

我国剩余油技术研究现状与进展

刘宝¹, 谢俊^{1,2}, 张金亮^{1,3}

(1. 山东省油气勘探开发工程技术研究中心, 山东 青岛 266510;
2. 山东科技大学, 山东 泰安 610059; 3. 中国海洋大学, 山东 青岛 266003)

摘 要: 剩余油研究是油田开发中后期油藏管理的主要任务, 是实现“控水稳油”开发战略的重要手段。油田进入高含水后期开发后, 随着开采程度加深, 地下油水关系越来越复杂, 非均质更严重, 剩余油分布越来越复杂, 给油田稳产和调整挖潜带来的难度越来越大。在结合项目研究成果及大量文献检索的基础上, 阐述了我国剩余油研究的发展现状、主要技术及分布模式, 归纳总结了剩余油的研究进展。

关键词: 高含水油藏; 剩余油; 研究现状; 油藏描述

中图分类号: P618.130.1 **文献标识码:** A

1 前言

我国东部注水开发的许多主力油田已进入中高含水期。一方面新增储量日益困难, 勘探程度高, 新发现油田规模总体呈变小趋势, 而且新增探明储量中的低渗透与稠油储量所占比例逐年加大, 储量品质变差, 新增及剩余储量可动用性较差; 另一方面, 我国注水开发油田“三高二低”的开发矛盾突出, 即综合含水率高、采出程度高、采油速度快、储采比低、采收率低, 还有大量石油不能采出。这种开采程度高采收率低的严峻局面对石油开发领域的研究提出了更高要求。

我国油田地质情况复杂, 原油性质差异大, 水驱油过程不均匀, 到了勘探开发的后期, 尤其是在那些勘探程度较高的老油田, 经过一次、二次采油后, 仅能采出地下总储量的 30% 左右, 这意味着有 60% ~ 70% 的剩余石油仍然残留在地下成为剩余油, 这些残留在地下的剩余石油储量对于增加可采储量和提高采收率是一个巨大的潜力。估计, 如果世界上所有油田的采收率提高 1%, 就相当于增加全世界 2 至 3 年的石油消费量。因此, 加强剩余油

分布规律研究、提高石油采收率一直是油田开发地质工作者和油藏工程师研究的主题。我国油田多为陆相沉积多油层储层, 层间、层内和平面上渗透率变化大, 而我国近 90% 油田均采用注水开发方式, 由于非均质性严重, 各层吸水量差异大, 注入水往往沿高渗透带推进, 使纵向上和平面上水推进不均匀, 造成水驱波及体积小, 注入水过早向油井突进, 油水分布犬牙交错, 剩余油分布既零散又有相对富集部位^[1]。因此, 在开发后期我们的主要任务就是要以剩余油饱和度为主要内容, 进行精细化、量化、动态化和预测化的油藏描述。同时, 要把工作重点逐渐转向井间和整个油藏的剩余油分布研究上。

2 剩余油描述技术的研究现状

剩余油分布规律研究是一项世界性难题, 也是地质、地球物理和油藏工程等不同领域的前沿性研究课题。很久以前国内外研究者就已认识到了这一课题的重要, 曾经开展过岩心水驱油实验、平面乃至立体物理模型实验、油藏模拟、矿场检查并取心、分层找水等工作, 为剩余油分布提供了宝贵的资

料^[2]。注水开发油田的剩余油量是油田开发方案调整和提高采收率的物质基础,各个国家都非常重视剩余油分布的研究。美国于1975年成立了剩余油饱和度和委员会,从宏观上将剩余油饱和度度量分为单井、井间和物质平衡法3种。前苏联在杜玛兹油田专门打了24口评价井来研究油田水淹后期的剩余油分布的方法。现代地质技术、测井技术和油藏工程技术,特别是现代测井测量技术和处理解释技术的迅猛发展,为剩余油分布研究提供了更为有利的条件。国外一些公司如Schlumberger、Shell公司近年推出了测井数据处理软件、地层评价软件和地层测试数据处理软件,为剩余油预测和油气评价提供了新的思路和技术。国外研究剩余油主要包括岩心分析、示踪剂测试、数值模拟、测井、试井及电阻率等多种方法,近年来提出了“以定时、定位、定量计算剩余油饱和度为依据,设计加密井位置”的新设想。目前,国际上确定储层中剩余油的分布仍然是石油工业迄今尚未得到完善解决的重大课题,描述宏观及微观非均质性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。20世纪90年代以来,主要产油国重视了密闭取心的分析和第一手资料的收集,完善了动态监测系统,加强了油藏经营管理,使剩余油饱和度分布的研究精度有较大提高。在油田开发过程中,特别当油田进入中后期开发时,了解和掌握油藏中剩余油饱和度的宏观和微观的时空分布,是油藏开发调整和改善油藏开采现状的直观再现,是油藏经营管理决策的重要依据。

我国的剩余油分布研究工作早在“六五”期间就已开始,相继开展了油田、油藏、区块、单井以及岩心等不同地质规模下剩余油的空间位置、形态、数量以及剩余油随时间变化的研究工作,主要采用了油藏数值模拟、井间示踪剂、神经网络、沉积相、测井、灰色理论及数理统计等技术研究剩余油分布规律,为油田方案调整提供了依据。我国石油科技工作者经过20多年的摸索探讨,形成了一套陆相地层的剩余油研究方法。剩余油地质研究已由单学科分析向多学科综合研究方向发展,除常规的沉积相细分等地质研究外,还加强了油层物理学、油气渗流力学和油藏工程学等有关原理的应用。现在主要采用小层沉积相分析法、动态分析法、油藏数值模拟法、油藏工程法、C/O比测井法和钻井取心等方法研究剩余油分布。目前,我国研究剩余油分布的

技术和手段基本具备,同国外主要产油国的技术水平接近,但在油藏管理方面和动态监测系统的重视程度方面存在一定差距。

3 剩余油主要研究技术

3.1 油藏精细描述技术

油藏描述就是对油藏进行综合研究和评价。它是以沉积学、构造地质学、储层地质学和石油地质学的理论为指导,综合运用地质、地震、测井和试油试采等信息,最大限度地应用计算机手段,对油藏进行定性、定量描述和评价的一项综合研究方法和技术。其任务在于阐明油藏的构造面貌、沉积相和微相的类型和展布,储集体的几何形态和大小、储层参数分布和非均质性及其微观特征、油藏流体性质和分布,乃至建立油藏地质模型、计算石油储量和进行油藏综合评价。

油藏描述技术的综合性、定量化和广泛使用计算机手段是该项技术最突出的特色,它涉及多种学科的专业知识^[3]。从科研和生产实践来看,油藏描述是以多学科的理论为指导,综合应用多种信息,最大限度地应用计算机手段,对油气藏进行综合研究和描述。它是综合应用地质、地震、测井和油藏工程等资料,研究全油田的构造面貌、储集层的几何形态和岩性岩相、储层微观特征、流体性质和分布规律,定量描述储层参数的空间分布规律、储层非均质性,计算油气地质储量,建立油藏地质模型,进行油藏评价,研究油田开发过程中油藏基本参数的变化,从而实现全油田油气藏进行静态和动态的详细描述。

从长期的科研实践来看,特别是对那些复杂的油气藏,要正确揭示地下油藏的规律,必须利用多种手段和多种信息,以多学科的理论为指导,才能做好油藏的综合研究和描述,达到预期的目的。故油藏描述的方法和技术涉及的内容很广,概括起来说,可分为油藏描述的地质技术、油藏描述的地震技术、油藏描述的测井技术和油藏描述的计算机技术等4个方面。上述4个方面的技术目的是相同的,即对油藏进行整体或局部、宏观或微观、静态或动态的研究,去揭示复杂油藏的地质问题。由于各个技术属于不同的学科,所应用的原理、方法、手段和信息各不相同,所以,它们揭示油藏问题的侧面

也是不同的。

油藏描述技术发展至今已日趋完善, 实现了从宏观到微观、从定性到定量、从二维到三维、从静态到动态的油藏描述, 标志着油藏研究进入了一个新阶段——精细油藏描述。精细油藏描述技术现已得到我国东西部油田的广泛应用。其中, 储层描述技术、储层岩石物理相技术、河流相砂岩储层建模及测井约束反演储层预测技术、微构造研究技术、沉积微相定量描述技术、水淹层测井精细解释技术、剩余油描述及潜力评价技术等已迅速得到发展, 并在高含水、特高含水期整装、断块和低渗透等油藏进行调整挖潜中发挥越来越重要的作用。

3.2 油藏精细数值模拟技术

油藏数值模拟技术从 20 世纪 50 年代开始研究至今, 已发展成为一项较为成熟的技术。在油田开发方案的编制和确定、油田开采中生产措施的调整和优化以及提高油藏采收率方面, 已逐渐成为一种不可欠缺的主要研究手段。油藏数值模拟技术经过几十年的研究, 有了很大的改进, 越来越接近油田开发和生产的实际情况。油藏数值模拟技术随着在油田开发和生产中的不断应用, 并根据油藏工程研究和油藏工程师的需求, 不断向高层次和多学科结合发展。

近年来, 油藏数值模拟技术在各个方面得到了不断完善, 数值模型的自动化建模技术、精细建模与模拟计算中时间步精确控制技术、模拟参数场的交互更新技术以及工艺措施拟合的数字化技术也逐渐应用于油藏数值模拟研究^[3]。

3.3 动、静态描述相结合技术

国内过去开展的油藏描述侧重于静态描述。它主要利用原状地层参数, 建立概念模型和静态模型。而开发后期的剩余油分布研究则必须开展动、静态相结合的精细油藏描述, 在研究工作中充分利用动、静态资料, 考虑储层及流体参数在注水开发过程中的动态变化。动、静态相结合的油藏描述要求地质模型和数值模拟进行一体化研究, 在油层描述和油井动态分析基础上, 研究宏观剩余油分布。

3.4 多学科结合技术

特高含水期油藏油水关系十分复杂, 剩余油分布研究难度很大, 仅凭单一学科预测剩余油分布存在很大局限性, 只有应用多学科理论、方法和技术才有可能准确地预测剩余油分布。多学科综合研究

要求最大限度地采用综合信息, 地质、地球物理和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对剩余油分布进行预测的结果是否一致。

3.5 系统分析技术

在油田生产开发中, 可以将油田看作一个大系统, 在此系统中, 油水井生产动态是系统内各种因素作用的宏观表现; 构造因素、沉积相、储层物性、流体性质及开采中的水驱状况则是控制系统变化规律的微观因素。微观因素发生变化, 必然会在井的宏观动态上反映出来, 反之井的生产动态发生变化时, 则反映系统内的微观因素发生了变化。要解决非均质砂岩油藏进入高含水阶段的油田改造难题, 必须按照“系统工程”的原则, 从油藏描述和沉积要素与剩余油分布关系着手, 建立包括油藏地质分析—油藏工程研究—油藏数值模拟—水驱历史拟合—油藏精细综合描述—剩余油的四维分布(时空分布关系)—适宜的调整措施—3 次采油等在内的配套技术, 才能正确认识油藏的生产潜力, 提高油藏采收率。

4 我国大油田剩余油分布模式

我国各类碎屑岩储集层的开发状况和可动剩余油分布概率的研究表明, 我国各类碎屑岩储集层中可动剩余油分布差别很大。如果考虑储集层原始总储量, 则剩余油分布概率由大到小排列为: 河流相(48.6%)、三角洲相(27.6%)、湖底扇(浊积)相(9.6%)、冲积扇(冲积-河流)相(6.9%)、扇三角洲相(5.5%)和滩坝相(1.8%)。河流相和三角洲相储集层是我国石油资源的主要载体, 而河流相油层储量大、非均质性严重、采收率低, 是陆相地层中剩余油潜力最大的领域^[4]。

4.1 大庆油田的划分模式

大庆油田特高含水期综合运用各种动静态资料深入开展了剩余油研究, 划分出 10 种类型的富集区^[3]:

(1) 井网控制不住型: 主要是在原井网虽然钻遇, 但未射孔, 或是原井网未钻遇而新加密井钻遇

的油层中的剩余油。

(2) 成片分布差油层型: 油层薄、物性差, 虽然分布面积较大, 但动用差或不动用而形成成片分布的剩余油。

(3) 注采不完善型: 原井网虽然有井点钻遇, 但由于隔层、固井质量等方面的原因不能射孔, 造成有注无采、有采无注或无注无采而形成的剩余油。

(4) 二级受效型: 新加密井钻在原采油井的二级位置, 因原采油井截流而形成的剩余油。

(5) 单向受效型: 只有一个注水受效方向而另一个方向油层尖灭或油层变差, 或者是钻遇油层但未射孔, 形成剩余油。

(6) 滞留区型: 主要分布在相邻两三口油井或注水井之间, 在厚层和薄层中都占有一定的比例, 但分布面积相对较小。

(7) 层间干扰型: 存在于纵向上物性相对较差的油层中, 在原井网条件下虽然已经射孔, 注采关系也相对比较完善, 但由于这类油层的物性比同时射孔其他油层的物性差得多, 因而不吸水、不出油, 造成油层不动用, 形成剩余油。

(8) 层内未水淹型: 存在于厚油层中, 由于地层内的非均质性, 一般底部水淹严重。如果层内有稳定的物性夹层, 其顶部未水驱部分存在剩余油。

(9) 隔层损失型: 原井网射孔时, 考虑当时的工艺水平, 为防止窜槽, 作为隔层使用而未射孔的层内分布的剩余油。

(10) 断层遮挡处的剩余油。

4.2 胜利油田的划分模式

胜利油田根据河流相剩余油的分布特点, 将河流相油藏中的剩余油分布模式总结为下列 6 种主要类型^[3]:

(1) 水洗区剩余油, 分散相剩余油即油层水洗后残存于注水波及区油层孔隙中的剩余油, 多呈膜状、滴状散布于油层中, 约占总剩余油储量的 15% ~ 45%, 是当今调整挖潜 3 次采油的主要对象。根据“半连通体”模式, 河流相油层主体——点坝砂体内部通常分布有丰富的侧积或溢岸成因的泥片、泥楔或泥层, 呈斜切、横切、复切、直切等方式分布于点坝砂体内, 造成众多屏蔽滞留区即剩余油区。

(2) 弱水洗区剩余油层, 弱水洗区剩余油层主要是指正韵律河流相油层上部低渗段油层。由于该段油层渗透率较下部段低, 通常注水波及程度低, 油

层呈弱水洗甚至未水洗状态, 形成剩余油层。

(3) 未动用的薄油层, 受河流相沉积条件及压实作用规律控制, 许多河道砂体的边缘具有上倾尖灭特征, 它们不仅原始含油, 而且是注水开发后期油藏内分散剩余油在油藏内重新聚集的重要场所, 因而通常含有丰富的剩余油资源。

(4) 开发工程原因造成的剩余油层, 钻井、作业中, 通常会因钻井、作业等施工中入井液选择不当而使油层污染堵塞形成剩余油层, 是最重要的剩余油挖潜对象之一。河流相油层层间矛盾突出, 合采时层间干扰极大, 致使高孔隙度、高渗透段出油, 低孔隙度、低渗段很少出油或不出油形成剩余油层。注水开发阶段, 严重的层间矛盾同样使低孔、低渗段形成剩余油层。

(5) 微型圈闭内的剩余油, 在河流相地层, 尤其是网状河或辫状河地层复杂断块区, 直径几百米、起伏 20 m 的微型构造十分普遍, 包括微穹窿、微反向屋脊断块等, 它们含油气丰富, 但地震资料难以分辨, 因而常被遗漏, 微型正构造是油田开发后期剩余油富集的有利区。

(6) 已开发断块外延断棱型剩余油, 对多数已开发的复杂断块区油藏, 受过去地震构造分辨精度限制, 断棱位置通常难于把握, 致使在目前断块高点井以外的区域, 通常有外延的断棱体油气富集区残存形成剩余油。

4.3 其他的划分模式

韩大匡^[5](1995)在总结全国各油田特高含水期剩余油分布特点的基础上, 根据剩余油富集区的形成条件将其划分为以下 8 种类型:

(1) 不规则大型砂体的边角地区, 或砂体被各种泥质遮挡物分割所形成的滞留区。

(2) 岩性变化剧烈, 主砂体已大面积水淹, 其周围呈镶边或搭桥形态存在的差储层或表外层。

(3) 现井网控制不住的砂体。

(4) 断层附近井网难以控制的部位。

(5) 断块的高部位, 微构造起伏的高部位。

(6) 井间的分流线部位。

(7) 正韵律厚油层的上部。

(8) 注采系统本身不完善, 如有注无采、有采无注或单向受效等而遗留的剩余油。

俞启泰^[6](2000)也提出了一个分类, 认为特高含水期末波及的剩余油主要存在于以下地区:

(1) 注水高粘原油正韵律油层顶部未波及剩余油。

(2) 边角影响未波及剩余油。

(3) 层系内由于各小层物性差异而开采不均衡形成的未波及剩余油。

总之, 国内外专家从地质和井网动态等方面对剩余油分布状态的认识是比较全面的, 但不同地质模型、不同研究目的和方法对剩余油的控制规律仅停留在表面观察上, 还未形成完整的研究体系。

5 剩余油分布研究进展

5.1 剩余油分布的动态预测

由于储层非均质性影响和油田开采的不均衡性, 油田剩余油分布规律的研究不能仅局限于某个开发阶段, 而应该贯穿于整个开发期(包括天然能量开采阶段、水驱开采阶段、三次采油阶段的各类调整)。在油田开采的各个阶段, 随着各类测试资料的丰富和生产动态数据的积累, 剩余油分布的研究逐渐向量化、精细化的动态预测方向发展。

5.2 剩余油研究的精度

确定剩余油饱和度的核心是精度, 所使用的预测方法、工程项目及费用均与精度直接相关。特别是对一些即将开展三次采油剩余油研究的高含水油田, 通常高于 5 个饱和度单位的误差对于三次采油在经济上都可能不被接受。因此, 在保证所获取的各项参数准确、可靠的基础上, 应尽可能选用各类预测精度较高的技术。

5.3 三次采油后的剩余油研究

我国东部大多数油田经过多年的注水开发, 现已表现出后备储量严重不足, 已开发油田稳产基础日益变差, 油田综合含水上升速度进一步加快, 综合治理难度越来越大, 实施效果逐步变差的不利现象。油田的开发形势迫切要求发展适应油田自身特点的三次采油技术。

聚合物驱是推广程度最高的三次采油方法, 在驱替水驱油之后的剩余油提高采收率方面取得了较好成果。随着大量油田聚合物驱开采技术的推广应用, 地下原油采出程度更高, 剩余油分布更加不均匀, 同时有大量的聚合物溶液滞留地下。解决聚合物驱后油田的开采方法, 即聚合物驱后怎么办? 是否还有可能采取措施进一步继续提高采收率? 前景

如何? 是目前众多油田共同关注的热点, 也是四次采油研究的范畴。如何精细定量描述三次采油后剩余油的分布规律(由于大量注入水和大量聚合物的影响, 地层情况变得异常复杂, 尤其是剩余油以什么状态、什么方式、具体分布在什么地方, 剩余油饱和度高的地区在哪里等问题)? 如何定量描述三次采油后滞留在储层中的化学驱替剂的分布状况, 并进一步充分有效利用这些化学剂? 是三次采油后亟待解决的一项技术难题, 也是研究四次采油开采技术的基础。

5.4 剩余油挖潜的采油工艺技术

在认识剩余油的分布规律后, 如何高效合理开采剩余油仍是当前面临的难题, 我国石油科技工作者根据各种油田类型的地质特点研究出了多种有效的改善油藏开采技术, 例如辽河兴隆台油田的改变液流方向技术和捞油技术、吉林扶余油田的周期注水技术、胜利胜坨油田的封堵大孔道技术、大庆喇嘛甸油田的综合调整技术、江汉王场油田的单井吞吐技术、华北莫州油田的降压开采技术和潜山油藏下尾管技术等均取得了良好的社会经济效益。在今后的开发过程中, 还需要根据油田剩余油的分布特点研究出更多、更实用的开采技术。

6 总结

从油田开发的角度看, 随着油田开发进入高成熟期, 地下油水分布发生了巨大的变化, 开采挖潜的主要对象转向高度分散而又局部相对富集的、不再大片连续的剩余油, 甚至转向提高微观的驱油效率来。油藏精细描述旨在更精细、准确、定量的划分和预测出各级分隔体、隔夹层和岩石物性非均质性的三维空间分布规律, 刻画出微小断层、微构造的分布面貌, 建立精细的三维预测模型, 进而揭示剩余油的空间分布规律。

参考文献:

- [1] 谢俊. 剩余油饱和度平面分布方法研究及应用[J]. 西安石油学院学报, 1998, 13(4).
- [2] 张金亮, 赵英, 赖伟庆. 河间油田砂岩油藏剩余油分布研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995.
- [3] 谢俊, 张金亮. 剩余油描述与预测[M]. 北京: 石油

- 工业出版社, 2003.
- [4] 徐安娜, 穆龙新, 裘亦楠. 我国不同沉积类型储集层中的储量和可动剩余油分布规律 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25 (5) .
- [5] 韩大匡. 深度开发高含水油田提高采收率问题的探讨 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22 (5) .
- [6] 俞启泰. 注水油藏大尺度未波及剩余油的三大富集区 [J]. 石油学报, 2000, 21 (2) .

Present situation and advance of remaining oil research technology in China

L U Bao-jun¹, X IE Jun^{1,2}, Z H A N G J in-liang^{1,3}

(1. Center for petroleum exploration and development engineering of Shandong province, Qingdao, Shandong 266510, China; 2. Shandong University of Science and Technology, Tai an, Shandong 610059, China; 3. Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China)

Abstract: The study of remaining oil is a main task of reservoir management during the mid-late period of oil field development, is an important means of controlling water cut and stabilizing oil production as well. When oil field enters the developmental phase of high water cut, the relation of water and oil will be more complex, the reservoir heterogeneity will be more severity, the distribution of remaining oil will be more disperse, the difficulty of stabilizing oil production and adjusting measure will be bigger. The paper, based on the authors' achievements in projects research and general review of a quantity of literatures, expatiated present situation, primary technology and the distributing modes of remaining oil, and summarized the recent advance of remaining oil.

Key words: high water cut reservoir; remaining oil; present situation, reservoir description

北山内蒙段新发现钨矿化带

西安地质矿产研究所承担的“北山成矿带找矿重大疑难问题研究”工作项目,通过对北山地区地、物、化、遥等信息和勘查工作程度综合研究,提出本区近期找矿突破方向为难识别矿和半隐伏矿;首选主攻矿种为钨,首选主攻矿床类型为与酸性侵入岩有关的热液成因石英脉型-云英岩型-矽卡岩型钨矿床。

根据“前寒武纪古老陆块-S型花岗岩-钨异常-蚀变异常”综合信息找矿的思路,在筛选的成矿远景区内,经过对钨地球化学异常和遥感蚀变异常进行野外踏勘检查,在北山内蒙段发现并命名“国庆”钨矿化带。初步控制矿化带长7 km、宽50~200 m。矿化发育于花岗岩体内接触带,矿化类型有云英岩型、石英脉型和变砂岩型3种。沿矿化带断续采73个拣块样分析,含 WO_3 达2.23%~0.064%的4个(钨矿边界品位为 WO_3 0.064%),含 WO_3 达0.063%~0.02%的42个,说明钨矿化非常普遍。

由于该钨矿化带伴生大量电气石造成干扰,肉眼较难识别钨矿化,今后需要对该矿化带部署系统的基岩原生晕地球化学测量,进一步查明富集部位后再布置轻型山地工程。

(西安地矿所资源室 杨合群 杨建国 李文明 李英 杨林海)