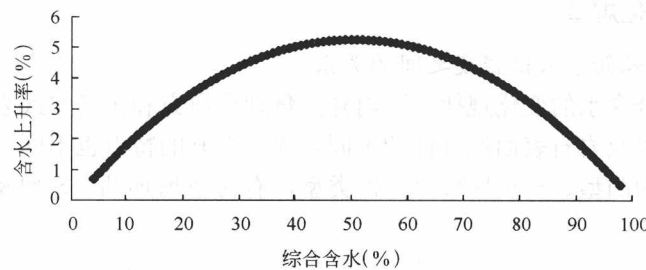


图 1.12 中高渗透油藏理论含水上升率变化曲线

统计了低渗透砂岩油藏(马西)、复杂断块油气藏(港东)、裂缝性碳酸岩(王徐庄)、特殊类型油藏(千米桥)及中高渗透砂岩油藏(羊三木)5个开发单元,绘制了不同含水阶段含水率—含水上升率变化曲线。从统计规律来看,五种油藏类型在不同含水期的含水上升率不同,中低含水采油期的含水上升率较大,一般在10%之间波动,高含水期绝大部分在5%之间,特高含水期含水上升速度逐渐减缓,全部都在5%以下,尤其是中高渗透油藏,特高含水采油期含水上升率均在2%以下(图1.13)。

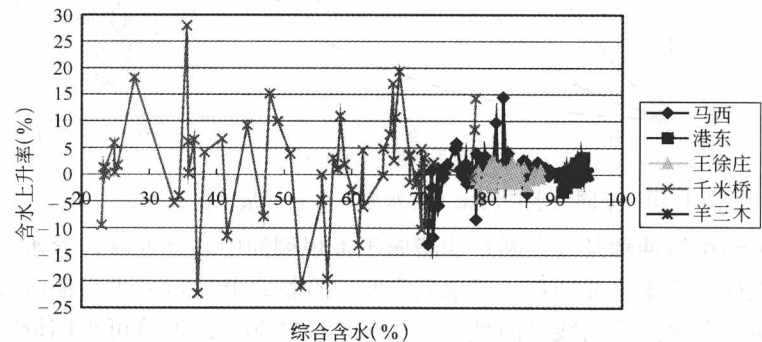


图 1.13 五种油藏类型不同含水阶段含水率—含水上升率变化曲线

1.3.2.4 油井开井率的变化规律

通过两种方法研究了历年投产油井开井率的变化,一是单元开井率变化研究,包含了老井及新投产油井开井率的变化,为综合开井率;二是按照井的构成分别研究新、老井开井率变化。

1) 单元开井率变化规律研究

油藏投产初期,油井开井率比较高,一般可达到100%,但随着生产时间的延续,含水的不断升高,井况越来越差,关、停、转注井数逐渐增多,导致开井率不断降低。

2) 不同时间投产井开井率变化规律研究

老井开井率变化规律研究:考虑到油井所处的含水阶段不同,开采时间有可能不同,造成油井开井率不同,因此按含水级别分别研究其开井率的变化规律。