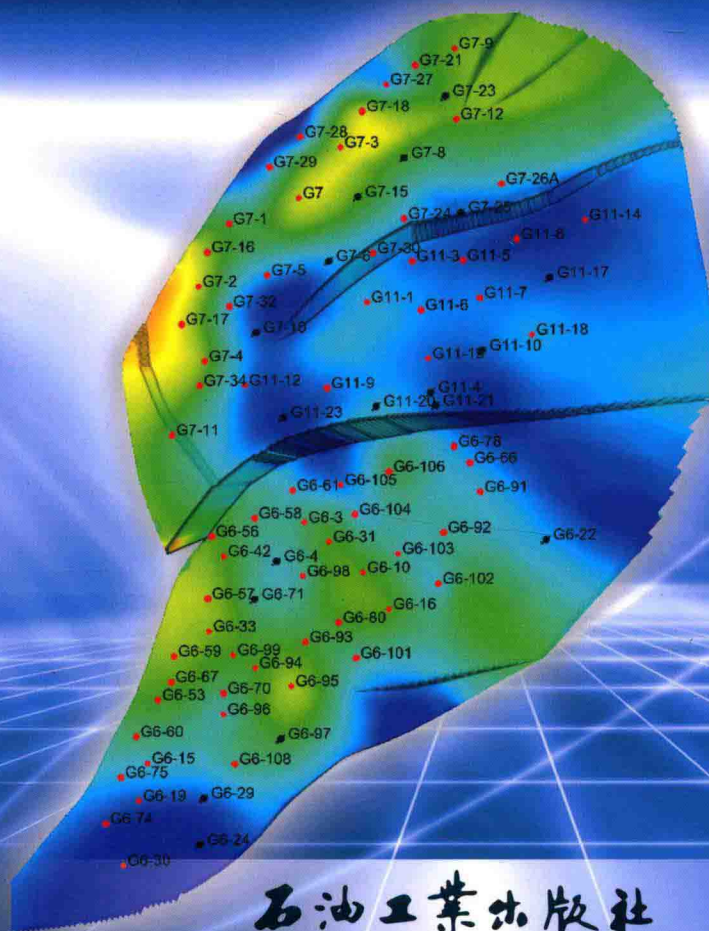


◆江苏省2013年度“博士集聚计划”资助

赵 毅 刘晓璐 王先荣 等◎编著



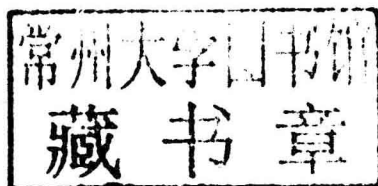
石油工業出版社

‘博士科研资助计划’资助

‘博士集聚计划’资助

剩余油分布精细描述 综合地球物理技术

赵 毅 刘晓璐 王先荣 等编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书在充分结合地质、地震、测井、钻井、录井、岩性、生产动态资料及前人研究成果的基础上,重点论述了以中低孔渗砂岩为代表的碎屑岩储层岩石物理研究、测井评价理论方法以及针对井震结合下的剩余油评价方法,并结合相关典型区块介绍了这些方法的应用实例分析。

本书可供从事测井研究、油藏研究及地震研究的相关科研人员以及高校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

剩余油分布精细描述综合地球物理技术 / 赵毅等编

著. —北京:石油工业出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5183-1892-6

I. 剩… II. ①赵… III. ①剩余油-分布-地球物理勘探 IV. ①TE15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 090458 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

编辑部: (010)64523736 图书营销中心: (010)64523633

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

2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 6.5

字数: 140 千字

定价: 50.00 元

(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

序

随着勘探开发的深入,我国中东部大多数油田已进入勘探开发中后期,然而,由于储层空间分布的复杂性和内部的非均质性,即使是产出期的高含水区块,仍在局部区域存在较高的剩余油饱和度,这为提高油气采收率措施的实施奠定了物质基础,也为剩余油空间分布预测提出了挑战。也正是储层剩余油空间分布的复杂性,学术界和油气勘探界已有众多大家对油藏中剩余油的宏观和微观空间分布特征进行了全面系统的研究,提出了系列剩余油分布预测评价方法。然而,关于剩余油分布预测的综合地球物理评价技术方面的专著仍然不多,此书针对油藏综合地球物理技术剩余油精细描述这一油气地质开发前沿领域,并以此为切入点,选题新颖。

该书作者吸收了国内外相关的地球物理方法剩余油分布评价的研究成果,特别是充分利用具有高纵向分辨率的测井资料和高横向分辨率的地震勘探资料来研究剩余油分布,从苏北盆地的实际资料入手,通过大量的岩石物理资料、岩心分析测试资料和开发动态资料,论证了的测井和地震勘探资料结合评价剩余油分布的可行性,建立了系统的中低孔渗储层参数模型,明确了灰质对孔隙度影响特征和趋势,提出了灰质含量校正的孔隙度模型,提高了孔隙度计算精度;深入分析了水驱油过程中电阻率随注入水矿化度的变化规律,建立了不同孔隙结构的剩余油饱和度模型,较好地确定了弱—中水淹和强水淹时的含水饱和度取值边界,形成了基于测井和录井资料融合水淹层精细评价方法系列;通过对储层参数敏感的地震属性优选和测井资料的岩石物理分析结果的约束,建立了基于 Gassman 方程的岩石物理参数预测模型和敏感地震属性预测优质砂体的综合剩余油分布预测方法,通过对研究区的应用,取得了较好的效果,为苏北盆地,乃至东部老油区的增产挖潜提供了一种有效实用的评价手段。

剩余油分布评价是一项实践性很强的技术,需要不断实践总结和方法理论的创新,此书是剩余油评价方法研究成果与高含水油气田开发实践紧密结合、协作攻关的结晶,作者团队既有企业研究院所的地质和地球物理专家,也有服务公司长期从事油气勘探实践的专家,书中方法理论的阐述基于大量实践的基础之上,又进一步指导了油气开发实践。因此,书中的方法技术,具有理论性强和易于推广应用的双重特色。

中国石化华东石油工程有限公司的老一辈石油勘探家已为复杂油气藏的剩余油分布评价研究做出了重要贡献。长江后浪推前浪，赵毅等年轻一代石油勘探工作者在深化油气勘探开发技术的同时，致力于综合地球物理资料的剩余油分布评价方法的创新，并已初见成效。相信此书的出版能为我国类似油气田的开发评价提供有益借鉴。

沈金松

中国石油大学(北京)教授、博士生导师

2017年2月

前言

众所周知,油田开发一旦进入中后期,掌握油藏中剩余油的宏观和微观的空间分布,对于获取尽可能高的油气采收率起到了关键的作用。因此,剩余油的分布预测评价既是困扰石油行业的难点,也是广大石油工作者攻关的重点,迫切需要发展与之相适应解决问题的技术与方法,以满足这方面的勘探开发需求。

纵观国内外相关资料,地球物理方法是剩余油分布研究中非常重要和有效的解决途径,它充分利用具有较高纵向分辨率的测井资料和较高横向分辨率的地震勘探资料来研究剩余油分布。在苏北盆地进行真正意义上的井震结合评价剩余油分布尚处于探索阶段,因此在2013年初,按照中国石化科研的总体要求,依托科研项目为前提,以“产学研相结合”的模式,在中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院、物探研究院以及中国石化华东石油工程有限公司测井分公司三家科研生产单位近四年工作的基础上,组织相关技术人员充分吸收前期研究成果,深入开展攻关工作。

在项目研究的过程中,笔者与中国石油大学(北京)相关老师和中国石化江苏油田分公司、华东石油工程有限公司相关专家以及技术人员交流讨论,明确研究方向,不断完善思路,及时调整技术方案,推广攻关成果的应用。三年来,立足于苏北盆地金湖凹陷G油田主力断块,着重于综合地球物理评价方法及技术联合攻关,取得了显著效果:

(1) 优化并建立了较为系统的中低孔渗的储层参数模型。尤其是在明确灰质对孔隙度影响较大的基础上,提出了校正灰质含量的孔隙度模型,较原先单声波计算的孔隙度模型,提高了解释精度。

(2) 建立了不同孔隙结构的剩余油饱和度模型。较深入地探讨了在水驱油岩电实验中,电阻率随注入水矿化度的改变而变化的规律。另外,在地层电阻率与含水饱和度的“U”形关系中,利用综合物性指数计算拐点处的含水饱和度,可以很好地控制弱—中水淹和强水淹时的含水饱和度取值的边界。

(3) 提出了基于测录井技术相结合的水淹层精细评价方法。在明确淡水水淹时,仅仅依靠用电阻率不能划分水淹等级的情况下,借助地化录井手段优势,并结合测井敏感曲线重构归一化后的液态烃含量和裂解烃含量有效地将水淹层

划分成弱—中水淹和强水淹两类,依据淡水水淹下的饱和度模型,得出不同水淹等级下的含水饱和度,结合束缚水饱和度建立了可靠的水淹层等级划分的解释标准。这一方法已在生产中获得良好的应用。

(4) 优选并确定了对储层参数敏感的地震属性。基于测井资料的岩石物理分析研究,得出了 Gassman 可作为 G 地区的岩石物理分析模型,并进一步正演模拟,得出了对储层参数敏感的地震属性。

(5) 预测了研究地区的剩余油分布。综合地震、测井、地质数据对砂体展布进行预测,明确了剩余油的分布规律,指出了地区性剩余油富集的有利区域,并得到生产的初步证实。

(6) 研究成果应用于生产,获得了较好的效果。一是研究地区的储层参数精度明显提高;二是研究地区的水淹等级划分从原先单一的水淹层识别深入做到水淹层精细解释,水淹层分级解释符合率达 80%;三是应用攻关成果进行老井复查工作和新井追踪,增储上产明显。

本书共七章,由赵毅、刘晓璐、王先荣、李立峰和周曲曼编著。前言、第 1 章由赵毅和刘晓璐编写,第 2 章由赵毅和周曲曼编写,第 3 章由赵毅、刘晓璐、王先荣和周曲曼编写,第 4 章由赵毅和刘晓璐编写,第 5 章由赵毅、王先荣和周曲曼编写,第 6 章由赵毅、王先荣和李立峰编写,第 7 章由赵毅编写。全书由赵毅和刘晓璐统稿。

在本书的撰写过程中得到了华东石油工程有限公司领导和专家的大力支持,得到了江苏省 2012 年度“博士科研资助计划”、2013 年度“博士集聚计划”和扬州市经济技术开发区的大力资助,得到了中国石化石油物探技术研究院朱立华首席,华东石油工程有限公司施振飞处长、尹军强处长以及中国石油大学(北京)博士生导师沈金松的耐心指导,得到了华东石油工程有限公司测井分公司、录井公司和技术装备处的领导和专家的大力帮助,得到了江苏油田分公司组织部、博士后管理站的大力配合,江苏油田分公司科技处、勘探开发研究院、油气勘探管理部、油气开发管理部和采油二厂的领导和专家做了大量具体的技术指导工作。值此本书正式出版之际,谨向他们表示衷心的感谢!

限于笔者水平,书中难免存在不足,敬请读者提出宝贵意见。

目 录

1 绪论	(1)
1.1 剩余油分布的预测方法	(1)
1.1.1 宏观剩余油分布研究	(1)
1.1.2 微观剩余油分布研究	(5)
1.2 剩余油研究的发展趋势	(6)
1.2.1 继续发展多学科协同研究	(6)
1.2.2 开展数字化油藏研究	(6)
1.2.3 大力推广新技术、新理论	(7)
2 研究区地质特征及地球物理表现	(8)
2.1 工区位置及地质概况	(8)
2.1.1 工区位置	(8)
2.1.2 储层发育及沉积相基本特征	(9)
2.1.3 储层特征	(9)
2.2 所面临的问题对应地球物理表现	(9)
2.2.1 地震资料	(9)
2.2.2 测井评价方法	(11)
3 储层岩石物理响应的变化特征	(12)
3.1 储层参数和测井响应的变化特征	(12)
3.1.1 水淹后产层物理性质的变化	(12)
3.1.2 地层水淹后测井响应特征的变化	(18)
3.2 地震岩石物理	(23)
3.2.1 基于 Gassman 方程的储层变化分析技术	(23)
3.2.2 正演模拟分析下的地震属性提取及优化	(26)
3.3 岩石物理实验设计	(28)
3.3.1 低矿化度地层水驱油实验研究	(29)
3.3.2 不同含水率岩心样品录井地球化学岩石热解实验研究	(33)
4 储层测录井技术结合评价模型及综合解释方法	(36)
4.1 储层参数评价模型与方法的建立	(36)
4.1.1 水淹前后泥质含量解释模型	(36)

4.1.2	水淹前后孔隙度和渗透率解释模型	(39)
4.1.3	水淹前后灰质含量解释模型	(42)
4.1.4	水淹前后束缚水饱和度解释模型	(45)
4.1.5	水淹前后含水饱和度解释模型	(45)
4.1.6	储层参数计算结果误差分析	(57)
4.2	水淹层测录井结合精细解释方法	(58)
4.2.1	水淹层的识别方法及标准建立	(59)
4.2.2	水淹层等级划分方法及标准建立	(60)
4.3	应用效果分析	(63)
5	井震结合的储层描述剩余油分布	(68)
5.1	测井方法的剩余油分布预测	(68)
5.2	拟时移地震勘探技术的剩余油分布预测	(75)
5.2.1	新老地震勘探资料一致性处理及效果对比	(75)
5.2.2	基于差异地震剖面的剩余油解释	(77)
5.3	井震结合砂体分布描述	(78)
5.4	井震结合的剩余油饱和度空间分布预测	(78)
6	剩余油的挖潜	(84)
6.1	剩余油富集类型	(84)
6.1.1	断层遮挡及边角型	(84)
6.1.2	井网控制不住型	(84)
6.1.3	层间干扰型	(84)
6.1.4	井间水动力滞留型	(86)
6.2	剩余油挖潜方向与措施	(86)
7	总结与展望	(90)
	参考文献	(92)

1 绪 论

剩余油的预测研究是地质、地球物理和油藏工程等不同领域的前沿性研究课题，是国际石油学术界迄今尚未得到完善解决的重大课题。它不仅是目前油田开发的三大核心技术之一，也是全世界石油勘探开发中最受关注的焦点问题之一。在剩余油预测研究方面，美国和苏联开展工作较早，形成了岩心分析、测井、试井、示踪剂测试、数值模拟及电阻率等多种方法。国内各油田自“六五”开始相继开展剩余油分布研究，经过几十年的不断探索和实践积累，目前已形成了一整套适合陆相地层的剩余油研究方法。

根据国内各大油田的研究成果，我国陆相油藏高含水期和特高含水期剩余油分布主要有 10 种：(1) 由于井网控制不住而形成的剩余油；(2) 由于层间干扰而形成的剩余油；(3) 由于油层伤害严重而形成剩余油；(4) 未列入开发方案的未动油；(5) 由于构造高部位的水动力“滞留区”而形成的剩余油；(6) 封闭性断层附近形成的剩余油；(7) 由于厚油层渗透率韵律性及非均质程度而形成的剩余油；(8) 由于黏度差和密度差而形成的剩余油；(9) 由于气锥和水锥而形成的剩余油；(10) 水淹层中微观规模的剩余油分布。

1.1 剩余油分布的预测方法

目前，国内各油田研究所和高校在积极探索应用不同方法去研究剩余油分布的同时，对各种方法进行了归类整理。最有代表性的是张昌民、樊中海(1996)把这些方法归结为三大类，即一维纵向剩余油分布研究方法、二维平面剩余油分布研究方法和三维空间剩余油分布研究方法，基本反映了国内剩余油研究的现状。另一种分类研究是俞启泰(1997)提出剩余油研究的对象应该和不同规模的油层体积对应起来，即分为微规模、小规模、大规模和宏规模。以下具体从宏观和微观两个方面介绍剩余油分布的预测方法。

1.1.1 宏观剩余油分布研究

1.1.1.1 岩心分析方法

岩心分析方法是唯一能够直接测量油藏岩性和流动特性的方法。目前最常用的取心方式有常规取心、密闭取心、压力取心、海绵取心和橡皮套取心。国内确定水驱后剩余油饱和度最常用的取心方式是密闭取心，但这种方法不能保持地层压力，而且储层胶结程度弱、易松散等情况会给利用岩心法确定剩余油分布带来一定的局限性。国外最常用的高压取心和海绵取心等新技术对剩余油饱和度的测量精度较高，成为确定单井剩余油

饱和度的可选方法。

但是从应用角度来看，不管是利用哪种取心法，最终都要受到取心的限制，不可能做到口口井取心，因此这种方法不足以反映每小层剩余油的平面分布，用于经济评价和动态计算精度较低，用它研究剩余油变化特点的价值不大，只能是一种很好的、较为直接的监测手段。

1.1.1.2 测井方法

用测井方法确定剩余油的分布，目前主要是通过裸眼井和套管井测井资料得到各个单井在不同测井时间下的地层含油饱和度，利用井间插值等手段，在平面上按不同开发单元得到不同时间的地层含油饱和度变化及分布，从而预测剩余油的分布。由于测井技术是通过井筒采集地层信息最多、覆盖面最广、采样密度最大、最能实时反映地层条件下各项参数的技术，因此是监测静态含油饱和度和动态含油饱和度的重要手段。20 世纪 50 年代以来，使用测井方法确定剩余油饱和度的研究取得了一定进展。进入 21 世纪后，剩余油饱和度测井方法的发展集中于套管井饱和度测井测量以及先进的产液剖面测井方法结合为油气田开发提供动态井间剩余油分布。纵观裸眼井和套管井测井方法（表 1-1）可以看出，每种方法都有其适用性和局限性，因此针对实际地区需要采用合适的套管井测井系列。虽然测井技术可以计算出不同测井时间下的含油饱和度，但是缺乏准确的油藏模型做依托，这种由“点”到“面”的预测，在很大程度上不能很好地预测实际剩余油的分布。

表 1-1 研究剩余油饱和度的主要测井技术

测井方法	亚类 I	亚类 II	优点	缺点
裸眼井测井	电阻率测井	常规电阻率测井	简单，易采用	精度低，地层因素影响较大
	介电常数测井	—	不受地层水矿化度影响	误差大，探测浅，需要井眼环境好，冲洗带影响很大
套管井测井	碳氧比能谱测井	—	不受地层水矿化度影响	对低孔隙度地层效果差
	中子寿命测井	常规中子寿命测井	工艺简单，高矿化度地区	泥质含量及有关骨架俘获截面等参数制约计算结果
		时间推移测井	高矿化度地区，不需要精确估算泥质含量及有关骨架俘获截面等参数	地层水和油烃的性质没有发生变化
		中子寿命测井“测—注—测”技术（盐水、硼、钆）	适用面广，精度较高	硼化物难以进入低渗透或堵塞地层，裂缝层会漏失，影响测量精度
	过套管电阻率测井	—	探测深度深（2~11m），低孔、低矿化度地层都能应用	必须保证裸眼井测井和套管井测井时的地层水电阻率不变
	脉冲中子测井	—	三种可选择的测井模式：非弹性—俘获模式、俘获—Σ模式和Σ模式	—

1.1.1.3 开发地质学方法

开发地质学方法主要从研究储层的宏观非均质特征入手,动静结合,分析剩余油的空间分布。静态方面包括储层的岩性特征、沉积类型、成岩作用特点以及孔隙的成因和类型等;动态方面包括在采油过程中进行油藏监测,观察油藏的动态变化,认识孔隙度、渗透率、含油饱和度以及流动通道的分布。在储层多层次解剖的基础上,应用地质、地震、测井和试油试采资料进行多学科综合分析,研究空间上的非均质性变化。

针对我国东部油田的开发地质特征,通常把碎屑岩储层非均质性划分为油田级非均质性、成因单元级非均质性和微观级非均质性,这种分类简单实用,便于分开发阶段进行重点研究。如在油田开发初期,主要研究油田级非均质性;在注水调整阶段,重点研究成因单元级非均质性,包括成因单元间的边界和侧向相变、成因单元内的渗透率分带和不渗透隔层;而微观非均质性则是三次采油阶段的研究重点。我国经过多年的摸索已形成了一套陆相储层非均质性综合研究的基本方法。

1.1.1.4 地震勘探技术

地震勘探资料为研究提供的储层横向连续性、孔隙空间分布和非均质性信息,是把储层地质描述扩展到井眼以外区域的关键。根据这种信息得到的描述结果将是后期解决确定剩余油分布问题所依据的基础。通过连续和重复测量方式获得的地震勘探资料,是在油藏开采阶段监测井间范围乃至开采区域中储层内部非均质性、连通性和增产措施波及效果的主要信息。这些信息结合描述结果将有助于圈出油藏开采过程中的未波及域或死油区,从而修改增产措施的实施计划,指导加密井的布井。

目前最常用的方法是时移地震监测技术,这项技术最早试验起于国外,是由 Arco 公司于 1982—1983 年在美国得克萨斯州北部的 Holt 储层上进行的试验勘探, Greaves 等 (1987) 记录了那次试验勘探过程。试验实现主要是通过时间延迟的多次地震数据采集观察地震响应的差异,进而确定油藏随时间的变化,即动态变化。然而,由于当时过分强调永久性检波器,且当时成本十分高昂,使此项技术的应用前景受到严重的影响。进入 20 世纪 90 年代中期,由于三维地震勘探技术被广泛接受和应用,在全球范围内有一些油田有了不同时间采集的三维地震勘探资料,从而构成了时移地震数据体。人们对这些数据进行分析、处理和解释,获得了相当的效果,从而使得时移地震勘探技术有了广泛的前景,其中 WesternGeco、CGG、PGS 等主要地球物理服务公式成立了相当的技术队伍,而石油公司如 Shell、ExxonMobil、Chevron Texaco 也组织专门的应用及开发小组,对其拥有的油田建立了相应的可行性分析手段,并在世界各地的实际油田中取得了应用,比如 Stafojd 油田和 Gullfaks 油田,Shell 的 Draugen 油田等。进入 21 世纪,人们提出 e-field 的概念,即在油田开发的每个阶段,在油藏表面、井筒内,如套管上均安装检波器。然后,选择不同时间进行地震激发,并迅速处理和分析,以及时跟踪油藏动态并调整开发方案,最终获得最佳的采收率。在解释处理方面,Xuri Huang (1997) 正式提出地震历史匹配的概念,并在工业界取得了应用,其核心是结合生产动态信息去约束地

震处理,以及引导解释和标定过程。之后, Statoil、TotalElfina 也在此方向上联合如 Schlumberger 等公司做了相当的工作,使此技术成为地震信息进入油藏开发的重要手段。另外,近来各大研究机构、院校也展开了有关时移地震和动态数据结合的研究工作,如美国的 Stanford 大学、Tulsa 大学、Texa A&M 大学,英国的 Heriot-Watt 大学等。国内也在 20 世纪 90 年代中期从国外引入时移地震监测技术,新疆、辽河、大庆等油田在这个方面进行了积极的探索,中国科学院、中国石油大学(北京)、中国石油大学(华东)、西南石油大学等院校也积极参与到时移地震监测技术的研究中。

虽然时移地震监测技术可应用于油藏开发的各个时期,但由于时移地震监测技术主要是利用重复地震测量的差值来监测储层动态变化,因此储层变化是否可引起稳定而可信的地震差异以及不同时间测量所获得的地震勘探资料之间的可重复性与一致性是时移地震能否顺利实施的关键。

1.1.1.5 示踪剂测试法

示踪剂测试法用于确定剩余油饱和度已基本成熟,国外对该法的研究与应用做了大量工作,国内也做了一些相应工作。国外普遍认为单井示踪剂测试方法是确定剩余油饱和度的主要方法之一,具有很好的应用前景。同时,井间示踪剂测试法应用也较为广泛,水驱开发油田中应用井间示踪测试技术已有多年历史,但最初仅仅用来定性地了解地下流体运动状况。20 世纪 70 年代末,国外在五点井网中用井间示踪测试技术解释油藏非均质性,使井间示踪资料的解释逐步向定量化方向发展。80 年代末,加拿大 ESSO 公司在混相驱试验中成功地进行了为确定水驱剩余油饱和度的井间测试。随着示踪剂产出曲线解释技术的发展,使应用井间示踪剂测试方法解决储层剩余油问题的技术迅速发展起来,并取得了很好的地质效果。1996 年,大港油田首先进行应用井间示踪测试法确定水驱油田的剩余油分布的试验,并在试验过程中解决了可分配示踪剂的选取、现场注入、可分配示踪剂分配系数的测定、样品的分离以及浓度测定技术和现场实验选井试验原则,形成了一套切实可行、符合实际的示踪资料与地质资料结合分析的方法,对油水井制定合理的措施,提高采收率提供了科学的依据。

虽然井间示踪测试法对于注水开发区剩余油的研究提供了新的思想,从目前的应用来看收到了明显的地质效果,但在应用中也存在一些有待攻克的难题:(1)在注水井多层合注、生产井多层合采的条件下,应用效果较差;(2)对于整个研究区的研究,仅两种示踪剂不能解释多个注水井组的剩余油问题。因此,在以后的研究过程中应开发多对示踪剂,能够形成比较完善评价井区整体的示踪剂测试方法。

1.1.1.6 物质平衡法

自 1953 年 R. J. Schithuis 利用物质守恒原理,首先建立了油藏的物质平衡方程式以来,该方程式在油藏工程中得到了广泛的应用和发展。物质平衡方程式的主要功能在于:确定油藏的原始地质储量,判断油藏的驱动机理,可以在给定产量条件下,预测油藏未来的生产动态等。

物质平衡法计算出来的剩余油饱和度只是某小层的平均值，而在小层的不同区域可能有较大的差异，这是由于储层平面非均质性及注入水的波及状况差异所致。因此，这种方法不能够指出油藏平面上剩余油分布的具体情况。为了克服物质平衡法存在的弱点，可以把油藏分成若干井区，然后分别对每个井区用物质平衡方程式进行计算。正确地使用物质平衡方程式可以对注水结束时的累积产油量做出可靠的预测，此后即可把这个值用于计算剩余油量或平均剩余油饱和度。另外，该方法适合于地层压力高于饱和压力的油藏。对于地层压力低于饱和压力、脱气严重的油藏，误差较大，不宜使用。

1.1.1.7 数值模拟方法

油藏数值模拟方法是模拟油气藏中流体渗流过程的一项技术，是定量研究剩余油分布的重要手段，是在油藏精细描述的基础上，采用历史拟合方法，再现从投产到当前的全部生产过程，可以得到剩余油饱和度分布和剩余石油储量丰度分布以及可采剩余油储量分布情况。利用油藏数值模拟研究油层饱和度，可以计算整个油层中饱和度在时间和空间上的变化，并可以进一步预测未来饱和度的变化，因此该方法具有很有效的实用价值。

但数值模拟采用的是粗网格化的近似技术，应用于多相流体在介质中流动就存在不可靠的问题。很显然网格越粗越不可靠，网格越细精度会越高，但网格细化是很有限的。为了用较粗的网格真实模拟油藏动态，该方法是提高模拟多相流在孔隙介质中流动特征精度的有效途径，但作为油藏研究的一种手段和方法，油藏数值模拟不是万能的，该方法依靠大量的、烦琐的相关处理，并且要有高精度的地质模型给予支持，因此限制了该方法的广泛使用。虽然计算技术的发展促进了油藏数值方法的应用，但在石油开发领域中受到对油藏认识的限制，油藏作为一个地质实体，在空间上任何一种测试尺度中都存在非均质性，而目前所有探测手段的分辨率还远远不能满足油藏数值模拟的要求，况且人们对含油饱和度、毛管压力等参数的认识，至今还不能十分肯定地说明其规律。因此目前利用数值模拟方法对油藏进行研究所得到的结果在一定程度上只能是相对的，或者只能说是某种时空尺度上的平均结果。由油藏数值模拟方法研究和应用的过程可以看出，其完善性与数学模型、数值模型和计算方法、资料齐全和准确程度、模拟操作人员对油藏认识和理解的程度等因素有关。

1.1.2 微观剩余油分布研究

剩余油的微观分布研究是在“微规模”的尺度研究剩余油的分布，具体研究内容及方法如下：

应用含油薄片确定剩余油饱和度的方法是岩心分析技术之一。通过对检查井进行密闭或高压取心以保持岩心在地下的真实面貌，对岩心含油薄片进行分析以确定油层孔隙中剩余油的分布形态、油水分布状况等。该方法既能够对取心井所在区域进行水淹程度和剩余油饱和度评价，还可以为间接预测微观剩余油饱和度提供必要的参数。

微观仿真模型技术是在几微米到几毫米的孔隙尺寸级别研究剩余油的分布,目前这类研究有两个方面:(1)利用理想的孔隙模型进行剩余油驱替机理及影响因素的研究。郭尚平等(1990)介绍了利用配套的微观渗流仿真模拟技术进行的油水二相、油气水多相等 15 项微观渗流模拟研究结果,大大加深了对微观剩余油分布及其影响因素的认识。(2)根据实际油藏的岩性及孔隙结构,建立微观仿真模型,进行驱替实验,直接指导具体油田的开发工作。徐守余(2005)在胜坨油田馆陶组水驱残余油进行了微观剩余油仿真模型研究,取得了有价值的认识。

1.2 剩余油研究的发展趋势

从以上各种预测方法的优缺点可以看出,单靠一种技术是很难对剩余油进行准确而完整的描述,多学科综合研究是精确描述剩余油的最佳途径。

1.2.1 继续发展多学科协同研究

剩余油的分布不仅受地层非均质因素影响,还受驱油进程的影响,仅凭单一学科研究剩余油的形成与分布存在很大的局限性,因此必须应用多学科技术,尽可能多收集资料,进行仔细分析和解释。多学科综合一体化(如勘探开发一体化、开发试验一体化等)研究,通常能够取得令人比较满意的结果,因而在石油勘探开发中被广泛应用。目前由于地震分辨率的瓶颈问题,单从地震技术上对薄层的预测很难有实质性突破,应该与地质、测井相结合,地质研究要提供地震可以预测和应用的地质模式,降低地震预测的多解性和不确定性,提高预测精度和准确性。测井研究在一般解释的基础上应该主要针对特殊类型的储层(裂缝性油藏、低渗透油藏、低饱和度油藏等)提供比较准确的参数。油田的动态、静态资料要有机结合。随着油田的不断生产,油藏工程和生产动态资料要一直用来检验和修改油藏描述的结果和地质模型,做到地质模型的实时修改和矫正,以便更加接近地下的实际情况。

1.2.2 开展数字化油藏研究

有关专家认为,提高采收率措施成功与否决定于对油藏地质特征认识的清楚程度,地质和油藏工程研究的作用越来越重要,甚至是提高采收率技术成败的关键。国内外数字化油藏研究包括露头参数分布特征研究、油藏井间非均质性研究、三维地质和油层物性参数分布研究、岩石各向异性和渗透率三维空间变化特征研究以及油藏参数的显示研究等。通过室内油藏条件下的物理模拟,结合考虑物理渗流的数值模拟研究,形成复杂系统的物理模拟和精细数值模拟方法,为提高石油采收率技术提供模拟方法和手段。为此,需要开展物理渗流研究和复杂系统的非线性流理论,其中包括油层物理研究以及针对不同孔隙介质、不同油藏特点和不同流体的渗流规律研究,建立相应的渗流数学

模型及求解方法，模拟预测驱油过程和效果，最终在油田上得以有效应用。该技术方法的发展与完善，将为剩余油分布的定量化描述与提高采收率提供更加精细的数字化的油藏基础。

1.2.3 大力推广新技术、新理论

在今后的精细油藏描述及剩余油分布研究技术发展中，要着重以下几个方面的开发和应用：开展陆相高精度层序地层学的理论和应用研究，寻找可以识别的地层界面；继续推广完善原型地质模型与地质知识库在储层预测中的应用；测井新技术的发展与系列建模算法的开发和优化；在三维地震勘探的基础上，进一步发展四维地震勘探与多波地震勘探，解决老油田的剩余油分布和薄储层、裂缝性储层等复杂储层的预测问题。

2 研究区地质特征及地球物理表现

为了更好地体现出综合地球物理技术评价剩余油的优越性，在苏北盆地开展这一相关研究的尝试，以苏北盆地开发较早的老油田 G 油田为研究对象，开展综合地球物理技术的剩余油研究。本章着重介绍研究地区的相关地质情况以及地球物理资料所面临的问题，为后续如何利用这些资料进行剩余油的分布预测奠定了基础。

2.1 工区位置及地质概况

2.1.1 工区位置

G 油田位于苏北盆地金湖凹陷西部斜坡带中段，东与三河次凹相连，西与建湖隆起相望，被断层切割形成的断鼻、断块群(图 2-1)，区域面积约 100km²，主要的含油断块为 G6、G7，整体为北东向东南倾的斜坡构造，地层呈西北高、东南低的趋势。

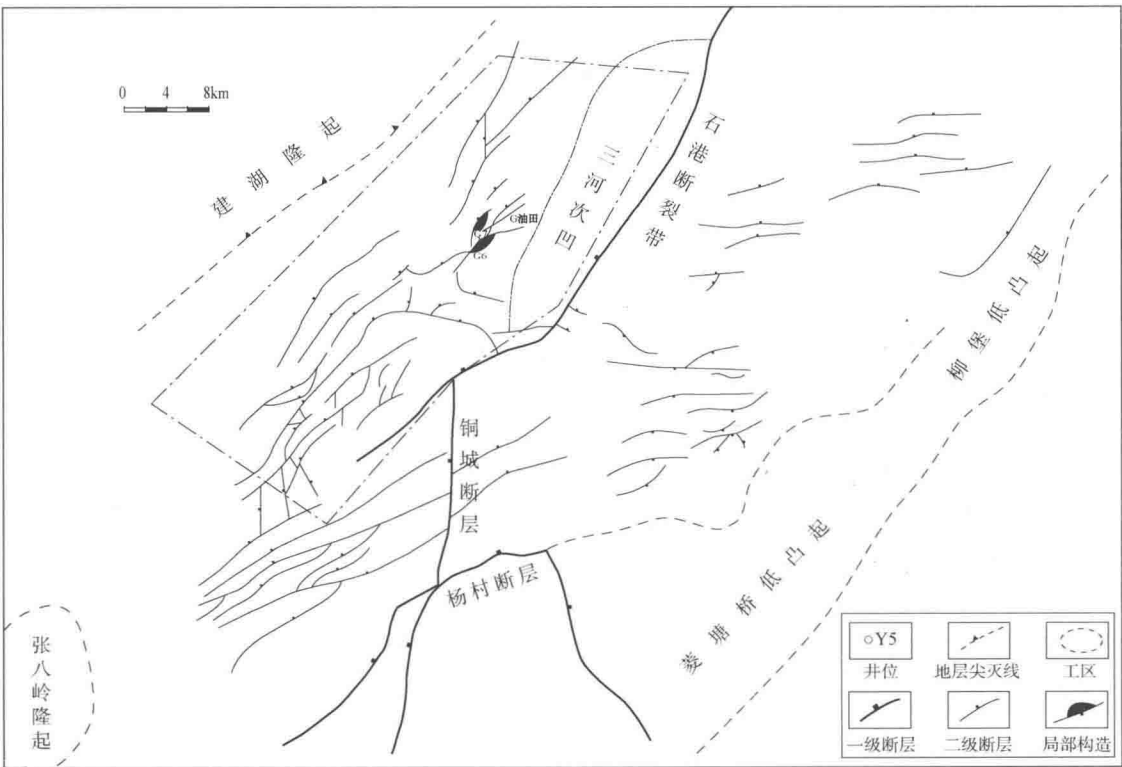


图 2-1 金湖凹陷构造区划图