

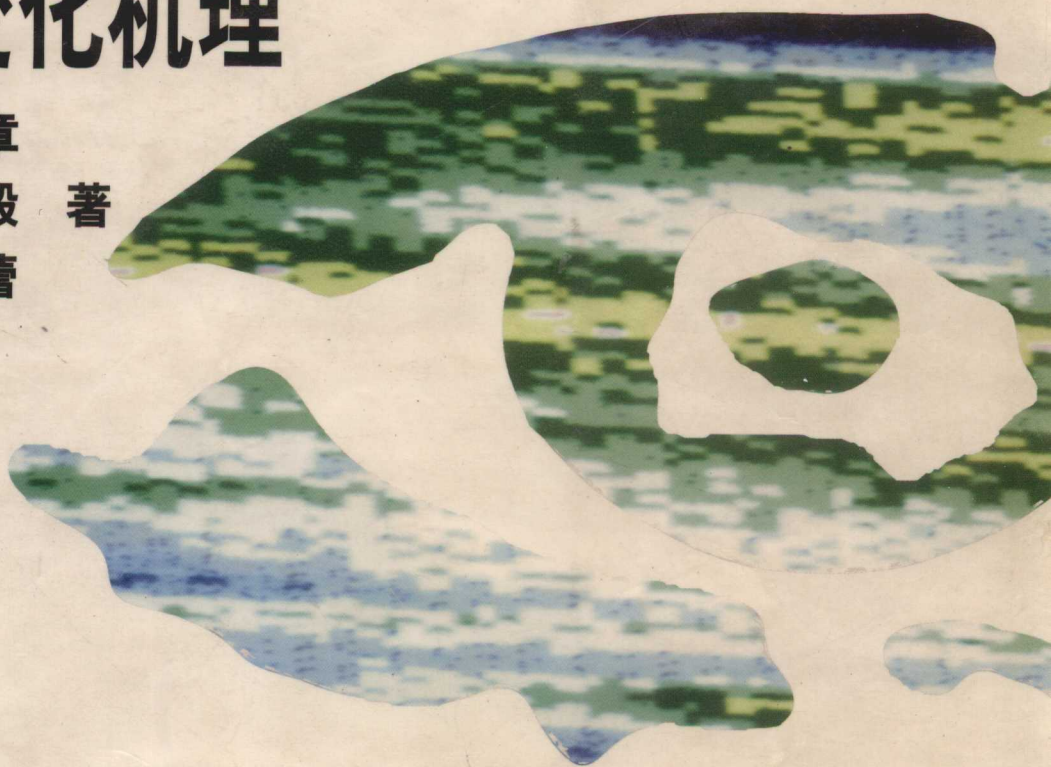
中国典型油气藏描述及预测丛书

开发中后期油藏参数变化规律 及变化机理

王志章

蔡毅 著

杨蕾



CHANGING LAW AND MECHANISM OF
RESERVOIR PARAMETERS IN MID - LATER
DEVELOPMENT PERIOD

石油工业出版社

登录号	149311
分类号	P618.130.2
种次号	204

中国典型油气藏描述及预测丛书

开发中后期油藏 参数变化规律及变化机理

王志章 蔡毅 杨蕾 著



作者	王志章
日期	2000.1.24



石油大学 0152694

石油大学图书馆章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统总结了油藏属性参数变化规律的研究现状、发展趋势;阐述了进行油藏参数变化规律研究的技术、方法与流程;详细介绍了在实验室模拟基础上,充分利用开发中后期油田的动、静态信息,利用多元统计分析技术、神经网络模拟及预测技术、地质统计学分析技术,建立岩心分析油藏参数与测井信息间的最佳转换关系或模拟模式,利用井间分形预测技术、随机模拟技术,从三维空间描述油藏参数变化规律,揭示开发过程中油藏属性参数变化机理,并从机理上阐述储层流体间的相互作用、相互改造。书中应用储层岩石物理相及油藏渗流地质学的新理论、新思维,对开发中后期高含水油藏参数变化规律及变化机理进行归纳、总结,有效地预测出开发中后期油田大孔道高孔渗流动单元及剩余油分布区。

本书可供从事现场实际工作的科研人员使用,也可作为石油大专院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开发中后期油藏参数变化规律及变化机理/王志章等著.

北京:石油工业出版社,1999.10

(中国典型油气藏描述及预测丛书)

ISBN 7-5021-2829-8

I. 开…

II. 王…

III. 油藏-参数分析

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 65721 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京林地贸易公司排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 6 插页 230 千字 印 1—1000

1999 年 10 月北京第 1 版 1999 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2829-8/TE·2212

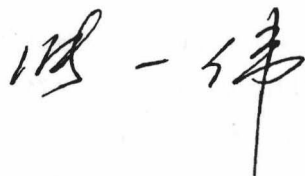
定价: 20.00 元

序

油藏描述是 70 年代末开始出现, 80 年代发展起来并逐步完善的一项为勘探、开发准备的综合评价油气藏的新技术, 勘探开发的实践表明, 勘探与开发工作成败的关键在于对油藏的认识是否符合客观实际, 因而, 自“七五”以来, 国内外均把油藏描述、表征及预测放在突出的位置并加以研究。

中国的油气藏十分复杂, 多为陆相沉积, 且地质构造复杂、断块发育、非均质性强, 给油田勘探、开发带来了许多适用常规理论方法和技术所解决不了的新问题。石油大学(北京)油藏描述与预测研究所全体研究人员及其合作单位, 十余年来, 在生产实践中不断探索、创新, 历经“七五”、“八五”、“九五”刻苦攻关, 逐步发展创造了一套具有中国地质特点的陆相非均质油藏描述、表征及预测的理论、技术和方法, 并在生产实践中取得了明显的经济效益和社会效益。

《中国典型油气藏描述及预测丛书》正是石油大学(北京)油藏描述与预测研究所十余年科研攻关的结晶。这套丛书包括《现代油藏描述技术》、《勘探阶段油藏描述》、《开发阶段油藏描述》、《复杂断块油田油藏精细描述及预测》、《砾岩油藏描述及预测》、《低幅度构造油藏描述及预测》、《裂缝性油藏描述及预测》、《碳酸盐岩油藏描述及预测》、《低渗、特低渗油藏定量表征及预测》、《特殊类型油藏描述及预测》、《开发中后期油藏参数变化规律及变化机理》、《典型气藏描述及预测》十二个分册。比较系统地阐述了我国陆相油田不同勘探开发阶段, 不同油藏类型的动、静态特征及其真实的地质模型, 开创性地提出了针对陆相油藏、复杂油藏的储层岩石物理相、油藏渗流地质学、相控储层对比、相控储层预测、相控储层参数计算、相控储层随机模拟、视标准层构成及视储集空间构成等新理论、新技术、新观点。发展并完善了储层地震预测、微分分析法、多参数法识别油气水层、储层参数神经网络模拟及预测、剩余油形成机理及预测、裂缝性储层评价、碳酸盐岩储层表征、油藏属性参数三维建模等方面的配套技术和方法。相信它的出版, 必将会对高效地指导今后油田勘探、开发起到积极的作用。同时也会有助于广大石油科技工作者, 与在个别的学科中单独发展起来的关键技术聚合于一起, 进行系统的思考, 从三维空间乃至四维空间, 科学地认识油藏、管理油藏, 推动我国油气田勘探、开发水平的不断提高和石油工业的发展。



1998 年 12 月

前 言

目前,中国东部许多老油田相继进入高含水中后期开采阶段,由于陆相储层的高度非均质性 & 地下流体性质的不断变化,导致水驱推进过程不均匀,造成油藏属性参数(主要包括储层物性参数、孔隙结构参数、渗流参数等)发生变化。因此,正确地认识这些参数的变化规律及现阶段油藏参数的特点,从理论与实践两方面弄清影响油藏属性参数变化的因素,对油田进一步挖潜、三次采油方案的制订、注水开发效果的改善,乃至对油气藏的形成均具有十分重要的现实意义。本书在系统查阅国内外文献基础上,总结了油藏属性参数变化规律研究的现状、发展趋势,阐述了进行油藏参数研究的技术、流程,明确提出了在实验室模拟基础上,充分利用研究区开发中后期油田的动、静态信息,利用多元统计分析技术、神经网络模拟及预测技术、地质统计学分析技术,建立岩心分析油藏参数与测井信息间的最佳转换关系或模拟模式,利用井间分形预测技术、随机模拟技术,建立反映当今油藏特征参数的三维模式,从机理上阐述储层流体间的相互作用、相互改造,揭示开发过程中油藏属性参数变化机理。

本书以双河油田水驱油藏、克拉玛依油田九区汽驱油藏为例,系统阐述了油藏参数变化规律及变化机理,建立了油藏参数的模拟及预测模型,并利用神经网络预测技术及多井评价技术,精、细、准地预测了长期水驱、汽驱油藏的宏观、微观属性参数,利用克里金分析技术、随机模拟技术、分形预测技术、三维建模技术,有效地预测了油藏参数井间、平面、三维空间的变化规律及其内在的联系,并开创性地应用储层岩石物理相及油藏渗流地质学的新理论、新观点,对开发中后期油藏参数变化规律及变化机理进行归纳、总结,有效地预测出大孔道高孔渗分布单元及剩余油分布区。

全书共分九章,第一章主要阐述油藏参数变化规律研究的进展及趋势,主要研究内容及采用的关键技术;第二章系统阐述了表征及预测油藏参数变化规律的技术和方法,系统阐述了在实验室内长期水冲刷条件下,油藏参数变化特征及规律;第三章详尽描述了开发中后期关键井(密闭取心井)、新一新、新一老对子取心井储层岩性、物性、电性、含油性、渗流参数特征及变化规律;第四章着重探讨了开发中后期油藏参数多井模拟预测技术及可信度分析;第五章在前述研究基础上,定量表征及预测了油藏参数在垂向、井间、平面、三维空间的变化规律。第六章着重研究了开发中后期油藏渗流地质学特征,即长期水驱油田储层非均质对流体运动的影响及流体对储层的改造,研究油藏渗流屏障、渗流差异、储层敏感性及孔隙骨架特征、孔隙网络几何特征、孔隙内粘土矿物特征及孔壁特征;第七章详细论述了开发中后期长期水冲刷油藏储层参数变化机理、剩余油分布形成机理、油藏润湿性变化机理、水驱油效率及油水相对渗透率变化机理;第八章则利用储层岩石物理相的新理论,对长期水冲

刷后储层渗流场进行表征及评价，对剩余油分布进行了预测，并提出了对开发中后期水驱油藏的综合治理措施；第九章介绍了储层岩石物理相的表征方法以及剩余油分布规律的预测方法。

总之，本书旨在通过对长期水冲刷油田油藏参数变化规律的系统研究，从机理上对开发中后期水驱、汽驱油藏进行科学的开发、管理，为中国东部、西部老油田的合理开发，最终提高采收率提供科学的依据。

由于作者水平所限，书中采用的技术、方法肯定有不妥之处，恳请国内外专家、同行批评指正。

作者

1998年11月

目 录

第一章 总 论	(1)
第一节 国内外目前研究进展及趋势	(1)
一、储层实验室模拟与表征	(1)
二、通过地震、测井预测, 阐明油藏参数在空间的变化规律	(2)
三、随机模拟预测油藏参数变化规律	(2)
四、储层岩石物理相研究	(3)
第二节 研究区油藏地质基本特征	(4)
一、双河油田油藏地质基本特征	(4)
二、克拉玛依九区齐古组稠油油藏地质特征	(4)
第三节 采取的关键技术及研究流程	(6)
一、储层实验室模拟及表征技术	(6)
二、神经网络模拟及预测技术	(6)
三、关键井研究及多井评价技术	(8)
四、井间分形预测技术	(8)
五、随机模拟技术	(8)
六、三维建模技术	(9)
第四节 主要描述内容	(10)
第二章 油藏参数变化规律表征及预测方法研究	(12)
第一节 储层参数实验室模拟与表征	(12)
一、长、短岩心长期水冲刷室内模拟	(12)
二、含油薄片分析法	(12)
三、微观透明模型模拟法	(12)
第二节 神经网络模拟及预测	(13)
第三节 关键井研究及多井评价	(15)
一、关键井特征	(15)
二、关键井研究	(15)
第四节 井间分形预测	(16)
一、分形基本原理	(16)
二、井间分形克里金的具体步骤	(18)
三、分形维数计算	(18)
第五节 随机模拟	(23)
一、随机模型的类型	(24)
二、随机建模方法	(24)
第六节 三维建模技术	(25)

第三章 油藏参数实验室模拟及其变化规律研究	(27)
第一节 室内实验	(27)
第二节 水驱前后油层孔隙度变化特征	(27)
第三节 水驱前后渗透率变化特征	(28)
一、小岩心柱注入水长期冲刷后渗透率变化特征	(28)
二、长岩心大直径模型地层条件水驱后气体渗透率变化特征	(30)
第四节 水驱前后油层孔隙结构变化特征	(31)
一、水驱后油层毛细管压力变化特征	(31)
二、水驱后油层孔喉大小参数变化特征	(32)
三、水驱后油层孔喉分布特征参数变化特征	(32)
第四章 水驱、汽驱前后关键井油藏参数变化规律	(35)
第一节 水驱前后关键井油藏参数变化规律	(35)
一、水驱前后储层属性参数特征分析	(35)
二、水驱前后储层物性参数总体变化规律分析	(37)
三、水驱前后储层参数对比分析	(41)
四、对子井电性分析	(44)
五、储层参数多元逐步回归分析	(45)
第二节 汽驱前后关键井油藏参数变化规律	(46)
一、储层物性的变化	(46)
二、储层微观参数的变化	(47)
第五章 关键井油藏属性参数预测及多井评价	(51)
第一节 储层参数模拟及预测研究流程	(51)
一、参数设置	(51)
二、运行	(52)
三、显示	(52)
四、绘图	(52)
第二节 水驱前后储层物性、孔隙结构参数神经网络模拟及预测	(54)
一、参数选择	(54)
二、储层物性、微观孔隙结构参数神经网络模拟及模拟精度分析	(56)
三、储层微观孔隙结构参数神经网络模拟	(59)
第三节 剩余油饱和度神经网络模拟及预测	(61)
第四节 油藏属性参数多井定量预测	(62)
一、多井数字处理	(62)
二、储层参数集总	(63)
三、精度分析	(65)
第六章 油藏参数空间变化规律研究	(70)
第一节 储层参数垂向变化规律及其单井定量模型	(70)
第二节 储层参数井间变化规律及其井间预测模型	(71)
第三节 储层参数平面变化规律及其确定性模型	(72)
第四节 储层参数随机模拟	(73)

一、随机模拟的意义	(73)
二、序贯指示模拟方法及其应用	(73)
三、利用模拟退火进行随机模拟	(75)
第七章 油藏渗流地质特征及其变化规律研究	(80)
第一节 油藏渗流屏障特征分析	(80)
一、隔夹层特征及分布	(80)
二、实验室模拟夹层屏障作用分析	(81)
第二节 油藏渗流差异特征研究	(83)
一、层内渗流差异性	(83)
二、层间渗流差异性	(85)
三、平面渗流差异分析	(87)
第三节 水驱前后储层孔隙模型及其渗流地质特征变化规律	(87)
一、孔隙网络特征描述	(88)
二、水驱前后储层孔隙内粘土矿物特征及分布	(90)
三、水驱后油藏润湿性特征	(91)
四、水驱后油层水驱油效率及油水相对渗透率变化特征	(92)
五、储层—流体相互作用分析	(94)
第四节 汽驱前后油藏渗流地质特征变化规律	(95)
一、孔隙内粘土矿物变化规律	(95)
二、油藏渗流特征变化规律	(96)
三、流体—岩石相互作用及其变化规律	(98)
第八章 油藏参数变化机理研究	(100)
第一节 粘土矿物对储层参数的影响	(100)
第二节 水驱后地层微粒产状变化及其对储层参数的影响	(103)
第三节 流体性质的变化及流体对储层的改造	(104)
一、流体性质的变化对储层参数的影响	(104)
二、流体对储层的改造	(105)
第四节 储层参数变化机理	(106)
一、离子交换作用	(106)
二、水岩作用	(106)
三、水化作用	(106)
四、原油乳化作用	(106)
五、颗粒漂移作用	(106)
第五节 剩余油分布形成机理	(107)
第六节 油藏润湿性变化机理	(108)
第七节 水驱油效率及油水相对渗透率变化机理	(108)
第九章 储层岩石物理相与剩余油分布预测	(109)
第一节 储层岩石物理相	(109)
一、岩石物理相的基本原理	(109)
二、储层物理相表征	(110)

三、储层渗流场表征·····	(111)
四、储层岩石物理相表征及储层质量评价·····	(112)
第二节 剩余油分布规律研究·····	(115)
一、国内外研究现状·····	(115)
二、稠油“水淹层”研究·····	(116)
三、剩余油分布规律研究·····	(119)
四、实际应用效果分析及方法评价·····	(127)
五、剩余油分布模型·····	(129)
参考文献·····	(131)

第一章 总 论

油藏属性参数(包括储层物性、渗流特征、流体物性等参数)变化规律及其变化机理研究,其目的在于:通过实验室模拟及数值模拟,建立起反映当今油藏特征的层规模、孔隙规模场定量模式,揭示油藏参数在三维空间的变化规律及变化机理,预测剩余油气富集区,为油藏演化分析,优化开发模式奠定基础。

第一节 国内外目前研究进展及趋势

目前,国内外对油藏参数及其三维模型研究大致可归结为三个方面,即:(1)通过实验室模拟,阐述油藏参数变化机理。(2)通过地震、测井预测,为阐明油藏参数变化规律提供基础数据体。(3)通过随机模拟,阐明油藏参数在空间的变化规律;建立油藏参数三维模式,为油气、剩余油气预测奠定基础。另外,在开发中后期,利用岩石物理相技术对储层进行质量综合评价,是目前崭新的一种方法。正逐渐为人们所关注和采用。

一、储层实验室模拟与表征

储层实验室模拟及表征主要包括室内静态描述、动态模拟、水—岩相互作用分析三方面,目前,静态描述通常运用图像分析、电镜扫描、CT扫描等先进技术,确定储层属性参数,用以研究沉积成岩过程中,储层参数的变化。如 Beardt 和 Wely (1973) 在对表面润湿条件下未固结砂岩的结构对储层物性参数影响的研究,得出了在一定分选程度下的粒径变化,对孔隙度的影响是微乎其微的结论。

Wolf 和 Chilingarian (1976), Kharaka 和 Barry (1976), Schmidt 等人 (1977) 及国内许多学者,郑俊茂、朱国华、梅博文等 (1993) 研究认为,油藏演化(包括开发)过程中,影响储层物性的因素主要为压实、压溶、淋滤作用及有机酸的溶解作用。然而,由于成藏过程是一个极为复杂的物理、化学演化过程,如何准确地标定油藏参数的变化,尚处于探索阶段。

80 年代以来,为从机理上探讨油藏参数变化规律,进行流体—储层相互作用研究,成为令人瞩目的研究领域之一。近年来,一些学者利用化学反应—运移的耦合模拟讨论次生孔隙形成过程中的质量转移传递问题。Ortoleva 等人 (1992, 1995) 研制了化学反应—运移耦合模拟软件 CIRF, 在两维空间模拟由于岩石中反应流体渗入而导致的质量转移,孔隙度和渗透性的变化以及反应前锋的形成。Dudley 等人 (1992) 在模拟实验基础上,应用反应—运移耦合模拟软件 REACTRAN 研究了加拿大西部沉积盆地下白垩 Clear Water 地层重质油藏开发中,注入的蒸汽与储层岩石和流体之间的相互作用。他们通过模拟蒸汽注入开发过程中形成的矿物数量和空间分布,研究了注入蒸汽—储层岩石及流体之间的化学反应对储层性质和油气开发的影响。从而确定了蒸汽的注入方案及油气开采方案。

冯启宁等 (1995) 从实验出发,通过考察模拟水淹(水驱油)过程中岩石物性参数的变化规律,研究了水淹机理,得到了一些富有启发性的结论。实验表明,随着水淹程度的增

加,岩石的孔隙度、渗透率值增大,声波时差因孔隙度的增大而增大,电阻率的变化与岩石的含水饱和度有关,在高含水区域,水淹后地层电阻率将大大降低。同时,由于所考察的物性参数与水淹过程的变化呈非线性。表明了水淹过程是一个复杂的非线性过程。

此外,通过实验室模拟,特别是长期水冲刷实验,探讨流场屏障、流场差异对流体流动的影响及水驱前后油藏参数变化规律,逐渐成为开发地质家追逐的热点,也是中国东部油田急待解决的重要难题,国内大庆、胜利、南阳等油田均作过大量的室内实验。

二、通过地震、测井预测,阐明油藏参数在空间的变化规律

充分利用四维地震、测井信息进行预测,阐明油藏参数(主要包括储层孔、渗、饱、泥质含量、粒度中值,乃至孔隙结构参数)变化规律,是目前国内外用于该领域的主要手段,其基本点在于,无论一个油田开发到何种程度,通过取心井所获取的油藏参数所占百分比均非常小,若要真实地反映油藏参数在平面上、垂向上的变化规律,只有借助于地震、测井信息间接求取。

目前,确定储层物性参数的地球物理方法通常有:利用经验模型、多元统计分析、地质统计分析、神经网络模拟及预测等方法。实践证明,线性回归、多元线性回归,往往不能确定多变量中哪些变量对因变量起更重要的作用,主因子分析则是通过一系列线性变换,把数目较多的观测变量变换为少数几个主要的综合变量,即主因子。这几个较少的主因子既能尽多地反映原来因子的信息,它们之间又是彼此独立的,因此,不失为一种理想的统计方法。多元逐步回归分析是解决在建立回归方程时如何挑选重要变量(指标或因子),并确定其表达式的一种统计方法,利用这种方法,一方面,可以自动地从大量的可供选择的变量形式中,选择对建立回归方程起重要作用的变量;另一方面,由于各种变量间的关系错综复杂,如渗透率,它与泥质含量、粒度中值、孔隙度及孔隙结构等参数间均呈非线性形式变化。这样往往难以确定它的数学表达式,但由于同一变量以不同形式出现时可看成是不同的变量形式(如 x 、 x^2 、 $\lg^2 x$ 、 $\lg x$ 、 $\sqrt{x}$ 、 e^x 等均可作为新的变量),因此多元逐步回归分析方法,对重要变量选取在一定程度上包括了对变量表达式的选择,而这也正是多元逐步回归在确定储层参数测井解释模型中的优越性。

油藏含油饱和度是计算石油天然气储量、可采储量的重要参数。确定油藏含油饱和度通常有岩心直接测定法,相关统计法,测井解释求取法。

90年代之前,由于受到计算技术的影响,油藏参数的确定,主要局限于室内实验分析、模拟、多元统计分析等。90年代以来,伴随计算机技术的飞速发展,涌现出许多可调性更强的技术方法,利用神经网络模拟技术预测储层参数则是目前最令人耳目一新的方法。

三、随机模拟预测油藏参数变化规律

在储层参数分布研究中,传统的人工和计算机绘图方法(包括各种克里金方法)对参数都有一种光滑作用,且给出的模型都是单一的确定性模型。这种光滑作用对于变化幅度大的参数(如渗透率)是不合理的,另外,由于已知信息与完全了解地下地质情况所要求的信息量相比要少得多,因此对地下地质情况的认识不可能是完全确定的,存在着随机性,所谓随机模拟就是人工合成反映 $Z(u)$ 空间分布等概率模型的过程,近年来随机模拟发展很快。

自从Haldorsen和Lake在1984年第一次发表有关储层随机建模的论文以来,国外利用随机模拟技术来研究非均质性的工作有了很大进展,理论系统不断完善,应用范围不断扩

大,效果也越来越明显,斯坦福大学地球科学系,德克萨斯大学奥斯汀分校石油工程系,巴黎高等矿院地质统计学研究中心,挪威国家石油公司等单位在这方面的研究工作各有特色,影响也较大。

随机模拟、空间变异性分析和克里金估计方法是地质统计学的三大组成部分。储层随机模拟技术的出现和发展大大促进了地质统计学在石油勘探开发方面的应用。

随机模拟可以研究渗透率等物性参数的空间变化,合理计算有效渗透率。由于实际油藏中渗透率分布具非均质性,难以用确定的方式来描述,此时使用地质统计学中的随机建模工具来精细刻画渗透率空间分布具有重要的现实意义。

四、储层岩石物理相研究

油田开发后期,已拥有大量的测井、测试资料,储层研究由现象表征发展为机理预测、质量评价。

储层岩石物理相是张一伟、熊琦华等(1990)提出并正在迅速发展的一种储层质量评价理论和方法,它强调从储层形成机制的角度认识储层,评价储层。

岩石物理相(Petrophysical facies)是指具有一定岩石物理特性的储层成因单元,是沉积作用、成岩作用和后期构造作用的综合效应,它最终表现为现今的储层孔隙网络特征。针对开发后期高含水油田,储层岩石物理相应赋予新的含义。

开发后期高含水油田储层岩石物理相的定义应为:具有一定岩石物理特性的储层成因单元,是沉积作用、成岩作用和后期流体改造作用的综合效应,它最终表现为现今的储层孔隙网络特征。

岩石物理相作为一种新的储层质量评价技术,在油田开发后期,其研究内容应包括以下几个方面:

- (1) 确定控制储层质量的沉积、成岩、流动屏障、流体改造作用因素,划分小层沉积—岩石相、物理相、流动屏障及微观孔隙结构,建立关键井单井岩石物理相剖面。
- (2) 将沉积岩石微相、物理相、流动屏障、微观孔隙结构有机叠加,并将其延展到平面上。
- (3) 通过沉积、成岩、流体改造作用的综合作用结果与表现形式的系统分析,划分岩石物理相。
- (4) 进行以岩石物理相为基础的储层质量评价以及储层内部流体的流动性评价,为油田勘探开发提供地质依据。

具体流程可概括为:

- (1) 充分利用研究区实验室分析化验资料、多井评价成果和沉积微相、油藏渗流地质研究成果,进行岩石微相、物理相、流动屏障、微观孔隙结构的划分与展布。
- (2) 将岩石微相、物理相、流动屏障、微观孔隙结构有机叠加划分出不同的岩石物理相类型。
- (3) 进行储层质量评价。

此外,自90年代以来,伴随计算机特别是高速工作站的飞速发展,从三维空间定量表征油藏属性成为可能。

第二节 研究区油藏地质基本特征

考虑到研究的典型性和代表性,选择双河油田砂砾岩岩性油藏及克拉玛依油田九区稠油油藏作为研究对象。

一、双河油田油藏地质基本特征

双河油田位于泌阳凹陷西南部的双河镇鼻状构造带上,构造形态为一由西北向东南逐渐倾伏的鼻状构造,鼻状构造轴部走向东南西北向,构造轴向在南部为 290° ,向北逐渐转变为 320° ,西翼不对称,东北翼较缓,地层倾角为 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$;西南翼较陡,地层倾角 $4^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 。构造简单且较完整。在倾伏端断层发育。构造内发育了10条正断层,除9号断层为东北西南向外,其余均为东西向正断层。双河区、江河区各5条断层。

据沉积相研究表明,双河油田核桃园组核三段纵向上划分为105个沉积时间单元,平面上各单元砂体位于山口冲积扇下侧,岸上部分为扇三角洲平原相,水下部分为扇三角洲前缘相,并进一步细分为水下分流河道亚相带,前缘砂亚相带和边缘席状砂亚相带,前缘向外侧为前扇三角洲。即:扇三角洲平原相、扇三角洲前缘相(水下分流河道亚相带、前缘砂亚相带、边缘席状砂亚相带)、前扇三角洲相。

双河油田自进入注水开发以来,在“六五”、“七五”、“八五”期间钻取了不同数量的检查取心井。其具体情况为:“六五”期间共钻取资2、检1两口密闭取心,经过现场观察,室内化验分析判断其水淹状况为未淹层27.94m,占全部取心厚度45.14m的61.5%;弱水淹层5.19m,占总厚度的11.5%,强水淹层1.06m,占总厚度的2.35%。“七五”期间共钻检2、J210、S213三口油基钻井液取心,它们取心状况为:共取油层厚度53.29m,其中水淹厚度37.84m,水淹厚度比为71%。其中未淹厚度为15.45m,未淹厚度比为29%;弱淹厚度18.35m,弱淹厚度比为34.44%;中淹厚度15.41m,中淹厚度比为28.91%;强淹厚度4.08m,强淹厚度比7.66%。中—强淹厚度较“六五”期间不断增长,未—弱淹层厚度比逐渐减少。“八五”前三年在双河油田以不同取心方法共钻4口取心井,共取得油层厚度116.68m,水淹厚度110.71m,水淹厚度比94.92%,其中未淹层厚度5.92m,未淹厚度比5.08%;弱淹层厚度20.83m,弱淹厚度比17.86%;中淹层厚度57.55m,中淹厚度比为39.87%;强淹层厚度39.03m,强淹厚度比33.74%。可见未—弱淹层厚度比较“七五”期间有大幅度下降,中—强淹厚度比大幅度增加。由此看来,随着注水井网不断完善和注水量的不断增加,双河油田储油层的水淹厚度越来越大,水淹程度也越来越严重。

二、克拉玛依九区齐古组稠油油藏地质特征

克拉玛依九区齐古组稠油油藏位于克拉玛依市以东40km处,地表为戈壁砾石,地面海拔300m。区域构造上,该油藏位于准噶尔盆地西北缘克—乌大逆掩断裂带上盘中生界超覆尖灭带上。根据1995年储量核实的结果,该油藏含油面积 32.9km^2 ,地质储量 $9444\times 10^4\text{t}$ 。

九区齐古组稠油油藏自1984年投入注蒸汽热采开发以来,到目前已全部投入开发(除九7和九8区的部分超稠油除外)。共动用含油面积 19.5km^2 ,地质储量 $5306\times 10^4\text{t}$ 。截止1996年该油藏加密之前,累积钻各类井2162口,累积注汽 $2633\times 10^4\text{t}$,油气比0.33,采出程度16.4%,1996年以后,九1区—九5区已相继投入加密开发。

根据齐古组剖面上的岩性组合及沉积旋回特征,可在剖面上分为三个正韵律,自下而上,分为 G_3 、 G_2 、 G_1 三个砂层组, G_2 为主力油层,又可细分为 G_2^1 、 G_2^2 两个砂层,油层主要集中在 G_2^2 砂层。根据实际需要 G_2^2 又可细分为 G_2^{2-1} 、 G_2^{2-2} 、 G_2^{2-3} 三个单层。

沉积相研究表明:侏罗纪晚期,区域构造上的断裂基本定型;齐古组在九区由两条主要水系发育组合而成,物源来自西北的扎依尔山,沉积厚度 80~100m;该区齐古组属弱氧化环境条件下的盆地边缘斜坡带上的辫状河流相沉积,可细分为主河道、次河道、漫流沉积带三种微相。主河道是水流相对稳定、洪积事件发生较少的沉积,其心滩厚度大,延伸长,砂岩、砾岩占剖面厚度的 98% 以上,宏观上由下向上为由粗变细的正韵律,是有利储油相带。次河道是不稳定强水流沉积,次洪积事件多次发生、河道改道较快,其心滩厚度薄,延伸短,砂体厚度较小,粒度较主河道细,砂岩、砾岩占剖面厚度的 80% 左右。漫滩沉积带是洪水溢出河道,产生的漫流物质,充填在废弃河道、河间洼地以及心滩砂体的顶部,沉积物较其他相带变细,以泥质岩为主。

九区齐古组稠油油藏主要含油岩性为中—细砂岩、砂砾岩和含砾不等粒砂岩,油层厚度 5~25m,油层系数 0.57,润湿性属弱—中亲水,油层有效孔隙度 26%~31.7%,水平渗透率 $0.88\sim 3.0\mu\text{m}^2$,含油饱和度 58%~75%,属大容量高渗透储集层。该区油层非均质性严重,平面上渗透率级差为 3.2~5.6 倍,剖面上为 11.8~14.7 倍,变异系数 0.56~1.32,突进系数 4.5~26.1。透镜体是组成辫状河砂体的成因单元,在单井剖面上一般为底粗上细的正旋回,但也有一些无明显变化,而仅有泥质含量变化的单一岩性组成的透镜体。透镜体底部多为砂砾岩、小砾岩、含泥砾砂岩,分选差—很差,颗粒次棱角状。在主河道平均厚 2m,最大厚 7.0m,次河道平均厚 2m,最大厚 3.4m。透镜体中部为中细砂岩,成为透镜体的主体,平均厚度 4.9m,最大厚 13.7m。透镜体顶部,由于冲刷强烈,极少见泥岩层,多为泥质砂岩、粉砂岩。

九区储层岩石碎屑含量为 60%~95%,成分主要为变质泥岩块、石英、长石。岩石颗粒细—中粒,分选中—好,中等磨圆。杂基成分以高岭石为主,其次为伊利石、绿泥石、伊/蒙混层及部分独立存在的蒙脱石。泥质胶结为主,钙质胶结次之,胶结程度疏松—中等,胶结类型多属孔隙—接触式。

孔隙类型有五种:(1)粒间孔;(2)粒间溶孔;(3)粒内溶孔;(4)胶结物溶孔;(5)微裂缝。主要类型为粒间孔(1)。

有四种孔隙组合关系:(1)粒间孔—粒间溶孔—粒内溶孔—胶结物溶孔;(2)粒间溶孔—粒间孔—粒内溶孔;(3)粒间孔—胶结物溶孔;(4)微裂缝—粒内溶孔—胶结物溶孔。(1)、(2)主要分布在油层,而(3)、(4)主要分布在非油层。

根据九区压汞样品曲线,可将该区齐古组毛管压力曲线划分为四种类型。Ⅰ类:分选较好的粗歪度类型。Ⅱ类:分选中等的粗歪度类型。Ⅲ类:分选中等的偏细歪度类型。Ⅳ类:分选差的细歪度类型。Ⅰ类、Ⅱ类为好储层,Ⅲ类为一般储层,Ⅳ类为非储层。

在常规注水开发中,多相渗流特征取决于油层的孔隙结构、润湿性、流体性质等因素,但在高温下(向油层注入热水和蒸汽时),由于岩石、流体性质的变化,其渗透特征发生了很大的变化。

九区齐古组原油属偏环烷中间原油,具“三高四低”的特点,即凝固点低($-23\sim -12^\circ\text{C}$)含蜡量低,含硫量低,沥青质低,胶质含量高,酸质高,粘度高。原油粘温反应敏感。原油粘度由南西北东增大,按粘度大小分为普通稠油(粘度小于 $20000\text{mPa}\cdot\text{s}$)、特稠

油(粘度 $20000\sim 50000\text{mPa}\cdot\text{s}$)、超稠油(粘度大于 $50000\text{mPa}\cdot\text{s}$)。平均地面原油密度 $0.93\text{g}/\text{cm}^3$,平均地面脱气原油粘度 $8000\text{mPa}\cdot\text{s}$,原始溶解气油比 $5.61\text{m}^3/\text{t}$,原油体积系数 1.027 ;地层水型 NaHCO_3 型,矿化度 $2974\sim 140620\text{mg}/\text{l}$,平均 $5582\text{mg}/\text{l}$;原始地层压力 2.58MPa ,压力系数 1.03 ,地层温度 19°C 。

第三节 采取的关键技术及研究流程

目前,双河油田及克拉玛依油田九区钻井密度大,取心井、密闭取心井多,老一老、新一老、新一新对子井多,并取得了大量的生产测试、动态监测、实验室分析化验等资料,为该方面研究的顺利实施,准备了完备的第一手资料。然而,如何将有限的井点资料延展到三维空间,从机理上揭示油田开发后期,储层物性参数(主要是孔、渗)、孔隙结构参数、剩余油饱和度在三维空间的变化特征、展布规律成为研究的热点与难点。为此,我们选择双河油田核三段IV油组 IV_1 、 IV_2 、 IV_3 、 IV_4 小层、V油组(14、15、18、21四个主力小层)、克拉玛依油田九区齐古组作为本书的主要目的层。以储层岩石物理相及油藏渗流地质学的新观点、新思路为指导,采用储层实验室模拟及预测技术(包括长短岩心长期水冲刷室内模拟技术、密闭取心井分析技术、微观透明模型水驱油模拟技术)、关键井研究及多井评价技术、多元统计分析技术、神经网络模拟及预测技术、井间分形预测技术、随机模拟技术、三维建模技术,对开发后期长期水驱、汽驱油藏参数变化规律及变化机理进行研究与预测。

一、储层实验室模拟及表征技术

储层实验室模拟及表征主要包括室内静态描述、动态模拟、水-岩相互作用分析三方面,目前,静态描述通常运用图像分析、电镜扫描、CT扫描等先进技术,确定储层属性参数,用以研究沉积成岩过程中乃至开发过程中的储层参数的变化。本文采用的技术包括:长短岩心长期水冲刷室内模拟技术、密闭取心井分析技术、含油薄片分析技术、微观透明模型分析技术。

二、神经网络模拟及预测技术

人工神经网络因其分布式的知识表示和较完善的自适应性与学习功能引起测井解释分析家的瞩目。它通过从例子中学习来获取知识;通过分布式的知识表示与存储可以表达实际观测数据空间中存在的任意复杂性,同时又避免了知识库建立、维护及更新方面的一系列难题;通过比较完备的动力学模型系统表达实际地层中的复杂动力学特性,显示出强大的优势。

通过一个多世纪的众多科学家对生物的生命、意识及各种智能活动机理的探索,基本认识了人脑神经系统的基本结构和作用机制。人的大脑大约包含有上 1000×10^8 个神经细胞(或称神经元),它们依靠神经键,以一种复杂的方式连接在一起,构成神经网络。

人工神经网络是基于目前人们对生物神经系统的理解和认识,将人的大脑功能加以模型化的一种计算机信息处理系统,或者说是由一系列简单的、高度互连的处理单元组成协同计算系统。对于外加的输入,神经网络是以并行的、非确定性的方式作出响应。一个处理单元,即一个神经元,一般仅是对其所有输入进行加权求和,所有的计算结果是神经网络到达某种平衡条件时总体状态。

神经网络的实现基本上分两步，首先是网络设计，根据具体任务要求，确定网络结构模型和构造训练集；然后是网络学习，网络通过学习样本修改权重，使网络输出逼近期望输出，最终使网络能量最小，即告网络训练成功，然后可以用来处理多井数据。

目前在应用研究中采用的有几十种不同类型的神经网络，其中较有应用潜力的主要类型见表 1—1。

表 1—1 石油工程中常用的神经网络类型

网络类型	主要应用	优点	不足
BAM	异联想存储	学习规则及网络结构的动力学原理简单	存储能力、检索精度较差
MADLINE	自适应信号滤波	速度快，易实现，可用模拟电路 VLSI 电路实现	假定输入输出为线性关系，特征空间为线性可分
ART	模式识别	在保持学习过的类的同时，可学习新的类，形成新的模式	新的学习会影响旧的分类精度
BP	模式识别，信号滤波，信息、图像分割与分类，数据压缩，映射	速度快，擅于形成输入数据中特征的内部表示、分类等，研究充分，应用很成功	自学习时间长
Time-Delay	语言识别	运算速度快	窗长固定，对输入信号尺度上的差异不敏感
SOM	复杂的映射、数据压缩、优化	能自组织数据的矢量表示	训练速度慢，如何选择所用矢量数和训练时间长度有困难
Hopfield	自联想回忆，优化计算	概念简单，具动力学稳定性，易于用 VLSI 电路实现	不能学习新的状态，存储能力差
PCALR	主成分回归分析	灵活，速度快，训练时间短，容易实现	假定输入输出为线性关系

结构已经确定下来的神经网络要实现其预定功能，则由学习规则（算法）通过修改神经元之间的连接权重以使网络实际输出逼近期望输出来自动确定，即通过网络训练自动实现的。因此，一个神经网络性能的好坏，不仅取决于它的结构，而且还取决于网络训练的学习算法和训练集。

人工神经网络模拟了生物神经元系统之间的激励过程，它的基本构成单位是节点，又称神经元。神经网络是由许多计算简单的节点连接而成，每个节点可以有很多输入途径，把对所有的输入信号进行线性加权组合作为节点的输入，然后，依据传递函数和阈值进行映射，输出结果作为下一层节点的输入信号。

神经网络模型通常由输入层、输出层和连接两者之间的隐层组成，其中隐层的数目可以多于一层。同一层之间的节点可以不连接，相邻两层的节点两两连接起来，隐层的节点数可以任意规定，考虑到算法的稳定性，容错能力以及有效率，隐层的层数和每一隐层的节点数选择要合适，不能过多或过少，输出层节点数要等于期望输出的个数，输入层节点数要等于输入样本各分量的个数。