

中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司
江汉石油科技系列丛书

江汉油田开发论文集

李渝生 杜修宜 康新荣 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了江汉油田分公司油田开发科技人员近几年完成的部分论文。全书分四个部分,共44篇。这些论文围绕江汉盐湖盆地中小油田、山东八面河油田、陕北安塞油田坪桥北区等不同类型油藏的开发进行了论述,是科技人员对这些复杂小油田地质认识和开发实践的总结。这些成果为近几年江汉油田分公司增储上产提供了有力的技术支撑。

本书主要反映了内陆盐湖砂岩油田的开发特点和工艺技术,可供从事油田开发的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

江汉油田开发论文集/李渝生等主编.

北京:石油工业出版社,2003.9

ISBN 7-5021-4332-7

I. 江…

II. 李…

III. 油田开发-湖北省-文集

IV. TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061458 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)

北京乘设伟业科技排版中心排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

889×1194 毫米 16 开本 15 印张 452 千字 印 1—1000

2003 年 9 月北京第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4332-7/TE·3034

定价: 28.00 元

目 录

油 田 地 质

坪桥北区储层地质模型研究·····	陈新民 姚凤英 龙玉梅 张连元 李少华 张尚峰(3)
油藏综合研究技术在滚动勘探开发中的应用·····	孙 莉 邓江洪 李云海(9)
钟市复杂断块油藏提高水驱采收率配套技术 ·····	汤春云 武加鹤 许发年 姚凤英 代士郁(14)
水淹层测井解释方法研究 ·····	冯 琼 王红艳 彭美霞(19)
确定剩余油饱和度的江汉中子寿命测井技术 ·····	马金文 石元会 况碧波(24)
小区块油藏的测井评价 ·····	范松之 韦林波 陈 敏 张少军(29)
储层预测在广北油田滚动勘探中的应用 ·····	胡 辉 向树安(34)
孔隙结构研究在江陵凹陷油层判别及产能预测中的应用 ·····	彭美霞 谭春兰 汪绍卫(38)
八面河油田北区、广北区沉积微相的展布与演化·····	贺其川 杨林海 石化飏 李栋明(43)
坪桥北区特低渗透油藏储层评价 ·····	张连元 彭裕林(50)
新沟嘴组地层钻井完井液伤害的研究 ·····	庞宏伟 刘 翔 刘万琴 甘奕梅(57)
坪北油藏储层伤害评价及伤害机理研究 ·····	张书平 冯 新 刘万琴 冯 莉 曾 勇(62)

油 气 田 开 发

确定油藏驱动类型和注水方式的研究 ·····	杨寿山(69)
王场油田高效开发历程回顾与总结 ·····	杜修宜(74)
油田开发后期降压开采的研究与实践 ·····	周贤文 谭 莉(79)
王广区低渗透油藏开发技术对策研究 ·····	索绪昌 彭 军 刘训波 谭春兰(86)
非线性渗流数值模拟软件研制和推广应用 ·····	高纯福 何建华 杨文新(91)
不同渗流介质内原油流变性的实验研究 ·····	杨文新(96)
高压注水在低渗透油藏开发中的应用 ·····	彭义成 李新文 李可新 陈 彪(99)
江汉低渗透储层裂缝分布与注水关系的研究·····	李新文 夏志刚 彭义成 王庆胜 周正梅(103)
开发数据库系统及其应用·····	聂光华 吴晓娟(106)
境外上市储量动态评估法与国内剩余经济可采储量计算方法的对比 ·····	姚小明 陈艳梅 叶文波 邱立爱 聂 慧(110)
小油田开发调整井目标经济日产能力的简单估算法·····	陈艳梅 姚小明 邱立爱 聂 慧 程 玲(116)
水气交替方式氮气非混相驱试验研究·····	刘尧文 何建华 付春华(119)
八面河油田聚合物驱研究及应用·····	李睿姍 何建华(124)
建南气田地质特征及开采动态分析·····	王 智 许发年 曹苏文 李茂昭(130)

油 田 开 采 工 艺

江汉油田采油工艺技术现状及发展方向·····	张诚东 湛精华 黄仲尧(139)
江汉油田油、水井剖面测试新技术 ·····	李仁忠 伍朝东 赵忠健(145)
王场中区南部调剖堵水技术·····	吴笃俊 李洪珍(153)
利用硼示踪剂测试技术 挖掘老区剩余油潜力·····	仲艳华 况碧波(159)

江汉油田分层注水工艺管柱研究·····	肖国华(164)
江汉油田注采系统结垢过程与分布特征·····	侯卫红(170)
马王庙油田注水开发工艺技术研究·····	陈绍林 邓卫东(174)
江汉油田取换套管工艺研究与应用·····	李 军 程安新 汪德彰(179)
小套管技术在坪北的应用·····	孙 健 何志祥(183)
坪北特低渗透地层压裂整体改造技术研究·····	龚起雨 张国强 冷兴江(186)
坪北地面建设工艺技术·····	邹 皓(193)
江汉拖市低渗透油田压裂工艺及机理研究·····	张旭东 邱樟法 郑成华(198)
江汉油田深抽配套工艺技术研究·····	谢义华(204)
污泥调剖工艺技术研究与应用·····	肖 文 肖中华 邓卫东(207)
广北油田改善储层敏感性的实践与效果·····	庄庆武(211)

特殊油藏

江汉盆地盐间特殊油藏地质特征及开采方式·····	徐玉珍 漆智先(219)
油盐兼探及黄场盐矿开采研究·····	漆智先 朱 慧 徐玉珍(226)
王场油田北区盐间非砂岩油藏试采特征·····	张建荣 周正梅(231)

油田地质

坪桥北区储层地质模型研究^①

陈新民 姚凤英 龙玉梅 张连元 李少华 张尚峰

(江汉油田分公司勘探开发研究院)

(江汉石油学院)

摘要 根据坪桥北区长6、长4+5油组油藏构造简单、低孔特低渗的特点,利用钻井、测井、岩心分析及油田动态等资料,在沉积相、高分辨率层序地层和储层特征等基础地质研究的基础上,采用克里金方法建立构造模型;采用顺序指示模拟以微相为单元建立储层骨架模型;在相控的基础上,采用顺序高斯模拟建立储层参数模型。建模软件系统包括GridStatPro和GSLIB。GridStatPro软件用于数据质量检查、模拟结果显示,GSLIB提供算法。

1 油田地质特征

安塞油田坪桥北区位于陕西省安塞、子长两县境内,区域上属于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中部的坪桥鼻褶带。三叠系延长组坪桥地区为一近于南北走向的西倾单斜,在西倾单斜背景上发育低缓不对称鼻状隆起,无断层,地层倾角平均 0.7° 。

延长组长6、长4+5油组是本区的主要产油层段,长6油组细分为长 6_3 、长 6_2 和长 6_1 三个小层,长4+5油组分为长 $4+5_1$ 和长 $4+5_2$ 两个小层。油层主要分布在长 6_2 、长 6_1 和长 $4+5_2$ 三个小层。长 $4+5_1$ 以泥岩为主,未见含油显示。

长6、长4+5油组沉积时期坪桥地区位于安塞三角洲前缘水下分流河道—河口沙坝微相过渡区域。储集砂体主要分布在水下分流河道、水下天然堤、水下决口扇及河口沙坝微相中。在三角洲发育过程中水下分流河道向前推进的同时,也发生强烈的横向迁移,从而造成水下分流河道汇聚分流,后期水下分流河道冲刷截切前期水下分流河道或水下天然堤,或切入分流河道间洼地内,甚至可以切入到湖湾或前三角洲之中。因此,水下分流河道或河口沙坝砂体呈垂向上叠置、侧向多为不连续的透镜状,造成储层与致密隔层平面上呈相间带状或网状展布的格局。此外,在水下分流河道或河口沙坝等砂体中普遍发育有薄层状泥质岩和泥质粉砂岩夹层,以及由方解石、浊沸石、

粘土和长英质等次生矿物强烈充填、次生加大形成的致密隔层。因此,即使在同一砂体中,储层的孔、渗性纵横向变化也很大,储层非均质性明显。

长 6_2 ~长 $4+5_2$ 储层以细粒长石砂岩为主,分选中等,成分成熟度较低,结构成熟度较高;低孔(岩心分析孔隙度 $9.6\%\sim 11.7\%$),特低渗(渗透率 $1.0\times 10^{-3}\sim 2.5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)。

2 储层地质模型的建立

根据坪桥北区油田地质特征,我们的主要目的是要建立能够定量反映储集砂体大小、几何形态及其三维空间分布和储层参数(孔隙度、渗透率和含油饱和度)在三维空间的变化、分布的储层属性模型。在建立储层属性模型之前,首先要建立构造模型,构造模型反映储层整体的空间形态,是建立其他模型的基础。

2.1 建模方法

研究工区构造简单,地层起伏相对较小,无断层,构造模型适合采用地质统计学克里金估值方法建立。

由于工区范围内储集砂体分布在几种微相中,不同微相的储层参数及其分布有很大差别,因此我们在建储层属性模型时考虑微相因素,采用“两步建模”方法:首先建立骨架(微相)模型,然后根据不同微相储层参数分布特点,采用随机模拟方式建立储

^① 本项目技术负责为彭裕林、孙健和张昌民,参加项目研究的还有何俊玲、王秀萍、杨斌、彭美霞、唐树一、蔡习尧、冯琼和梁新平。

层参数分布模型。其中沉积微相类型属于离散变量,建骨架(微相)模型使用顺序指示模拟;储层物性参数属于连续性变量,建储层参数分布模型使用顺

序高斯模拟。

2.2 建模思路及流程

建模流程如图 1 所示。

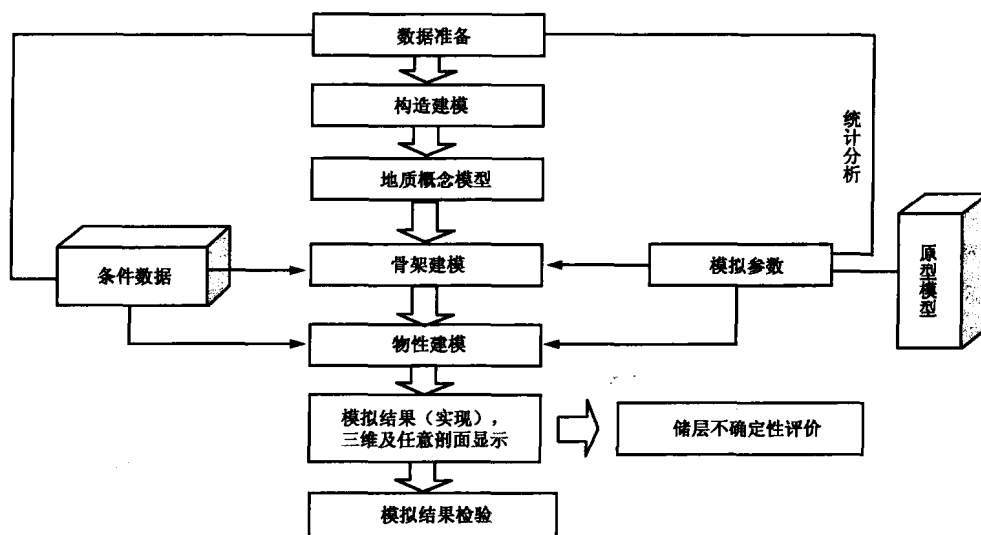


图 1 建模流程图

2.3 建模主要步骤

2.3.1 数据准备

将地震、钻井(岩心)、测井、测试和开发动态等方面的数据以及为模拟计算准备的反映变量特征的各种参数集中管理,建立储层地质知识库。数据库是储层建模的基础,所建模型的精度依赖于数据的丰富程度及其准确性。

构造建模需要的数据是各井位点目的层位的分层数据。顺序指示模拟的输入参数主要为各变量所占的比例、各变量的指示变差函数模型及指示代码、条件数据、网格的划分等。顺序高斯模拟的输入参数主要包括:变量统计参数(均值、标准偏差、极值)、变差函数参数(变程、拱高、块金值、方位角等)、网格的划分、条件数据等。

因此,输入数据主要包括两类:一类为条件限制参数(原始数据);一类为统计特征参数。

2.3.1.1 基础地质(条件)数据

根据工区实际情况,建模所需条件数据包括:坐标数据(井位坐标、地震测网坐标等)、分层数据、井斜数据、岩心分析物性数据、测井解释数据和单井微相划分数据。

按建模软件数据格式要求,将条件数据分别编为三个文件:井斜数据文件、层位标注文件和微相、

物性(孔隙度、渗透率、含油饱和度)文件。

2.3.1.2 地层坐标转换

储层形成以后,由于受到构造、压实、剥蚀等一系列地质作用,使得储层变得厚薄不均。而储层特征的分布及其连续性和有利方向是沿地层坐标的,并不是笛卡尔坐标。同一地层的厚度在横向上有变化,但它代表的时间间隔是一样的。因此,在进行模拟之前,要进行坐标转换。模拟前把地层厚度转换成时间间隔,模拟时垂向上按时间间隔划分网格,模拟后再转换成地层厚度。

2.3.1.3 统计特征参数

(1)微相所占比例:

统计不同微相地层的体积百分比。

(2)微相的变差函数:

根据沉积微相及高分辨率层序地层学的研究,工区目的层属于三角洲前缘沉积,微相类型有 6 种:水下分流河道,决口扇,河口沙坝,河道间,湖湾,溢岸(天然堤)。根据它们各自的特点,合并为 3 类:河道间+湖湾+溢岸,代码为 1;水下分流河道,代码为 2;决口扇+河口沙坝,代码为 3。因此分别计算三种微相在平面和垂向的变差函数,并对其进行拟合,得到各个方向的拟合参数。然后确定主方位角、主方向变程、次方向(与主方向垂直且在同一平面)

变程、垂直方向变程。在计算出 6 个水平方向和垂直方向的变差函数后,还需要对其进行理论模型的拟合,通常选择球状模型进行拟合。

(3) 孔、渗、饱统计特征值:

微相 1 为河道间+湖湾+溢岸,以泥岩为主,构成隔挡层,在模拟物性时对属于这类微相的孔隙度、渗透率、含油饱和度直接赋一个缺省值,例如赋值分别为 4、0.1 与 0.1。

根据已知井的孔隙度、渗透率、含油饱和度数据及微相划分数据,统计微相 2、微相 3 的孔、渗、饱的分布特征,分两种微相计算各个方向的变差函数值,并采用球状模型进行拟合。

在得到拟合参数后,可以通过作变程方位图,确定变量在各个方向的变异程度。

2.3.2 构造建模

研究工区无断层,因此构造模型就简化成了反映地层界面三维分布的层面模型。

按照三个层位(长 6_2 、长 6_1 和长 $4+5_2$)分别建模。长 $4+5_2$ 建模工区大小:9170m(东方向)×10080m(北方向),旋回厚度范围为 11.99~47.04 m,平均厚度为 31.07m;网格划分:132(东方向)×145(北方向)。长 6_1 与长 $4+5_2$ 相同。长 6_2 建模工区大小:9170m(东方向)×10150m(北方向),网格划分:132(东方向)×146(北方向)。

考虑到工区构造简单、地层起伏相对较小,模型的建立主要根据完钻井的分层数据(相应的测深、垂深及坐标)。在井点分布不均匀、无井点控制位置,结合地震解释的构造数据适当增加控制点,通过普通克里金方法插值得到构造模型三维数据体。

2.3.3 储层属性建模

属性模型网格划分与构造模型的网格划分是一致的,垂直方向分别是:长 $4+5_2$, 94 个时间单元;长 6_1 , 129 个时间单元;长 6_2 , 121 个时间单元,网格大小均为 70m×70m×1 时间单元。

按照 GSLIB 所要求的数据格式把条件数据和统计特征参数组织在一起,分三个小层进行模拟计算,得到储层骨架(微相)模型、物性(孔隙度、渗透率和含油饱和度)模型三维数据体。每次计算时仅仅改变随机路径,其他参数均不改变,这样就可得到若干组实现(一次计算得到一组实现)。对每一个小

层,我们用顺序指示模拟方法计算了 10 个微相的实现,然后利用微相控制物性变化的边界,用顺序高斯模拟方法分别计算了孔隙度、渗透率、含油饱和度各 4 个实现。

2.3.4 模型显示

通过 GridStatPro 软件的显示模块和其他绘图系统调用构造模型和储层属性模型三维数据体,可得到指定层位任意方位的构造、微相、孔隙度、渗透率和含油饱和度的三维模型及切片图、砂体等厚图和物性的等值线图。

2.3.5 模拟结果检验

随机建模可以产生大量等概率的实现,模拟结果是否合理、是否符合地质实际,最好的判别方法是直接利用新钻井的真实资料与模拟结果相比较,误差越小说明模拟结果越合理,预测精度越高。

2.3.5.1 砂体(微相)预测精度检验

以长 $4+5_2$ 为例进行说明。首先,在研究区比较均匀地选择了 7 口新井(P27-10、P30-106、P40-80、P50-94、P50-106、P59-86、P69-87)。根据这 7 口井的坐标,在 10 个微相实现中把对应的模拟结果提取出来,以剖面图的形式来表示,共有 10 个剖面图,见图 2。每个图都是不同的实现过 P27-101 井的相同位置的剖面图,图中间偏右的实线表示井径。

从图 2 可以直观地看出,模拟的结果是不一样的,但是它们之间的差别比较小。与真实的沉积微相分布(测井解释的结果)相比,差别很小。测井解释 P27-101 井在旋回的顶部有一层泥岩,中间有一层较厚的河道砂体,底部为一层河口沙坝、决口扇类型的砂体,这些在 10 个实现中均得到了体现。在解释的结果中靠近底部有一层泥岩,在 9 个实现中表现出有这一层泥岩,仅有实现 2 没有出现这一泥岩层。从概率的角度来讲,在靠近底部存在一泥岩层的可能性大约为 90%。这种比较可以直观地反映微相预测的准确性,定性评价预测结果。

以各微相占地层厚度的百分比(微相比值)为指标,可以对微相预测结果作定量评价。三个层位 10 个实现的模拟值与上述 7 口新井的测井分析值(真实值)比较,各微相比值平均值误差的平均值计算结果见表 1。

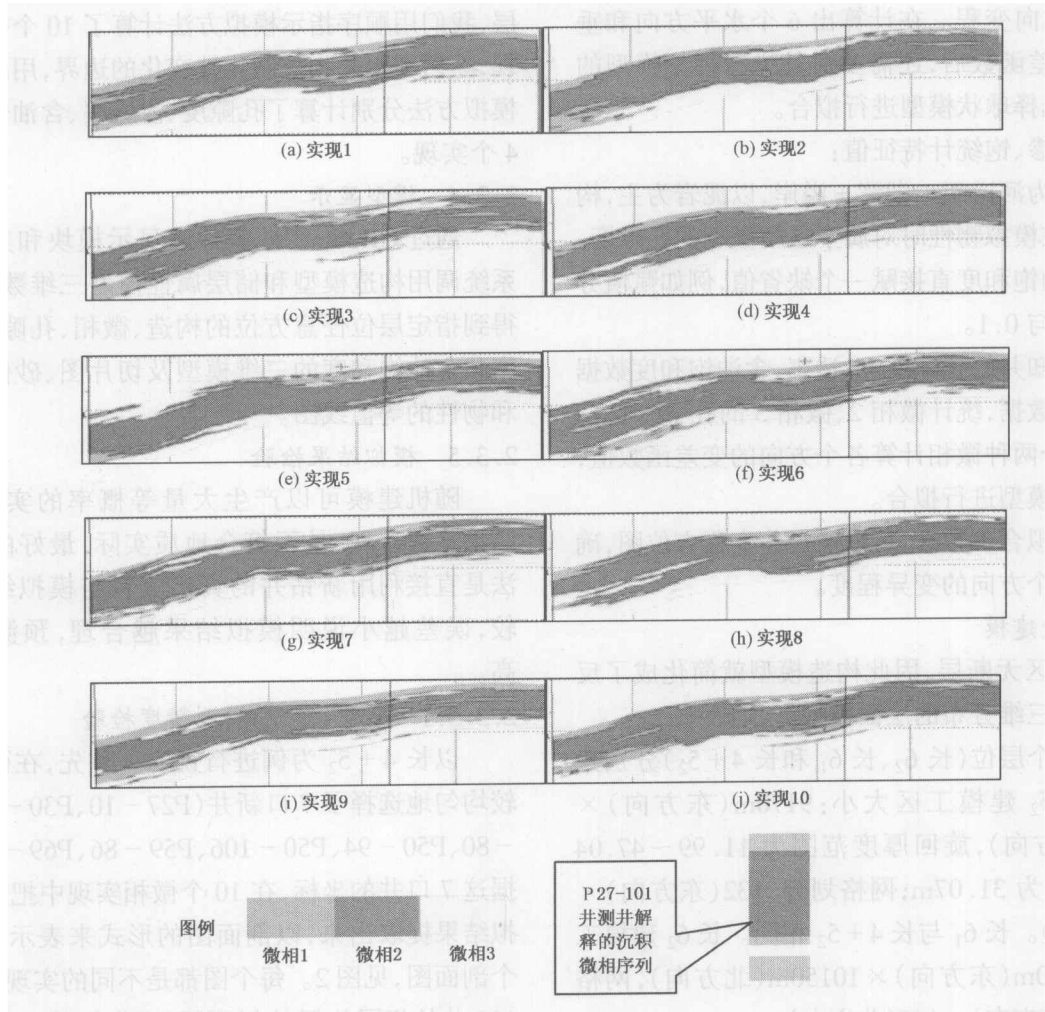


图2 过P27-101井的10个实现剖面图

表1 微相比值误差平均值数据表

层位	微相1,%	微相2,%	微相3,%	最小值,%
长4+5 ₂	14.1	17.3	18.7	13.2
长6 ₁	8.5	6.0	18.8	12.5
长6 ₂	10.3	15.8	18.6	16.7

如长4+5₂的10个实现,微相1(泥岩为主的非渗透储层)所占比例平均值误差的平均为14.1%,微相2的为17.3%,微相3的为18.7%。10个实现误差大小不同,其分布反映了真实情况的可能分布。在10个实现中,7口井误差平均值最小的为13.2%。

2.3.5.2 物性预测精度检验

从物性模型三维数据体中提出前述7口井的孔隙度、渗透率、含油饱和度,分别计算平均值及其与真实值的相对误差,结果见表2,它们的方差与实际值相比差别也较小。

表2 物性误差平均值数据表

层位	孔隙度,%		渗透率, $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$		含油饱和度,%	
	平均	最小	平均	最小	平均	最小
长4+5 ₂	5.2	4.1	17.2	14.9	11.5	9.9
长6 ₁	5.1	4.4	22.5	17.1	11.7	12.5
长6 ₂	6.3	5.8	22.5	19.7	17.1	15.5

总的来看,在微相控制下建立的储层物性三维模型具有较高的预测精度。

3 建模方法及效果评价

3.1 储层参数建模传统方法

传统建模方法简单地说,就是“一步建模”,也就是根据井点储层参数通过井间插值建立储层参数三维数据体,插值的约束条件仅仅只是井点数据,不考虑井间岩性、岩相的变化,储层参数具有相同的统计

分布特征。因此,传统建模方法(一步建模)主要适合于微相构成单一、呈千层饼状分布的储层。

3.2 相控储层参数建模

一步建模的突出优点是简便、快捷,最大缺点就是忽视了井间岩性、岩相的变化,简化了建模约束条件。

对于实际储层尤其是在陆相环境下形成的储层,都不是单一微相,储层结构复杂,不同相(微相)的储层参数分布存在不同程度的差别。要提高储层参数模型精度,必须考虑井间相变,首先建立沉积(微)相或储层结构模型,再在(微)相或储层结构的约束下分单元进行井间插值或者随机模拟,建立储层参数分布模型。因此,实际建模过程分为两步:骨架建模和储层参数建模,也就是“相控建模”或“两步

建模”。

3.3 模型比较

首先,模拟物性时直接利用解释的物性参数曲线,用 GridStatPro 软件建立了 10 个实现(一步建模)。再在微相模型的控制下,分别统计不同微相的物性参数特征,用 GSLIB 中的算法建立了 4 个实现。与前面相同,也采用同样的 7 口新井进行检验。以长 4 + S_2 过 P27-101 井的孔隙度剖面为例进行说明。图 3 是以一步建模法用 GridStatPro 软件建立的 10 个孔隙度剖面,图 4(a)为相同剖面的微相剖面图,图 4(b)、(c)、(d)、(e)为在图 4(a)的控制下用 GSLIB 中的顺序高斯方法模拟的 4 个孔隙度剖面。

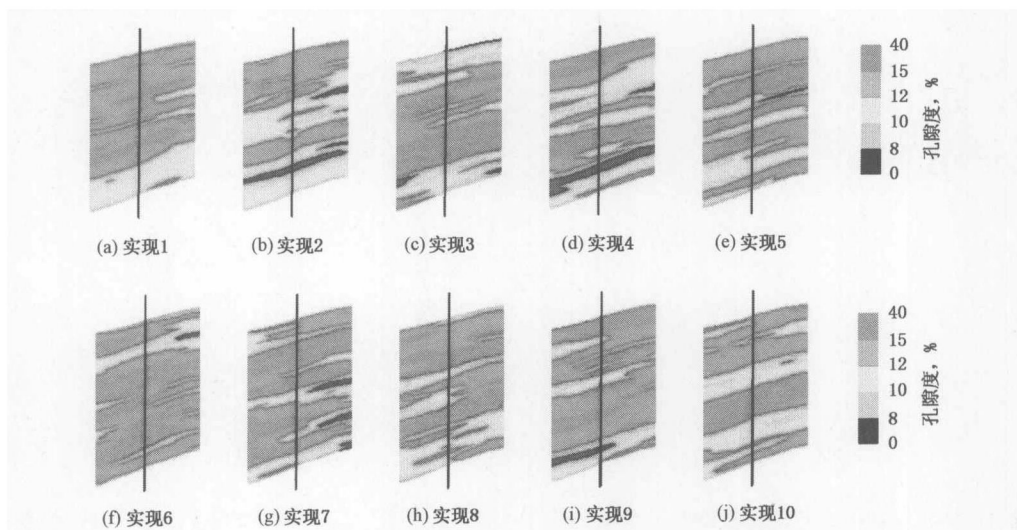


图 3 过 P27-101 井孔隙度的 10 个实现剖面图(一步法)

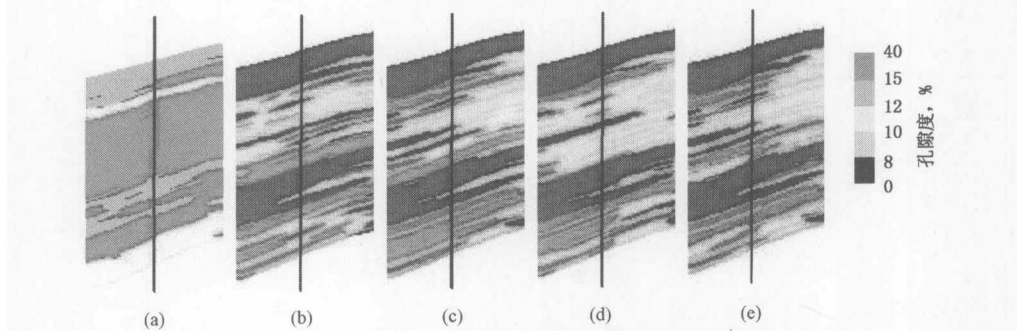


图 4 过 P27-101 井孔隙度的 4 个实现剖面图(两步法)

从图 3 中我们可以看出,用一步法建立的实现之间差别较大,只是较好地再现了孔隙度的变化程度,不能很好地预测孔隙度高低值的位置。从图 4 我们可以看出,虽然不同的实现之间也有差别,但是它不仅较好地再现了孔隙度变化的强烈程度,而且

也较好地预测了孔隙度高值、低值的分布位置。结合图 3 与图 4 可以看出,首先通过微相的模拟确定主要的非均质性,然后在主要的非均质性控制下模拟次一层次的非均质性,这样模拟的孔隙度剖面更合理一些。

参 考 文 献

- 1 Deutsch C V, Journel A G. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. New York: Oxford University Press, 1992
- 2 侯景儒,黄竞先. 地质统计学的理论和方法. 北京:地质出版社,1990
- 3 李少华,张昌民等. 顺序指示模拟方法及其在濮城油田储层非均质性研究中的应用. 江汉石油学院学报,1999,21(1):13~17
- 4 裘怿楠. 储层地质模型. 石油学报,1991,12(4): 55~62
- 5 尹太举,张昌民等. 双河油田井下地质知识库的建立. 石油勘探与开发,1997,24(6):95~98
- 6 吴胜和,进振奎等. 储层建模. 北京:石油工业出版社,1999

油藏综合研究技术在滚动勘探开发中的应用

孙 莉 邓江洪 李云海

(江汉油田分公司勘探开发研究院)

摘要 针对江汉油区油藏类型多、规模小、隐蔽性强的特点,通过多学科、多专业攻关,形成以 IES/IESX 交互解释、相控储层预测、地震储层横向预测、储层三维地质建模及油藏动态分析等为核心的油藏综合研究技术。对江汉油区不同类型的油藏进行滚动勘探开发,取得了良好的地质效果及社会效益和经济效益。

江汉油区是一个高成熟勘探区,滚动勘探开发面临的大多为构造复杂、含油层系受构造和岩性双重控制的隐蔽性油气藏。通过新资料、新技术、新方法的运用和实践,摸索了一套较完善的油藏综合研究技术。对于复杂断块油藏,充分利用三维地震资料,采用 IES/IESX 人机联作交互解释技术,加强对小断层、小圈闭的精细解释;对于岩性油藏,在构造研究基础上,采用相控法、地震储层预测、储层建模等预测技术,定性、定量研究储层及储层参数空间展布,对部分已开发的老油田进行地质再认识,同时结合油田开发动态研究,选择有利地区开展滚动勘探开发,挖掘油藏潜力。江汉油区近两年的滚动勘探开发,取得了明显的经济效益和社会效益,实现了储量、产量协调发展。

1 复杂断块的构造精细分析

随着地震技术的不断发展,在开发阶段,利用人机联作交互解释技术对三维地震资料进行精细解释,是落实油藏圈闭形态、断层位置、油藏含油气范围的重要手段,能够指导开发井的调整部署,提高钻井成功率。

花园油田构造处于江陵凹陷荆州背斜带花园—李埠断裂带上,断层发育,为断鼻构造油藏。花园油田油层主要集中在新下段 I、II 油组,含油主力砂岩体沉积环境处于三角洲平原亚相。通过沉积微相研究,进一步划分为分流河道、分流间湾、河漫滩、河漫沼泽等微相。其中水上分流河道微相是滚动勘探的主要方向。花园油田整体上是陵北断层控制的断鼻构造,内部被小断层分割为许多小块。位于构造低部位的陵 24 井在新下段 I 油组钻遇砂岩 45.6m,且

录井有油斑粉砂岩 8.0m。类比花园油田认为在陵 24 井高部位是有油气聚集的,但是根据钻井资料陵北断层的位置无法确定,含油高度及面积无法预测。对该区三维地震资料,运用工作站进行人机联作构造精细解释,利用纵横剖面、任意方向剖面、连井剖面及水平切片对比等解释方法,交互验证修改,对三维数据体进行精细解释,使解释层位、断层在剖面上、平面上以及三维空间上闭合。弄清了陵北断层的位置和地层产状,准确落实了构造形态。在构造高部位部署的陵 24-1 井获得了日产油 28t 的高产。滚动预探成功后,对该块进行了储层预测,认为陵 24-1 井东部储层较厚,可滚动扩边,又完钻滚动井 3 口,其中油井 2 口,注水井 1 口,新增日产油能力 35.2t,新建产能 1×10^4 t。新增了石油地质储量。花园油田老区开展油藏二次评价,寻找剩余油富集区,也钻出了一批高产油井,使花园油田由一个近于枯竭、濒于关闭的老油田又恢复了活力。

2 岩性油藏的储层预测

江汉盆地属盐湖沉积,岩性、岩相多,储层薄,横向变化快,岩性油藏较发育。加强油藏的储层预测与评价,是滚动勘探开发成功的关键。主要从以下几个方面开展研究。

2.1 相控储层预测

所谓“相控”即在岩相、测井相、地震相分析技术基础上,建立岩相、测井相、地震相的相关关系,在井少的地区,利用地震资料横向连续性好的特点,用地震相参数约束控制地质相,进行地震信息向储层特征的预测转化,最终实现各相区预测结果的叠合。

张港油田位于江汉盆地潜江凹陷东斜坡,区域性砂岩尖灭带上。张港油田主力油层为 E_{q4}^2 油组,油藏为上倾尖灭岩性油藏。利用代东三维地震资料进行了地震相分析,以地震相约束控制地质相的平面展布,运用相控—等时分析法,综合地质、地震参数,将地震相转化为沉积相,并进行了沉积微相研究。

(1)通过作合成地震记录和正演地质模型,准确标定地震反射层的地质层位;确定了目的层砂岩在地震反射上的特征,为一套大波谷。

(2)根据地震资料划分 E_{q4}^2 油组的地震相图(图1)。利用地震相连续性、振幅、外形等地震参数,将张港北部 E_{q4}^2 油组划分为四种地震相:即高连续高振幅席状相、高连续中振幅席状相、中连续变振幅充填相、低连续中振幅楔状相。

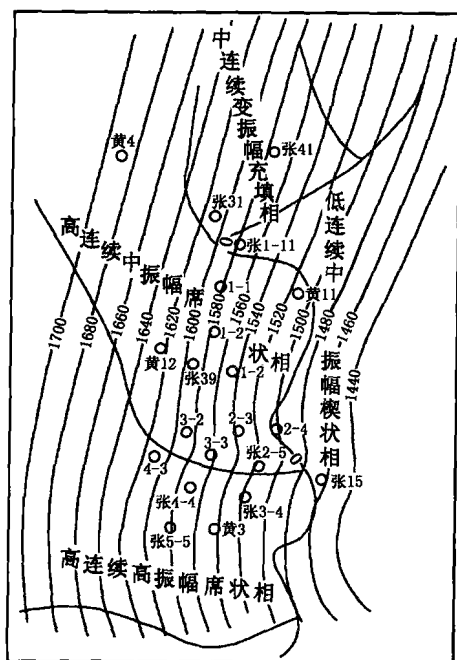


图1 张港油田北部 E_{q4}^2 油组地震相分布图

(3)完成 E_{q4}^2 油组砂岩百分比图。砂岩百分比图是地震相向沉积相转换的重要的定量标志,它反映了盆地的骨架砂岩特征,是对地震资料的验证和补充,尤其对古水流方向的确定和多解地震相的解释很有帮助。张港地区 E_{q4}^2 油组砂岩百分比等值线图表明(图2):该套砂岩分别来自北部的汉水地堑和西北部荆门地堑两个方向。

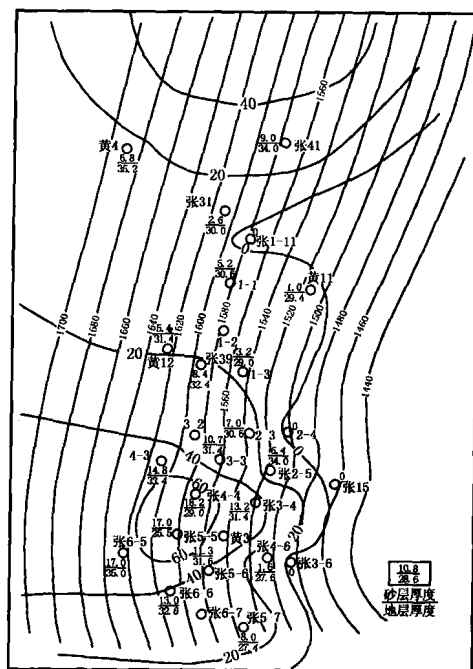


图2 张港油田北部 E_{q4}^2 油组砂岩百分比等值线图

(4)岩相—测井相分析,识别出主要的沉积相类别。张港地区区域沉积环境分析表明, E_{q4}^2 油组为盐湖滩坝相沉积,通过分析黄3井等井的岩心,结合单井测井曲线形态,细分为四种沉积微相:滨浅湖沙坝微相、滨浅湖滩沙微相、盐湖膏岩微相和盐湖泥岩微相(图3)。

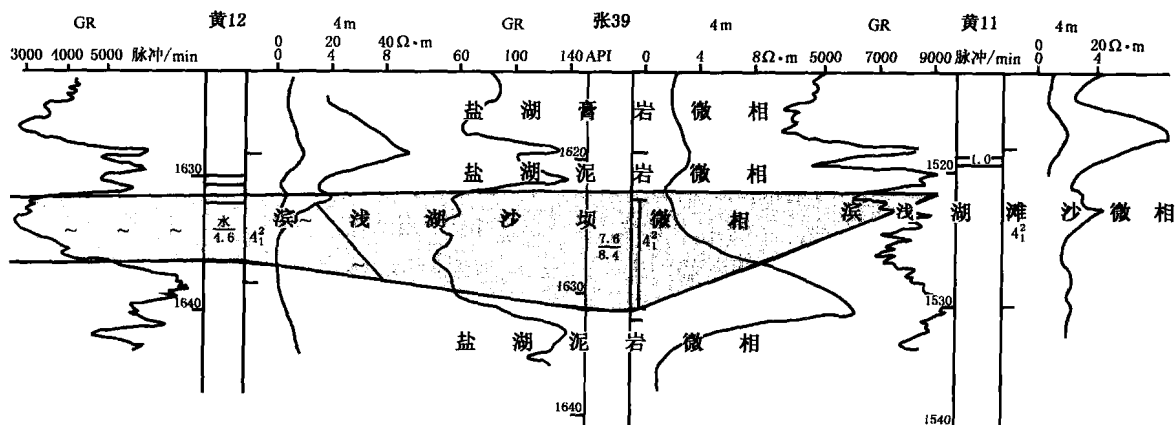


图3 黄12—黄11井 E_{q4}^2 沉积微相剖面图

快,滚动勘探开发难度较大。工区主要含油层位为潜四上段,是一套泥、盐岩韵律层与砂泥岩互层组成的地层,岩性主要有盐岩、砂岩、泥岩。统计分析多井的测井资料,波阻抗能反映地层岩性和物性变化:盐岩速度及波阻抗值较低,渗透性砂岩波阻抗值一般低于泥岩和干砂,但有部分交错混杂。工区的自然伽马不但具有反映物性和岩性信息的特点,而且分辨率高。因此,利用波阻抗与自然伽马的映射关系,以波阻抗作为先验信息来反演自然伽马,将地层岩性分开,寻找储层。

运用 GridStatPro 软件在黄场油田黄 22 区块应用储层地震学建立储层模型,其核心是储层横向预测,以地震反演的波阻抗体作为软约束,通过协克里金方法,得到储层三维地质模型。其基本方法如下:以约束井的自然伽马资料建立初始地质模型,选用雷克子波为初始子波通过多次地震统计法,进行反复迭代。从地震道中求取与多口井拟合较好的子波,利用反褶积多次迭代得到地震反演结果。地质模型和反演结果通过变差函数、克里格插值(或条件模拟)得到最终的预测岩性地质体,用于分析砂体的空间分布。

根据建模结果分析,Eq₄²油组砂岩在北东—南西方向变程最长,变程为 3400m,砂体沿这个方向延伸长度为 3400m 左右。砂岩平面预测图进一步证实砂岩主要延伸方向为北东—南西向,砂层平均厚度 8m 左右。从潜 4²油组砂岩预测剖面分析,黄 22-5 井高部位有形成岩性油藏的有利条件,可为滚动勘探提供有利依据。

2.3 油气层识别技术

人工神经网络模式识别法充分利用地震资料的特征信息,根据岩性变化与油气的存在引起某些地震反射特征变化的理论,用数理统计中的聚类分析方法,建立已知油气藏的统计模式,并用以判断未知区,预测油气藏的存在,可进行剖面预测和平面预测。

人工神经网络技术(ANN)包括自组织聚类和自适应学习两种分析方法。自组织聚类分析(SOM 模式)比较适合于井少或新区,是通过参数类比分析,确定目的层的岩性变化和油气特征。自适应学习(BP 模式)广泛应用于井较多地区,是通过油水样本道网络学习,采用误差反传算法,对地震道进行网络判断,预测目的层的含油气性,对已知样本具有很好的学习及判断功能。利用 ANN 技术对黄 22 井

区进行多次含油气预测。在构造发生变化后,为了扩大含油区块,利用 SOM 模式进行预测,根据已钻的大部分出油井判断黄 22-6 井附近为有利区块,部署黄 22-6 井,获得成功。加深地质认识,逐步向外滚动。随着滚动开发井的钻探,利用 BP 模式对区块再次评价,预测结果与钻井吻合程度较好。

3 油藏动态评价

为挖掘老油田滚动潜力,首先必须分析油藏储量动用状况,通过分析油藏主要开发期储量利用程度(图 5),找出潜力区块。如王场三北等主力油藏,开发效果好,I、II 阶段可采储量采出程度很高,达 70%左右,使第 III 阶段开采年限仅 3~4 年。另一类如王 30 井区,虽然 I、II 阶段可采储量采出程度仅 10%左右,但由于措施得力,使 III 阶段保持了 18~20 年,在主要开发期也采出了较多可采储量。大部分油藏则在 I、II 阶段采出 40%左右可采储量,第 III 阶段维持 10~13 年左右,这些油藏内部挖潜的余地较小。而黄场、张港虽然已进入第 IV 开发阶段,但 I、II 开发阶段可采储量采出程度较低且第 III 阶段开发年限较短,有一定的挖潜潜力,需通过第 IV 阶段强化开采及补充完善等措施恢复产能。

水驱特征曲线是油藏动态分析中经常运用的方法,它可以对油田的可采储量或地质储量作出有效的预测。张港油田的滚动勘探表明,水驱特征曲线在油藏开发中的滚动扩边中有重要的指导意义,可以间接提供油砂体展布的有关信息。

在水驱油田的动态分析和预测中,对于已经进入中期含水开发的油田(或单井),若将累积产水量与累积产油量在半对数坐标纸上作图,可以得到一条比较明显的直线关系图,该图即为水驱特征曲线。根据童宪章对我国东部地区的水驱砂岩油田的研究,水驱砂岩油田的地质储量 N (单位为 10^4t)和相应的甲型水驱特征曲线直线段斜率 B_1 的倒数在双对数坐标纸上有如下关系:

$$N = 7.5422B_1^{-0.969} \approx 7.5/B_1 \quad (1)$$

式中 N ——水驱地质储量;

B_1 ——水驱特征曲线直线段斜率。

下面以张港油田 Eq₄²油藏为例,介绍水驱特征曲线在滚动扩边中的应用。张港油田位于张港单斜构造带上,为一岩性上倾尖灭油藏,含油层位为 Eq₄²油组,主要开采层位为 Eq₄²油藏。Eq₄²油藏

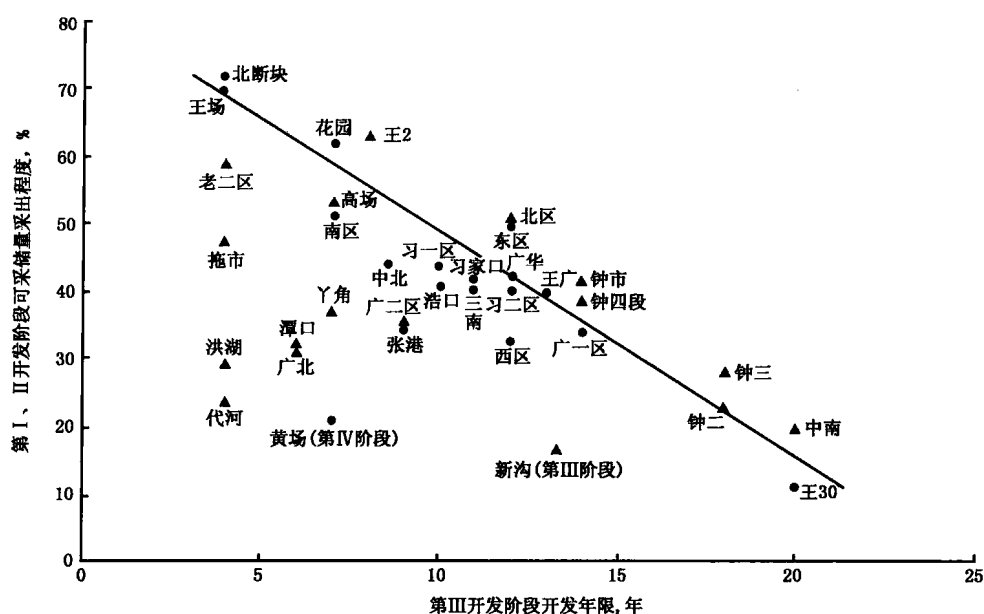


图5 江汉油田各油藏主要开发期储量利用程度图

上报储量为 $12 \times 10^4 \text{t}$, 长期以来只有张 3-2 井一口生产井。该井于 1970 年自喷投产, 初产日产油 11t, 至 1998 年 12 月, 日产油 3.4t, 综合含水 96%, 累计产油 $7 \times 10^4 \text{t}$ 。该油藏主要为边水驱动、单井试采, 含水率已达 96%, 对测算水驱地质储量是很有利的。根据该井的水驱特征曲线(图 6)得到:

$$\log W_p = 0.1667 N_p + 0.0489 \quad (2)$$

$$\text{相关系数 } R = 0.9905$$

式中 W_p ——累积产水量, 10^4t ;

N_p ——累积产油量, 10^4t 。

由式(2)容易得出: $B_1 = 0.1667$

代入童宪章的公式: $N = 7.5422 B_1^{-0.969} \approx 7.5 / B_1$

得到: $N = 45 \times 10^4 \text{t}$

即由水驱特征曲线计算得 E_{q4_1} 油藏地质储量为 $45 \times 10^4 \text{t}$, 与上报储量不符。通过油藏静态描述, 认为上报储量不落实, 北部存在砂岩发育带。部署滚动探井张 39 井, 在潜 4₁ 小层钻遇油层厚度 8.4m/1 层, 投产后初期日产油 60t 以上, 稳定日产油量一直 20t 以上。根据滚动评价的情况, 部署了 5 口开发井, 滚动

开发完善后, 日产油水平上升到 68t, 日产油量增加了 3 倍, 新建原油生产能力 $1.7 \times 10^4 \text{t}$ 。

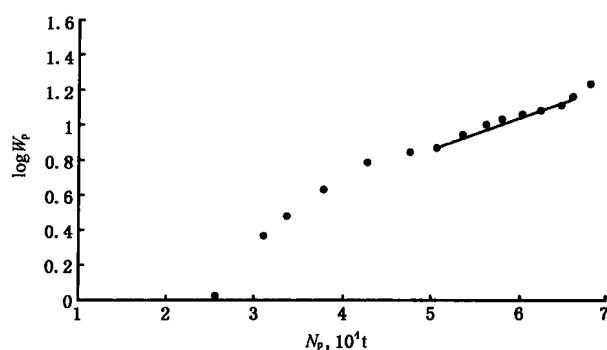


图6 张 3-2 井甲型水驱特征曲线

4 推广应用效果

油藏综合研究技术的应用, 深化了江汉油区复杂油藏的认识, 指出了老油田扩边挖潜的潜力, 为滚动勘探开发提供了技术支撑。近两年来在江汉油区习家口油田、王场油田王广区、广南地区等区块滚动勘探开发实践中取得了较好的地质效果。