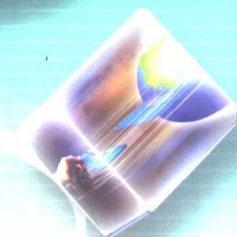
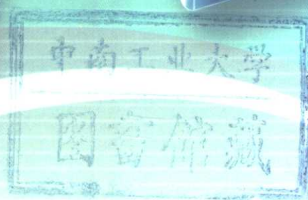
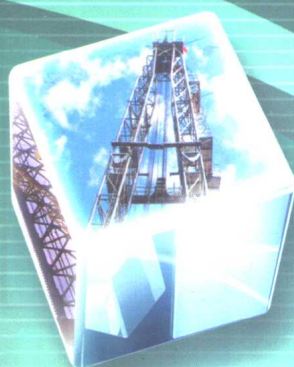
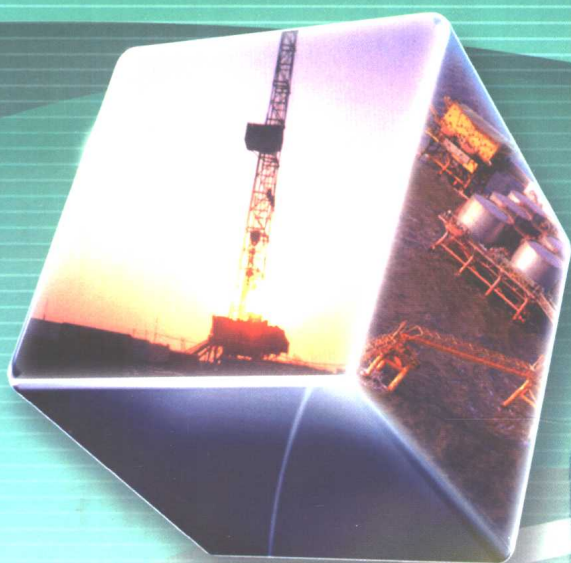


魏 斌 郑浚茂 编著

高含水油田剩余油分布研究

——以辽河油田欢26断块为例



地质出版社

高含水油田剩余油分布研究

——以辽河油田欢 26 断块为例

魏 斌 郑浚茂 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

高含水油田剩余油分布研究是石油上游工业的世界性难题。本书全面介绍了剩余油分布研究的理论和方法,并以辽河油田西部凹陷欢 26 断块的研究为基础,提出了以储层流动单元研究为核心的、地质与地球物理测井和油田开发以及岩心实验等多学科综合研究为手段的高含水油田剩余油研究方法和技术。

本书可供从事石油地质、油气田工程的生产和科研人员参考,也可供石油高等院校相关专业的研究生和本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高含水油田剩余油分布研究:以辽河油田欢 26 断块为例/魏斌,郑浚茂编著.

- 北京:地质出版社,2002.10

ISBN 7-116-03677-6

I. 高... II. ①魏... ②郑... III. 含水性-油气田-剩余油-研究-辽宁省
IV. P618.130.623.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 074015 号

责任编辑:谭惠静 张新元 王学明

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324571(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm¹/16

印 张:9.75 彩页:15 页

字 数:240 千字

印 数:1—800 册

版 次:2002 年 10 月北京第一版·第一次印刷

定 价:38.00 元

ISBN 7-116-03677-6/P·2303

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

我国主要油田已进入高含水期开发阶段,全国油田综合含水已达 80% 以上,但仅采出可采储量的 65% 左右,高含水期开发是我国重要的油田开发阶段。延长高含水油田稳产期,是当今我国油田开发的大难题。

探索高含水油田剩余油分布的有效的研究方法和技术,是我国油田开发的实际需要,也是储层地质学发展的需要,这也是出版本书的主要目的。

作者近些年进行了“高含水期剩余油分布评价、监测与挖潜技术”研究项目,这一研究项目以辽河油区西部凹陷欢 26 断块为例,进行剩余油分布研究。以层序地层学、储层沉积学、测井地质学中的理论为基础,充分利用测井纵向分辨率高的特点,以测井为重要手段,综合应用计算机处理、储层建模和数值模拟等方法,建立比较准确的剩余油测井解释模型,预测该区的剩余油分布,也为同类型油田剩余油研究探寻了有效的方法。

全书共分八章:第一章系统总结国内外剩余油的研究方法,介绍了作者所采用的高含水油田剩余油分布的研究方法和思路;第二章介绍研究工区地质基础;第三章介绍储层流体流动单元的基本概念、分类方法及其在剩余油分布研究中的应用;第四章是为了解储层流动单元水淹特征,及其与剩余油饱和度的关系而进行的水驱油实验及其结果;第五章至第七章由单井剩余油分析开始,通过储层地质建模技术,模拟井间和无井区储层非均质参数的变化,并最终落实到剩余油的空间分布规律的研究。本书的最后介绍了中国东部几个具有不同沉积类型的油田高含水期剩余油分布的实例,以期开阔视野、丰富和完善对高含水油田剩余油分布规律的认识。本书前言和绪论由郑浚茂、魏斌共同编写,第一章至第八章由魏斌执笔,郑浚茂审阅了全书并统稿。

在整个项目的研究及专著的编写过程中,我们得到了辽河石油勘探局张凤山副局长、测井公司孙宝喜、朱世和、李能根等领导的大力支持与帮助,得到了王德发教授、陈建文博士、游俊博士给予的指导与帮助。辽河油田分公司张学汝、杨英杰、杨景琦、李鲁斌高级工程师,测井公司周武、张胜文、陈学义高级工程师等在课题研究期间提供了方便的工作条件和大量的第一手资料。丁晓玲女士绘制了部分图件。在此一并表示衷心的感谢。

由于研究工作比较局限,资料积累不够丰富,研究工作尚处于初步阶段,水平有限。书中不足之处,敬请读者批评指正。

编著者

2002. 6

目 录

绪 论	1
一 高含水期采油是我国油田重要开发阶段	1
二 高含水期油田开发的关键是认清剩余油分布	1
三 本书介绍的高含水油田剩余油分布研究方法和成果	2
第一章 剩余油研究方法	4
第一节 剩余油研究方法综述	4
一 按油藏地质规模分类的剩余油研究方法	4
二 按研究内容分类的剩余油研究方法	6
第二节 国内外确定剩余油的技术	8
一 单井剩余油饱和度测量	8
二 井间测量	9
三 物质平衡方法	9
第三节 高含水油田剩余油分布综合分析流程	10
第二章 研究区的油田地质基础	12
第一节 欢 26 断块地质概况	12
一 工区地理及构造位置	12
二 地层划分与岩性组合	12
三 开发现状	14
第二节 层序地层划分	14
一 高分辨率层序地层学	15
二 欢 26 块的层序地层格架	16
第三节 沉积微相研究	18
一 扇三角洲沉积环境的确定	19
二 扇三角洲微相组成	19
三 沉积演化	27
四 储层基本特征及其非均质性分析	27
第三章 储层流动单元分析	32
第一节 流动单元的国内外研究现状及存在问题	32
一 研究方法概述	32
二 研究方法的评述	34
第二节 储层流动单元理论和方法分析	35
一 储层流动单元概念	35
二 流动单元类型的划分	36

三	应用测井资料研究流动单元	38
第三节	流动单元的应用	41
一	流动单元与沉积微相的关系	41
二	利用流动单元计算高含水油田渗透率	42
第四章	水驱油实验研究	45
第一节	水驱油实验	45
一	实验原理及装置	45
二	实验过程及数据整理	46
三	实验结果	47
第二节	实验结果分析	49
第三节	小结	52
第五章	剩余油测井水淹分析	54
第一节	注水过程中被开采油层的地球物理性质的变化	54
一	电学性质的变化	54
二	声学性质的变化	54
三	放射性场的变化	55
四	欢 26 块水淹测井响应特征	55
第二节	欢 26 块电性水淹解释标准	57
一	电阻率水淹解释标准	57
二	流动单元水淹解释标准	58
第三节	欢 26 块注水过程中的水淹特征分析	60
一	剖面水淹特征	60
二	平面水淹特征	63
第四节	利用测井新技术提高水淹层解释效果	64
一	核磁测井在水淹层解释评价中的应用	64
二	地层测试器在油田开发中的应用	68
三	双源距碳氧比测井的应用	69
第六章	储层地质建模	74
第一节	储层建模的类型及方法	74
一	储层地质建模分类及储层模型的类型	74
二	储层建模的方法	76
三	建模步骤	77
第二节	高含水油田储层建模的技术路线	78
第三节	辽河欢 26 块储层地质建模	80
一	资料的收集整理及数据库的建立	80
二	沉积相剖面模型	81
三	砂体骨架模型	82
四	孔隙度预测模型	84
五	渗透率预测模型	86
六	三维模型的建立	89

第七章 剩余油分布特征及预测	93
第一节 密闭取心井剩余油饱和度特征	93
一 油层水洗状况分析	93
二 密闭取心井剩余油分布特征	105
第二节 欢 26 块剩余油分布特征	106
一 剩余油饱和度计算	106
二 纵向分布特征	108
三 平面分布特征	111
四 剩余油分布影响因素	118
第三节 应用效果分析	119
一 剩余油平面分布预测	119
二 剩余油纵向分布预测	122
第八章 高含水油田剩余油分布的其他实例	123
第一节 孤岛油田高含水期剩余油分布	123
一 地质及开发概况	123
二 研究方法	123
三 剩余油分布规律	126
第二节 濮城油田高含水期剩余油分布	129
一 地质与开发概况	129
二 研究方法	129
三 剩余油分布规律	132
第三节 大庆油田高含水后期剩余油分布	134
一 地质与开发概况	134
二 研究方法	135
三 高含水后期剩余油分布	138
第四节 几点认识	140
一 剩余油分布一般规律	140
二 地质条件是形成剩余油的先决条件	141
三 开采条件是决定剩余油分布状况的外部因素	141
参考文献	142

绪 论

在油田开发过程中,准确地估算剩余油饱和度及其分布,对于评价二次采油的可采储量具有重要的意义。高含水期油田稳产的关键取决于对剩余油分布的了解。当油田一旦进入中后期,了解和掌握油藏中剩余油饱和度的空间分布,确定其剩余储量,剩余的可采量及其品位,是油藏经营管理决策的重要依据。确定储层中剩余油的分布仍然是石油上游工业迄今尚未得到完善解决的重大课题。20世纪90年代以来,描述宏观及微观非均质储层中驱替后剩余油分布已成为各种国际会议讨论的主题。在我国,东部大部分油田已进入中高含水期,由于这些地区勘探程度较高,可供勘探的领域越来越有限,从已开发的油田增加产量和提高采收率是当务之急,而确定剩余油分布是重中之重。

一、高含水期采油是我国油田重要开发阶段

我国油田多为陆相沉积,储层的层间、层内和平面上渗透率变化大。我国近90%油田均采用注水开发方式,由于非均质性严重,注入水往往沿高渗透率带推进,造成水驱波及体积小,注入水过早向油井突进;加上我国油田原油性质多属中、高粘度,油水粘度比值一般高于20以上,形成较强的水驱油非活塞性,进一步加剧了注入水的舌进。另外,在开发方法上,多采用早期内部注水保持压力开发,水驱强度大,因而,油井见水早。这些因素集中反映出我国油田注水开发基本规律,即注水开发早、中期含水上升快、采出程度低,使得相当多的可采储量要在高含水期采出,在综合含水与采出程度关系曲线上表现出曲线突向含水轴。当含水达到80%时,全国油田采出可采储量平均为62%;其中,大庆油区的喇萨杏油田为63%,胜利油区的胜坨油田44%,孤岛油田53%,埕东油田为49.5%(冈秦麟等,1999)。前苏联的杜玛兹油田、什卡波夫油田、谢尔盖耶夫油田以及美国有代表性的东得克萨斯油田,在采出可采储量60%时,一般综合含水仅40%~50%。

根据水淹层测井解释和密闭取心分析,其结果均说明我国老油田高含水期水淹程度的不均匀性十分严重,造成大量原油留在地下。如大庆油区喇萨杏油田的北一区断西主力油层葡Ⅰ₄,经过27年注水,综合含水已高达90.7%的情况下,49口井水淹层测井解释结果,平均水淹厚度为总油层厚度的62.8%,其中高含水厚度仅为28.2%,另外37.2%的油层还未见水。中区西部中等渗透率油层萨Ⅱ₁₋₃,1960年投入注水开发,1987年新钻13口井水淹层测井解释,未水淹厚度占总油层的厚度高达61.6%;胜利油区埕东油田已进入特高含水阶段,含水92.8%的情况下,油层水洗厚度占总油层厚度仅54%。其他油田都有类似情况。因此,不论从理论上,还是油田开发的实际情况,都说明我国油田高含水期采油是一个重要而漫长的开发阶段。

二、高含水期油田开发的关键是认清剩余油分布

截至1995年底,全国油田综合含水率已高达81.36%,而仅采出可采储量的65.33%,

仍还有约 35% 的可采储量需在高含水期开采。目前我国油田平均每采 1 吨油将产水 5~6 吨,随着含水率的增高,采 1 吨油产出水量越来越大,“九五”乃至 2000 年以后,将面临老油田产水量大幅度增加、经济效益越来越差的局面。因此,认清高含水期剩余油分布特征,是十分迫切和亟待解决的重大问题。

油层的非均质性,经长期注水驱替后,使油水分布犬牙交错,而且还使岩石性质、声学性质、电学性质、含油性、流体性质以及孔隙结构发生一系列物理化学变化,用原来认识油层的方法已不能准确判断地下油水分布,大大增强了剩余油分布研究的难度,直接影响了老油田的挖潜。

油田由原始油层状态,经长期注水进入高含水期,主要发生了五个方面的变化:①宏观上地下原油由集中连续分布变为油水交错分布;②油层参数主要表现出“三高、两低、四改变”——渗透率、孔隙度、粒度中值增高;泥质含量、束缚水含量降低;地层水矿化度、孔隙结构、润湿性、相渗透率曲线改变,并由三维空间变化变为四维空间变化,增加了随时间发生变化;③以电法为基础的测井系列及解释图版,由于油层参数及地层水矿化度改变,已不能准确判断油水层及水淹级别;④开采对象由集中分布的主力油层转向差油层、薄油层;主力厚油层进入层内流动单元控制油水分布;⑤开发前期以井点和一定厚度层平均参数为基础的油田开发工作,已不能把握油田开发主动权,要求进入精细定量划分油水层和井间不同环境沉积砂体的分布及其参数的预测。

在了解高含水期油田剩余油分布的基础上,采取有针对性的挖潜措施,才能达到控水稳油的目的,从而有效地减缓含水的上升速度和控制产量的递减。

三、本书介绍的高含水油田剩余油分布研究方法和成果

我国油田高含水期剩余油分布的研究,主要是从精细油藏描述和改进水淹层测井入手。通过沉积微相研究与地质统计相结合的方法,预测井间储层砂体的分布特征及砂体内部的物性参数的分布规律,进而建立精细的储层砂体骨架模型和物性参数分布的定量模型。通过加密井及定期密闭取心资料,认识高含水期储层和地层水性变化规律,确定新的水淹层测井系列和建立新的解释图版,从而加深对剩余油分布规律的认识,指出高含水期油田挖潜的方向。

综合国内外剩余油研究技术和发展现状,为了解决高含水期剩余油分布的难题,我们以辽河油区西部凹陷欢 26 断块为例,进行剩余油分布研究。欢 26 断块储层属于扇三角洲沉积。以储层流动单元分析为基础,分别研究储层流动单元与沉积微相、水淹层、剩余油饱和度的对应关系。建立了应用流动单元计算剩余油饱和度的解释模型。

具体采用的方法为:应用高分辨率层序地层学的方法,分析沉积层序,建立等时剖面骨架,分析各沉积层序与砂层组及小层的对应关系,从而明确地层演化过程中的沉积演化规律。在详细观察和描述取心井基础上,分析各沉积微相的测井响应,建立沉积微相的测井解释量板,进行沉积微相分析和多井测井解释;结合成岩作用研究,岩心物性资料进行岩心刻度测井分析,建立测井储层物性参数解释方程和解释模型;进行流体流动单元的划分和评价。然后,通过岩电相驱实验和测井综合分析,研究用测井资料计算剩余油饱和度的方法,建立剩余油饱和度计算模型。最后,根据沉积微相分析、测井物性分析及流体流动单元分析的结果,建立该区的储层砂体骨架模型和物性参数(孔隙度、渗透率)以及剩余油饱和度模

型。进行剩余油分布预测。

通过研究,取得了以下主要成果和认识。

(1) 应用岩心观测与测井相结合的方法,建立测井微相量板,来解释全区沉积相及微相,成功地识别出欢 26 块兴隆台油层为扇三角洲沉积,并划分出各种微相,为剩余油分布研究打下坚实的地质基础。

(2) 为计算剩余油饱和度和认识水淹规律,开展了岩电—相驱实验,研究不同储层流动单元含水饱和度与电阻率、含水率及相对渗透率之间的关系。实验结果表明,Ⅰ类流动单元水驱油过程中,电阻率曲线随含水饱和度的变化呈“L”型曲线,Ⅱ类流动单元水驱油电阻率曲线呈“S”型,而Ⅲ类流动单元水驱油电阻率曲线为“U”型。其中,Ⅱ类流动单元水驱油过程中电阻率曲线随含水饱和度变化呈“S”型的变化规律是国内首次公开发表的一种测井水淹特征。

(3) 根据岩电—相驱实验的结果,和高含水密闭取心井资料,证明剩余油饱和度是流动单元流动带指标的函数,并建立了利用流动带指标计算剩余油饱和度的方程。该方程在实际应用中被证明是行之有效的。

(4) 按照储层参数尤其是剩余油饱和度计算方程,利用多井评价方法,数字处理本区 174 口井的测井资料,获得了各井点剩余油饱和度、孔隙度、渗透率等储层参数,为剩余油分布研究提供了高精度的数据。

(5) 为研究剩余油分布规律,采用随机建模技术,模拟井间和无井区储层非均质参数的变化,并落实到剩余油的空间分布规律上。从砂体骨架、孔隙度和渗透率以及剩余油饱和度的模拟结果来看,它不仅直观,而且较为准确地反映了地下砂体展布的“面貌”及储层的非均质性,为油藏的精细描述以一个新的技术手段作了一次有益的尝试。

(6) 通过以上研究,确定欢 26 块剩余油在平面上主要分布在中部和东部的构造较高部位、远离注水井地区、注采井组之间的二线地区,注采井网不完善地区以及岩性尖灭体附近地区,呈零星状或局部小面积片状和零星点状分布。在本研究成果的指导下,欢 26 断块获得了很好的地质应用效果。

(7) 在研究过程中,我们也体会到高含水期剩余油分布研究是一项系统工程,需要相关部门密切配合和协作。我们所采取的做法是积极向油田决策部门提交研究成果,为开发方案的制定和调整井的部署提供可靠的依据。调整井在完井之后的第一时间内将综合解释结果和试采油建议提供给决策部门。实践证明这样做成效良好。

第一章 剩余油研究方法

由于剩余油的分布不仅受地层非均质性的影响,还受到驱油进程的影响。因而确定剩余油的分布是很复杂的,必须应用多学科的技术,收集尽可能多的资料,仔细进行分析和解释。研究剩余油及其分布的方法主要有开发地质学方法、地震技术、测井方法、示踪剂测试法和岩心分析方法等。确定剩余油及其分布的方法各有优缺点,应根据油藏的具体地质特征和开采历史选择不同的方法。

第一节 剩余油研究方法综述

剩余油研究内容十分广泛,采用的研究方法很多,对不同地质规模的剩余油,其研究内容和方法是不同的。

一、按油藏地质规模分类的剩余油研究方法

油藏地质规模有不同的分类方法,一般采用的分类如图 1-1 所示。

由图 1-1 可见,体积规模可以分为 4 级,每一级研究的对象以及相应的剩余油所包含的

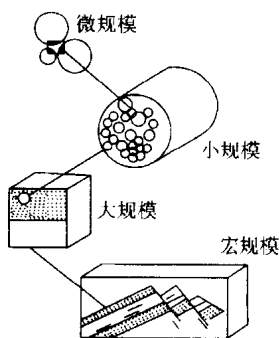


图 1-1 油藏描述规模

(据 H H Haldorsen, 1983)

内容和研究方法可以概述如下。

1. “微规模”(Micro)——颗粒规模

孔隙大小及分布、孔壁的粗糙度、充填的结构、孔喉类型、孔隙度类型、矿物学、胶结物及类型以及在扫描电镜和薄片中可以识别的其他特点。剩余油方面主要研究剩余油在孔隙内部的分布、数量和性质。扫描电镜、薄片、光刻微物理模型、原油性质分析是研究的主要方法。

2. “小规模”(Macro)——岩心规模

在这个规模上,通常确定储层岩石特性,孔隙度、渗透率、相对渗透率、毛细管力和饱和

度关系,岩石的沉积构造及非均质性。此规模剩余油研究的内容是含油饱和度,研究方法主要是各种岩心观测及试验,包括驱替试验和饱和度测量等。

3. “大规模”(Mega)——单层规模

此规模包括计算网格中的单元,代表一个连续的地质范围中离散化的形式。在此规模内,主要研究水力单元和流体流动的主要障碍。建立油层的厚度、形状、延伸方向、空间的布局 and 间隔。剩余油研究的内容是油层的分布状况和平均含油饱和度。其主要研究工作为一些油藏工程测量如压力测试、示踪剂测试、测井研究等。

4. “宏规模”(Giga)——油藏规模

剩余油研究的内容和范围更大,是油藏级规模各类参数的平均结果,采用物质平衡等方法研究。

剩余油研究的目标应和不同级别的规模相对应。根据国内外研究,可把剩余油研究分为三大部分(图 1-2)。

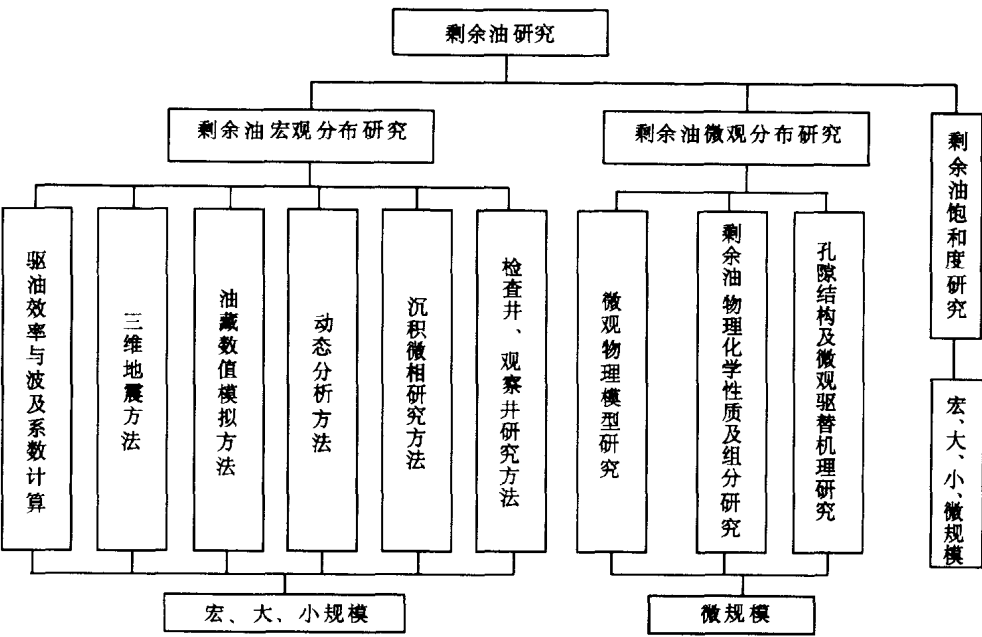


图 1-2 剩余油研究方法及内容

第一部分是剩余油宏观分布研究,它对应的是宏、大或小规模,主要研究剩余油在平面上和纵向上的宏观分布状况,为提高注入剂的波及状况服务。它包括驱油效率与波及系数计算、三维地震方法、油藏数值模拟方法、动态分析方法、沉积微相研究方法以及检查井观察井研究方法等方面的研究。

第二部分是剩余油微观分布研究,它对应的体积规模是微规模,主要是在几微米到几毫米的数量级上研究剩余油的分布状况与组分变化。研究内容包括微观物理模型、剩余油物理化学性质及组分研究和孔隙结构及微观驱替机理研究等。在当前,剩余油的宏观分布研究是重点。

第三部分是剩余油饱和度研究,即定量地确定剩余油的饱和度。根据这一研究,确定剩

余油的开采动态,对提高采收率方法进行经济分析与效果评价。

根据现有资料,剩余油饱和度确定方法有 11 类:

- (1) 取心法;
- (2) 示踪剂试井法;
- (3) 测井法;
- (4) 试井方法;
- (5) 井间测量法;
- (6) 驱油计算法;
- (7) 压缩系数计算法;
- (8) 水油比计算法;
- (9) 物质平衡法;
- (10) 生产拟合法;
- (11) 数值模拟法。

这些方法测量的范围不同,对应着不同的体积规模,从地层中的岩心到井筒周围一定距离的平均值再到整个油藏的平均值。从应用角度看,取心法测得的地层岩心规模的剩余油饱和度代表性较低,用于经济评价和动态计算精度较低,但研究剩余油的变化特点价值较大,主要应用于剩余油分布研究,而不用以确定剩余油饱和度值。示踪剂试井和测井方法主要是确定井筒周围一定距离的平均剩余油饱和度。它的计量范围比较适中,用于油田经济评价和动态计算比较合适,因此使用价值较大,应大力研究发展。其他方法主要是确定油藏大平均的剩余油饱和度,可进行宏观的经济评价与动态计算,但作为提高采收率方法方案设计显得太粗,仅能供参考,使用价值较小,其重要性远不如取心、示踪剂试井和测井方法。当前我国急待研究和建立一套比较完整的适合我国油田特点的剩余油饱和度确定方法系统。

二、按研究内容分类的剩余油研究方法

按研究内容,剩余油研究方法包括:开发地质学方法、剩余油分布监测技术、动态方法以及挖潜技术等(表 1-1)。其中,开发地质学方法主要研究微构造、沉积微相、储层非均质性以及利用密闭取心资料计算剩余油饱和度。剩余油监测技术有:3700 测井系列、激发极化电位测井、地层测试器、碳氧比测井、单井示踪剂、井间示踪剂、玻璃钢套管监测等。动态方法中,水驱物模和微观物模法可用来预测区块规律;而水驱特征曲线法和物质平衡法能提供区块平均饱和度值;水驱特征计算法、单元储量丰度法、含水率法、油藏数值模拟法则以区块等值图的形式提供饱和度值;高效井区确定法可以评价区块剩余油分布的富集程度。在剩余油分布的基础上,通过开发层系调整、未水淹层开发、加密钻井、周期注水、消耗驱动采油、强化采液、改变液流方向、卡堵水、老井侧钻、化学驱油、调剖、水平井、人工地震等挖潜技术改善单井和区块状况、挖掘层内潜力,提高采收率。

开发地质学研究主要侧重于间接的、定性的和静态的研究,动态方法从其模型本身来讲是比较完善的,但其精度在很大程度上取决于地质模型的精度。因此,高含水期剩余油分布研究是一项系统工程,需要多学科综合研究。多学科综合研究要求最大限度地采用综合信息,地质、地球物理、油藏工程等不同专业的专家共享一个数据库,以统一的地质模型为媒介,以预测剩余油分布为目的,紧密配合,协同攻关。要求每一学科从其他学科不可替代的

表 1-1 高含水期剩余油分布评价、监测及挖潜技术一览表

类别	方 法	作 用	在断块内应用范围	对其他学科的作用	定量与定性	体积规模
开发地质学方法研究剩余油分布	微构造	寻找富集点、断层边角、油层边部	全 区	基础与动态结合分析	定性、定量	大规模
	沉积微相	建立储层模型，预测水淹、提供可供挖潜相带	全 区	基础与动态结合分析	定性、定量	大规模
	非均质性	层内、层间、平面微观非均质对剩余油的影响及潜力部位	全 区	基础与动态结合分析	定性、定量	大规模
	密闭取心	计算剩余油饱和度，指出潜力分布规律提供分析样品	单井推断全区规律	基础，为动态、测井、现场提供原始分析	定量、定性	小规模
剩余油分布监测技术	3700	提供水淹层解释	裸眼井	提供给动态分析用	定 性	大规模
	激发极化电位	提供水淹层解释	裸眼井		定 性	大规模
	地层测试器	通过压力分析动用程度	裸眼井		定 性	大规模
	碳氧比测井	计算剩余油饱和度	套管井		定量、定性	大规模
	单井示踪剂	计算剩余油饱和度	套管井		定 量	大规模
	井间示踪剂	监测水淹动态	井组、井间		定量与定性	大规模
	玻璃钢套管	随时监测剩余油饱和度	单 井		定 量	大规模
动态方法研究剩余油分布	水驱物模	预 测	区块规律	计算出剩余油饱和度和，总结出规律，决定挖潜措施	定 量 定量、定性	微规模
	微观物模	预 测	区块规律			微规模
	水驱特征曲线法	提供饱和度值	区块平均			宏、大规模
	物质平衡法	提供饱和度值	区块平均			宏规模
	水驱特征计算法	提供单井饱和度	区块等值图			宏规模
	单元储量丰度法	提供饱和度值	区块分区图			宏、大规模
	含水率法	提供饱和度值	区块等值图			宏、大规模
	油藏数模法	提供饱和度值	区块等值图			宏、大规模
	高效井区确定	提供单井数值	评价区块好坏			宏、大规模
挖潜技术	开发层系调整	改善区块状况	区 块			宏规模
	未水淹层的开发	改善单井状况	单 井			宏规模
	加密钻井	改善区块状况	局部或全区			宏规模
	周期注水	挖掘层内潜力	局部或全区			宏规模
	消耗驱动采油	挖掘层内潜力	全 区			宏规模
	强化采液	挖掘层内潜力	局部或全区			宏规模
	改变液流方向	动用未动用储层	局部或全区			宏规模
	卡堵水	稳油控水	单 井			宏规模
	老井侧钻	改善单井状况	单 井			宏规模
	化学驱油	改善区块状况	区 块			宏规模
	调 剖	挖掘层内潜力	单 井			宏规模
	水平井	改善单井状况	单 井			宏规模
	人工地震	改善区块状况	区 块			宏规模

(根据杨景琦、魏斌等,1998,有修改)

侧面为预测剩余油分布提供依据,而且允许各学科从自身角度出发来评价本学科和其他学科预测剩余油分布的结果是否一致。

第二节 国内外确定剩余油的技术

剩余油研究的关键技术是确定剩余油饱和度。现有确定剩余油饱和度的测量技术可以分为三类:单井测量、井间测量和物质平衡方法。用物质平衡方法取得的是全油藏的平均剩余油饱和度;而取心及测井所提供的是井眼附近的剩余油的垂向分布;示踪剂测试则对油藏较深的部分进行取样,所提供的是油藏中渗透带的加权平均剩余油饱和度。

一、单井剩余油饱和度测量

单井测量包括岩心分析、回流示踪剂测试、测井和单井不稳定测试。

1. 岩心分析

岩心分析对于剩余油饱和度确定可分为三类:常规取心、压力取心和海绵取心。在剩余油饱和度的测量中,当井下岩心取到地面后,要求能使岩心中所含流体保持原状,但常规取心技术不能达到这一要求,这是因为:①不能保持岩心压力。②损失岩心中的流体。压力取心技术解决了岩心中流体收缩和岩心排油的问题,它通过密闭技术,在岩心被冷冻处理前使岩心样品保持在井中压力下,保持的压力可从几百到 6 千多磅/平方英寸,所得的剩余油饱和度精度很高,其缺点是取心收获率不高,大约从 51% 到 70%。海绵取心技术是在常规的岩心筒上加一个海绵套,由多孔亲油聚氨酯海绵制成,以岩心中渗出的油被海绵吸入量来校正含油饱和度。这种技术所提供的含油饱和度接近压力取心所确定的值,但其成本则接近于常规取心。

2. 回流示踪剂测试

它是将一种原始示踪剂(例如乙酸乙酯)注入测试井中,然后关井使示踪剂在水中的部分水解并生成次生示踪剂(乙醇),然后开井生产,并监测这两种示踪剂的浓度。用这两种示踪剂回到井中的时间差,来确定剩余油饱和度。实验证实示踪剂测试的精度为 $\pm 2\% \sim \pm 3\%$ 孔隙体积。单井示踪剂测试的特点是探测深度大(3 ~ 12m),和具备控制探测深度的能力。

3. 测井方法

测井是获取可靠剩余油饱和度剖面最广泛使用的方法。每种测井技术都有其独特的优点和限制。根据井眼条件,在剩余饱和度的测量中有两类测井方法:①裸眼井测井,包括电阻率测井、核磁测井、电磁波传播测井和介电常数测井。②套管井测井,包括脉冲中子俘获测井、碳氧比测井和重力测井。其中,裸眼井的电阻率测井和套管井测井中的碳氧比测井是国内油田开发测井系列的主要测井项目。目前,国内各油田(如大庆、辽河、华北、胜利)正在开发双源距碳氧比测井技术,以克服井筒内流体对测量的影响,提高剩余油饱和度解释精度。有的油田正在研制硼中子寿命测井技术,以解决低矿化度地层水地区套管井剩余油监测的问题。核磁共振成像测井和地层测试器组合测井在辽河等油田的应用中取得了良好的效果,将成为今后剩余油监测的一项重要的测井项目和内容。

4. 单井不稳定测试

因为油和水的相对渗透率是含水(或油)饱和度的函数,所以可以用试井方法根据有效

渗透率估算剩余油饱和度。

二、井间测量

1. 电阻率法

在油田裸眼井之间通以电流并测量井间电位来求得地层电阻率。根据电流和电位的测量值用波伊森方程可以得到流体饱和度的分布。国内胜利油田和美国电磁仪器公司(EMI)等合作,在井间电磁成像技术的现场实验和应用研究方面取得了重要进展(赵文杰等,1999),成功地进行了三对井的大型现场实验,不仅实现了大井间距(达430m)的裸眼井井间电磁测量和成像,而且还在过一层金属套管的井间电磁测量和成像方面取得突破,从而展现出井间电磁成像技术在油藏描述和监测中的重要应用前景。

2. 井间示踪剂测试

此方法是将两种或多种在油相和水相之间具有不同分配系数的示踪剂注入井中,根据在观察井中所监测到的示踪剂之间分异的程度可确定平均的井间剩余油饱和度。

三、物质平衡方法

此方法是计算整个储集层初始储量减去已产出的油量所得到的剩余油含量的平均估算值。

我国东部有的油田开发已由高含水期进入特高含水期。经过二十多年的摸索探讨,形成了一套陆相地层的剩余油研究方法。除进行常规的沉积相细分等地质研究外,还着重于油层物理学、油气渗流力学和油藏工程学等有关原理的应用。

目前,大庆、辽河等油田广泛采用精细的油层描述为基础,以动态分析为依据,利用数值模拟等手段,综合研究宏观的剩余油分布,取得了成功。其具体方法是:

(1) 利用一次开发调整后井网较密的条件,搞清砂体形态,深入认识油层的平面非均质性。

(2) 逐层逐井补划二类含油砂岩层,把表内层和表外层作为统一整体进行研究。认为表外层是砂岩储层到泥岩的过渡岩性层,仍有一定的生产能力。补划后,更充分地认识了油层的沉积全貌,为剩余油分布特征研究打下了可靠的基础。

(3) 对油层进一步细分,将小层进一步细分为单砂层,认识单砂层的分布形态和相邻油层的连通关系。如在萨北的萨蜀油层,将原37个小层细分成73个单砂层,其中的萨Ⅱ₅₊₁₆层,从小层看,水淹面积已达50%。细分成上、下两个单砂层后,发现只是下砂层的厚层砂体发生水淹,水淹面积占50%,而上砂层全部未水淹。

(4) 井间砂层详细对比分析,把同一单砂层在平面上细分出单一河道,并描述各河道的接触关系。发现单砂层在平面上由多个河道砂体的连接、穿插、下切而成的。单个河道宽度最小的只有几十米,绝大多数在800m以内。

除此之外,他们还用动态监测资料、水淹层解释资料、密闭取心资料分析含油饱和度。

辽河油田的剩余油分布研究工作早在“六五”期间就已开始,由最初的单井组或断层研究发展到区块研究,由单一方法研究发展到油藏描述、沉积相、实验室分析、数值模拟、测井解释等多学科的综合研究。他们采用了小层沉积相分析法、动态法、数值模拟法、油藏工程法、C/O测井法和钻井取心等6种方法研究剩余油分布。其中前三种方法应用比较普遍。小

层沉积相分析法是根据储层岩性、物性参数结合油藏生产动态资料,从研究小层沉积相入手,逐井逐层地进行对比,按油砂体给出岩相连通图、岩相剖面图、岩相平面图,直至确定油水分布。

“九五”以来,剩余油的分布规律研究与挖潜技术取得了更大的进步。通过多学科联合攻关、互相补充形成了一整套有效的剩余油分布规律评价方法、监测手段、挖潜技术(表 1-1)。

同国外相比,国内剩余油研究在许多方面还存在一定的差距:比如资料采集过于简化,尤其是动态长期监测还有待于加强;用露头研究储层非均质性同国外相差较远;储层非均质性研究侧重于静态研究,而往往忽视动态资料的利用;油田开发调整阶段的剩余油分布不是很清楚;定向取心资料的应用比较薄弱;地层倾角测量研究单砂体的产状和分布需加强和提高等等。

第三节 高含水油田剩余油分布综合分析流程

综合国内外剩余油研究技术和发展现状,结合我国高含水油田的特点,提出高含水油田剩余油分布研究的流程和思路,包括:

(1) 高分辨层序地层学分析

应用米兰柯维奇旋回理论分析地层的旋回性,分析沉积层序,建立等时剖面格架,分析各沉积层序与砂层组及小层的对应关系,从而明确地层演化过程中的沉积演化规律。

(2) 沉积微相分析

在详细观察和描述取心井基础上,分析各沉积微相的测井响应,建立沉积微相的测井解释量板,从而进行沉积微相分析和多井测井解释。

(3) 测井物性分析

在沉积微相分析的基础上结合成岩作用研究,岩心物性资料进行岩心刻度测井分析,建立测井储层物性参数解释方程和解释模型。

(4) 流体流动单元分析

在上述研究的基础上,进行流体流动单元的划分和评价。

(5) 剩余油测井响应分析

通过岩电-相驱实验和测井综合分析,研究用测井资料计算剩余油饱和度的方法,建立剩余油饱和度计算模型。

(6) 储层地质建模

根据沉积微相分析,测井物性分析及流体流动单元分析结果,建立该区的储层砂体骨架模型和物性参数(孔隙度、渗透率)以及剩余油饱和度模型。

(7) 根据以上分析结果进行剩余油分布预测

在本项研究中,储层流动单元分析贯穿始终(储层流动单元将于第三章做详细介绍)。分别研究了储层流动单元与沉积微相、水淹层、剩余油饱和度的对应关系。开展岩电-相驱实验,研究不同流动单元的水淹和测井响应特征,为应用储层流动单元定量解释水淹层和研究剩余油饱和度奠定了理论基础。在岩电-相驱实验和岩心分析数据的基础上,建立应用流动单元计算剩余油饱和度的解释模型。在充分认识工区地质特征的前提下,以测井逐点数据资料为数据基础的储层地质建模技术被用来研究井间储层参数和剩余油饱和度在剖面和平面