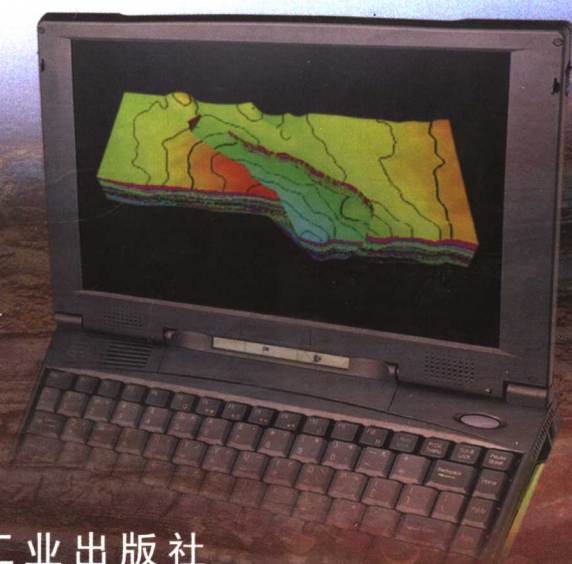


大庆油田多学科油藏 研究与应用论文集

主编 计秉玉 李彦兴 李 洁



石油工业出版社

大庆油田多学科油藏研究与 应用论文集

主编 计秉玉 李彦兴 李 洁

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了近几年大庆油田多学科油藏研究和在开发中应用的技术论文 126 篇。主要内容包包括地质基础、方法研究和应用三大部分。

本书对大庆及同类油田多学科油藏研究及应用可起到指导和借鉴作用,并可供从事油气田开发的地质技术人员、管理人员、科研人员及有关高等院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大庆油田多学科油藏研究与应用论文集/计秉玉,李彦兴,李洁主编.

北京:石油工业出版社,2007.9

ISBN 978-7-5021-5677-0

I. 大…

II. ①计…②李…③李…

III. 油藏-研究

IV. P 618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 106999 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.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 45.25

字数: 1158 千字 印数: 1—1300 册

定价: 150.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《大庆油田多学科油藏研究与应用》

编 委 会

主 任：王玉普

副主任：隋 军 计秉玉 郭万奎 徐正顺 程杰成

委 员：王渝明 李彦兴 孙英杰 李 洁 唐许平
石成方 赵国忠 李伯虎 赵翰卿 隋新光
宋吉水 万新德 薛家锋 李士奎 黄伏生
房宝才 庞彦明 郭殿军 徐运亭 邱勇松
李建民 闫亚茹 麻成斗 姜洪福 李 浩
于志明

前 言

2002 年以来,大庆油田针对高含水后期剩余油分布高度零散、复杂、挖潜难度大的难题,在油田公司的统一领导下,大庆长垣各油田以规模量化剩余油描述、优化水驱挖潜措施、经济有效改善开发效果为核心,开展了高含水后期多学科集成化精细油藏研究与应用的实践。油田公司开发部负责组织领导和工作部署,研究院负责提供技术支持,采油厂成立项目组落实任务和人员,并按照项目管理形式在 28 个水驱开发区块开展工作。在各级领导的关怀和指导下,通过全体工作人员的辛勤努力,大庆油田多学科油藏研究工作逐步深化,形成了大型陆相多层砂岩油田特高含水期多学科集成化精细油藏研究模式,创新形成了规模开展多学科集成化精细油藏研究的以沉积相控为主要特色的三维地质建模、储层渗流特征与储层物性一致性描述、微机机群并行油藏数值模拟、多学科一体化油藏研究工作平台等四项关键技术和多油层砂岩油田分层注水工艺模拟方法,独创了多学科油藏研究技术网络交流平台,丰富了油藏描述成果库,形成了系列技术标准与规范,培养了一支多学科集成化精细油藏研究的技术研究队伍。

截至 2005 年底,大庆油田多学科精细油藏研究技术推广应用规模已经达到 28 个区块,总面积 382km^2 ,井数 9934 口,涉及地质储量 $13.5 \times 10^8\text{t}$ 。应用多学科油藏研究方法,定量地给出了单砂层的开采指标、剩余油分布和措施挖潜效果,把剩余油研究提高到了一个新阶段。对于细到单井和小层的调整,多学科油藏研究为调整方案的优化提供了新的技术手段。

这本书是 2002 年以来大庆油田多学科集成化精细油藏研究主要成果和论文的一个汇编,主要是为了方便矿场从事精细油藏研究工作的人员进行技术交流。全书共分地质基础、方法研究、矿场应用三大部分,集中反映了该阶段大庆长垣油田油藏研究的主要进展。由于论文作者多是来自采油厂的年轻技术人员,文中难免存在不妥之处,诚挚地欢迎读者批评指正。

大庆油田的多学科集成化精细油藏研究还在进一步实践之中,还需要进一步拓展研究技术和方法,进一步深化多学科油藏研究 and 应用,在今后的工作中不断地探索并逐步完善。

目 录

第一部分 地质基础

大庆油田多学科集成化精细油藏研究技术与实践	计秉玉 李 洁 赵国忠 (3)
大庆油田萨葡油层河道砂体预测描述	付志国 赵翰卿 李 洁 (15)
测井曲线矢量化数据与地质绘图一体化技术	宁丽凯 吴纯梅 刘国涛等 (20)
储层内部夹层参数测井解释方法研究	赵忠波 (27)
XMAC 测井资料在萨中油田开发中的应用研究	宋 杰 李自平 曾祥智 (34)
DLS 测井系列补划解释厚度方法研究与应用	夏 明 胥 伟 (40)
提高新测井系列储层厚度解释精度方法研究	刘 敏 黄春意 广淑君等 (45)
复电阻率测井在疑难油水层识别、解释过程中的应用	孙 瑞 向阳晨 宣召丽 (49)
应用多种方法提高大庆外围东部葡萄花油层油水层解释精度	梁艳霞 (55)
通过密闭取心资料校正含油饱和度的方法	马德华 耿长喜 左铁秋等 (60)
荧光显微镜技术评价油层水淹程度方法研究	左铁秋 耿长喜 马德华等 (67)
储层内部结构单元参数测井解释方法	刘国涛 于志明 (73)
不同微相油层物性参数赋值标准	吴纯梅 肖兰花 翟春风等 (85)
萨中开发区不同砂体储量参数研究	吴艳菊 宁丽凯 隋凤芝 (91)
萨中开发区地质储量精细计算方法研究	隋凤芝 赵忠波 刘翰武 (96)
利用相对渗透率资料识别水淹层方法探讨	王金影 吴艳菊 (101)
萨中开发区密井网条件下构造描述再认识	尚 梅 (106)
曲流型分流河道单砂体内部建筑结构及对剩余油分布的影响	郭亚杰 崔 君 王会祥 (110)
曲流河道砂体内部建筑结构研究及应用	龙 涛 刘国涛 (117)
高弯曲分流河道内部单一河道砂体识别研究	沈忠山 李 葳 袁 琳等 (121)
河道砂体内部水平隔夹层分布特征初步探讨	席国兴 李 葳 袁 琳等 (126)
废弃河道精细识别方法及应用效果分析	周丽梅 何宇航 付志明等 (132)
杏南开发区主力油层不同开发对象井网与砂体适应性分析	何宇航 (137)
井网加密后顺直河道砂体变化特点及砂体预测方法研究	曹洪文 (142)
水下分流河道砂体内部结构单元研究	龙 涛 (148)
大庆西部低渗透储层地应力分布规律及应用研究	隋晓滨 王新强 付伟丽等 (153)
新店油田流体性质综合识别技术及其应用	周红梅 蔡 敏 张力佳等 (159)
葡西油田复杂油藏成因研究	么忠文 马 东 肖洪伟等 (164)
大庆外围低渗透储层裂缝与地应力研究	王秀娟 杨学保 迟 博等 (170)

第二部分 方法研究

适合大庆油田的相控建模方法	郭德志	尹芝林	张平实	(177)
萨南开发区小断距断层精细组合方法研究	殷文珍	胥伟	尹仲松	(181)
Petrel 与 Eclipse 软件兼容性测评	吴景波	何彦庆	项卫庆	(187)
关于 FCM 与 PETREL 软件联合建模的探索	蔡云	龙涛	马驰	(195)
应用 Petrel 软件建立构造模型的方法	韩冬玲	吴艳菊		(199)
PETREL 软件在侧钻水平井钻井轨迹跟踪中的应用	于磊	刘柏松	于欢	(203)
FCM、EarthVision、Petrel 软件联合建模技术研究	陈炳峰	席国兴	司丽等	(207)
Petrel 构造建模方法与应用探讨	张景义	王淑琴		(215)
相约束属性建模方法在数值模拟中的应用探讨	王岩峰	王淑琴	郝兰英等	(220)
油水同层地质建模方法探讨	李秋影	孙赓秩		(226)
杏北开发区三角洲前缘相储层随机建模方法探讨	陈炳峰	席国兴	康红庆等	(230)
喇嘛甸油田储层三维地质建模研究与应用	赵云飞	沈中梅	王朋等	(234)
三维地质建模技术在萨中开发区的研究与应用	任淑琴	龙涛	顾琳琳等	(239)
储层三维地质建模关键技术及模型应用探讨	周丽梅	王淑琴	张景义等	(243)
FastTracker 建模软件应用技巧	陈兵	邓从刚		(251)
地质建模数据处理技术研究	周丽梅	崔君		(255)
构造模型控制下的非均质属性建模方法探讨	井玉艳	张红		(260)
储层三维地质建模方法在窄薄砂体油田的应用	刘卿			(266)
三维地质建模技术在水平井地质设计及导向中的应用	宋静	田彩霞	潘国辉等	(273)
三维地质建模技术在朝阳沟油田的应用研究	薛东安			(278)
三维地质建模中变差函数分析方法研究	袁娜	白军辉	燕鹏	(285)
不同尺度下剩余油的预测与挖潜方法研究	朱丽红	杜庆龙	刘海龙等	(289)
大庆油田多学科油藏研究一体化平台	郭德志	杨军	尹芝林等	(295)
多学科油藏研究方法对高产油水平井的作用	刘波	石成方	赵敏娇	(301)
皮斯曼压力校正多学科油藏研究中的应用	王怀民	尹芝林	张平实等	(306)
角点网格传导率计算技术研究	刘红卫	赵国忠		(311)
大庆油田二类油层强碱体系三元复合驱数值模拟研究	石东义	曹锡秋		(315)
不同井网渗透率测井解释系统误差校正及在数值模拟中的应用	杨军	李本生		(322)
不同沉积相的相对渗透率曲线在油藏数值模拟中的应用	蔡春霞	石东义		(327)
相对渗透率曲线在水驱数值模拟中的应用	李本生			(333)
水驱油藏注采系统调整数值模拟研究	李景峰			(337)
数值模拟分层注水技术研究	李慧	沈全富	刘灵芝等	(345)
萨尔图油田南二区东部聚合物驱油精细数值模拟研究	张忠勋	孙强	安艳明	(349)
提高杏四一六行列丙北块油藏数值模拟精度方法探讨	李音	于凤林	张凤敏等	(355)

基于油藏数值模拟的措施优选方法	杨为华 侯 敏 郭达成 (359)
油藏数值模拟中提高历史拟合效率的实现方法	李士奎 朱 焱 (364)
油藏数值模拟成果显示技术研究	赵 霞 关 宇 (369)
喇嘛甸油田典型区块多学科数值模拟研究	张 波 杨 军 沙宗伦等 (373)
二类油层聚合物驱油数值模拟技术研究	阙春玲 (379)
根据新钻井资料完善油藏数值模型方法	朱 伟 王长生 马洪涛等 (386)
利用井壁取心分析资料评价萨北油田水淹层和油水同层方法	马德华 刘 方 唐庆梅等 (391)
井壁取心资料在杏北油田的应用研究	刘 敏 黄春意 李连平等 (398)
基于数值模拟方法的聚合物驱分注时机研究	孙 强 陈文若 (402)
聚驱精细数值模拟与跟踪拟合技术研究	张忠勋 李 继 (407)
Polymer 模型后处理系统 1.0 的开发与应用	白军辉 袁 娜 李莉娟等 (412)
应用水力探测方法研究储层大孔道及剩余油分布	张晓芳 韩哲盛 (418)
分层段压力监测系统在大庆油田的应用	赵秀娟 安玮煜 (424)
翻身屯地区储层裂缝研究	于海香 (429)

第三部分 应 用

多套井网条件下单砂体注采完善程度评价方法	于 力 齐春艳 (435)
聚合物驱后期剩余油描述及挖潜方法研究	邓庆军 关 辉 (439)
萨中开发区特高含水期剩余油潜力分析	刘颖萍 (444)
南二区东部聚合物驱过程中剩余油分布变化规律研究	沈全富 孙 强 张忠勋等 (451)
萨尔图油田南四一八区表外储层动用状况分析	张淑娟 张立秋 马晓玲 (457)
多学科油藏研究技术在分析聚驱后剩余油分布规律中的应用	王文军 公衍富 (464)
高含水后期北二区西部剩余油分布描述方法研究	李忆园 王 赢 (472)
利用水平井挖潜过渡带边部地区剩余油	王玉祥 王 弘 金利等 (478)
油藏数字化模型中剩余油定量分析及精度评价	郝兰英 (484)
龙虎泡油田剩余油描述方法及应用	张 引 叶宝娟 周红梅等 (491)
朝 45 区块剩余油描述及挖潜方法	周玉莲 (495)
应用动静综合分析绘图法研究翻身屯加密区剩余油分布	李思涵 (501)
精细剩余油描述技术在高含水后期区块治理挖潜中的应用	梁东林 王庆国 朱吉凯等 (506)
萨中开发区高台子油层注采系统调整剩余油挖潜的实践与认识	李永伏 新风荣 李冬艳等 (512)
北一区断西多学科剩余油研究及挖潜效果分析	朱吉凯 李永伏 (519)
多学科综合研究在特高含水区块控水挖潜中的应用	左海峰 吴淑云 (529)
应用三维地质建模技术优化水平井轨迹的地质设计	马 驰 李 浩 (534)
油藏描述成果的应用方法探讨	于志明 吴艳菊 龙 涛等 (539)

应用数值模拟技术控制特高含水开发后期低效无效注水循环场

- 张淑娟 寇晓红 范巧林等 (544)
- 数值模拟技术在开发方案编制中的应用 由春梅 孙光胜 李 慧等 (548)
- 南二区东块面积井网高含水后期多学科综合研究挖潜试验
- 安艳明 王曙光 张忠勳等 (558)
- 多学科油藏研究技术在注采系统调整中的应用 代开梅 安艳明 王曙光等 (566)
- Petrel 构造建模技术在聚驱注采系统调整中的应用 刘灵芝 孙 强 殷文珍等 (571)
- 应用数值模拟技术全过程指导聚合物驱跟踪调整
- 孙 强 刘凤珍 慕金丽等 (575)
- 数值模拟技术确定南二区东部转后续水驱时机 毕传萍 刘性全 孙 强等 (579)
- 综合应用井壁取心资料指导三次加密调整井射孔 张春灵 韩桂林 高玉凤等 (584)
- 多学科研究在完善单砂体注采关系中的应用 姜雪岩 李丽娟 杨桂霞等 (588)
- 多学科研究技术在北三区东部三次加密调整中的应用
- 冷延明 林 立 (595)
- 特高含水开采阶段剩余油挖潜的多学科综合分析方法
- 金海军 李莉娟 (602)
- 多学科研究油水同层开采配套技术及开发规律 梁秀丽 马利民 刘柏松等 (609)
- 多学科油藏研究技术在区块综合治理中的应用 王宏志 赵丽红 (614)
- 多学科研究技术在异常高压层研究与治理中的应用
- 孙国东 (620)
- 应用多学科油藏研究优化水驱调整方案 祖小京 周丽威 张 波等 (625)
- 杏北地区高含水后期优化监测系统技术研究 康红庆 周丽威 李 音等 (631)
- 杏一一三区西部乙块三次加密后完善单砂体注采关系方法研究
- 吕文君 费洪涛 滕金玉等 (637)
- 杏一一三区乙块提高表外储层动用程度方法研究 司淑荣 官 畅 王丽敏等 (643)
- 应用多学科油藏研究方法挖掘顺直窄小河道砂体剩余油
- 刘蕾蕾 杜鹃红 (648)
- 应用多学科油藏研究成果对杏九区实施综合治理 张志刚 李 冰 何 伟等 (653)
- 多学科油藏研究成果在杏十一十一区东部“控水挖潜”试验中的应用
- 杨海生 吴海云 (658)
- 应用数值模拟技术确定油井转注时机 徐炳涛 孙立华 张志龙等 (663)
- 多学科研究成果在喇6-16井区的应用 沙宗伦 张 波 赵云飞等 (667)
- 应用多学科油藏研究技术改善窄薄砂体油田开发效果方法探讨
- 朱 伟 王长生 马洪涛等 (673)
- 多学科油藏研究技术在特低丰度葡萄花油层水平井开发中的应用
- 刘云燕 宋 静 郭 峰等 (678)
- 多学科油藏研究技术在“三低”油藏开发中的应用 黄德利 杨位民 曹海涛等 (685)
- 综合应用数值模拟等技术搞好升平油田加密调整 曹海涛 黄德利 雷友忠等 (691)
- 应用油藏数值模拟技术改善宋芳屯油田开发效果 陈 峰 黄德利 杨位民等 (697)

应用多学科技术深化认识边底水油藏，改善开发效果

..... 王新强 郝世艳 徐安军等 (702)

精细油藏描述在榆树林油田东 16 井区扶杨油层开发中的应用

..... 王文明 牟广山 李荣华等 (706)

海拉尔盆地复杂断块油藏多学科油藏技术应用研究 吴 畏 张荻楠 李健民 (711)

第一部分

地 质 基 础

大庆油田多学科集成化精细油藏 研究技术与实践

计秉玉 李 洁 赵国忠

(大庆油田有限责任公司)

摘要 针对高含水后期剩余油分布高度零散、复杂、挖潜难度大的难题,大庆长垣各油田以规模量化描述剩余油、优化水驱挖潜措施、经济有效地改善开发效果为核心,历时4年时间,在28个水驱开发区块进行了高含水后期多学科集成化精细油藏研究与应用的实践,为我国东部老油田高含水后期应用现代化油藏管理模式进行高效挖潜探索出一条可行的途径。

大庆长垣是已经开发了40多年的大型陆相非均质砂岩油田。2002年以来,针对大庆长垣油田高含水后期剩余油分布高度零散、复杂、挖潜难度大的难题,为进一步细化量化剩余油分布描述,满足精细调整挖潜的需要,油田公司依托多年来精细地质研究、地质开发数据库、信息技术的发展和技术人员培养的基础,在大庆长垣油田开展多学科集成化油藏研究技术攻关与现场试验,探索适合陆相多油层砂岩油藏多学科一体化研究的实现途径。在4年的探索和实践,主管领导不断创新思路,提出新的要求,油田公司开发部积极组织协调和总结,研究院不断创新和深化配套技术,采油厂扎扎实实、创造性地推广应用,建立了基于企业网、精细地质研究成果和油田开发动态数据库的多学科集成化实用工作流程,形成了以沉积相控建模和精细数值模拟为核心,综合开发地质、生产测试和油藏开发信息等多学科一体化油藏研究技术体系。在推广应用中实现了对油藏地质特征和开发过程的数字化表征,深化了油藏地质认识,细化量化了剩余油分布,优化了调整方案和注采监测系统,区块的开发效果得到明显改善,培养了大批专业人才,为高含水后期油田精细调整挖潜、提高油藏管理水平探索出了一条有效的途径,建立的反映油藏地质特征和开发全过程的油藏数值模型成为石油开采企业的新型数据资产。

1 取得的主要成果

为实现多学科油藏研究的技术构想,在油田公司统一组织下,研究院、采油厂的技术人员通力合作,在多学科油藏研究关键技术方面开展了一系列攻关,形成了具有大庆油田特色的、适合陆相多油层砂岩油藏多学科一体化油藏研究的配套技术。

1.1 创立了大型陆相多层砂岩油田特高含水期多学科集成化精细油藏研究模式

基于客观世界的变化和普遍联系,在油藏研究中,人们一直有多学科结合和综合进行油藏研究的思想,一直在尝试将精细油藏地质、测井二次解释、开发地震、岩石物理、地质建

模、生产测井、试井、油藏模拟、经济评价等多学科、多专业综合起来对油藏进行精细、量化描述。随着计算机技术的快速发展,多学科一体化集成的油藏研究模式和技术也迅猛发展,在国外现代油藏管理中发挥了重要作用,取得了重大的工业效益。对于进入开发后期的老油田来说,精细的油藏描述和精细的剩余油分布描述研究是现代油藏管理的核心内容,多学科集成化油藏研究为很好地完成上述工作提供了一种最有效的方式。这种方式受到了前所未有的重视。

到 21 世纪初期,大庆长垣油田经过多次井网加密、稳油控水和聚合物驱后,已经进入高含水后期开采。大庆油田的开发地质研究也经历了 20 世纪 60 至 70 年代初期的陆相湖盆小层对比阶段、70 至 80 年代中期的储层沉积相研究阶段、80 年代中后期至 90 年代初期的表外储层地质研究阶段、90 年代中后期至 2002 年的密井网储层细分沉积单元和微相的精细地质研究阶段。1999—2002 年,油田公司历经 4 年时间、以攻关队的组织形式全面完成以储层精细描述为主要内容的精细地质研究,形成了大批量的纵向细分沉积单元、平面细分沉积微相的储层沉积相带图等地质研究成果图件,在此基础上动静结合的定性-半定量的剩余油分布描述基本满足了油田二次、三次加密调整和聚合物驱调整需要。但是,多次井网加密调整以后,剩余油更加高度分散,针对性更强的挖潜调整需要精细描述储层三维空间的剩余油分布,实现辨别油水于毫厘之间。对于像大庆长垣这样一个纵向上发育 100 多个单层、拥有 70000 多口井、经过 40 多年开发历史的大油田,要在特高含水期精细量化描述剩余油分布,工作量巨大到无法想像。在这种背景下,传统的、单一的、定性的储层和剩余油描述方法已经无法满足需要,必须借助于先进的信息技术手段,综合多方面的信息,走多学科集成化精细油藏研究的道路,快速建立起精细反映油藏地质特征和剩余油分布的油藏数值模型,才能适应油田实施精细挖潜的需要,才能保证油田持续高水平、高效益开发。

从历史上看,大庆长垣油田具备探索和实践多学科集成化精细油藏研究的 4 个有利条件:一是规模开展的精细地质研究提供了可靠的地质研究基础;二是规范的油藏动静态数据库建设提供了丰富的数据资源;三是飞速发展的信息化技术为集成化平台的搭建提供了软硬件条件;四是采油厂拥有的一批实际工作经验丰富、有一定研究能力的技术骨干保障了推广应用的人才。

因此,2002 年以来,大庆长垣多学科集成化精细油藏研究的总体思路是:将油藏作为一个整体,以计算机和网络技术为平台,以地质建模和数值模拟为主要技术工作环节,以沉积学、地质统计学、地球物理学、油藏工程学等学科为理论依据,综合利用反映油藏动静态特征的各种地震、测井、试井、生产等多方面信息进行多学科、多专业、集成化和数字化的综合研究,建立起充分反映油藏地质特征及开发全过程的四维可视化油藏数值,实现对油藏地质特征的定量表征,实现剩余油分布的精细定量描述和预测,实现精细计算地质储量和可采储量,评价开发方案合理性和开发效果,优化开发方案和调整方案。

上述技术思路和研究模式的关键点是在建立地质模型时充分应用了以往丰富的密井网条件下储层纵向细分沉积单元、平面细分沉积微相等研究成果,地质模型充分反映了当前开发阶段最精细、最准确的地质认识。利用这个油藏地质模型所做的油藏数值模拟具有与地质认识结合紧密、充分考虑储层非均质性、力学机理明确、更加全面反映油藏动态变化特点、预测多种措施效果、易于方案优化等优点,代表了大庆油藏研究的发展方向。

1.2 创新形成了规模开展多学科集成化精细油藏研究的五项关键技术

1.2.1 以沉积相控为主要特色的三维地质建模技术

油藏地质模型是油藏地质研究成果的集中体现,是根据油藏地质认识进行油藏动态定量研究的基础。但是,以往地质建模方法不能将储层沉积微相研究成果完整、定量地体现出来,成为影响油藏动态研究细到单砂层和沉积微相的瓶颈。大庆油田结合自身储层沉积微相研究的特点,创立了相带线约束沉积微相控制地质建模技术,建立起精细地质研究到油藏数值模拟定量动态研究的桥梁。

1.2.1.1 沉积微相控制地质建模的理论基础

沉积微相控制地质建模的理论基础是沉积学和地质统计学。

现代沉积学理论认为:沉积相是指沉积环境及其在该环境中形成的沉积岩特征的组合。而沉积微相是沉积亚相带内具有独特的岩性、岩石结构和构造、厚度、韵律性等沉积特征及一定的平面分布配置规律的最小沉积单元。它决定着储层砂体与渗流屏障的宏观分布,同时控制着储层砂体内的渗流差异。所以,在油田开发阶段,特别是在高含水后期,沉积相研究必须落实到沉积微相。

大庆长垣油田的开发对象是一套陆相河流-三角洲沉积的多油层砂岩油藏。自“八五”期间开展的储层精细描述已经覆盖了长垣油田的所有开发层系。概括起来,这套储层精细描述方法就是:在当代沉积学理论指导下,依据油田密井网测井资料所反映的各种沉积特征和沉积界面,以及大型河流-三角洲沉积各类储层特有的沉积规律和沉积模式,采用模式预测描述法,由大到小、由粗到细分层次逐级解剖砂体几何形态和内部建筑结构,精细地建立储层地质模型,系统描述储层宏观非均质体系。沉积相带图是储层精细描述的最重要的成果之一,所反映的储层各微相砂体的平面分布和微相类别蕴涵着砂体岩性、岩石结构和构造、厚度、韵律性等沉积特征。因此,按照沉积相带图进行地质建模,就可以抓住砂体属性的基本特征。

由于沉积条件的相关性,在一定区域内相同沉积体系不同位置砂体属性的空间分布具有一定的空间相关性。地质统计学就是以统计学的方法来揭示这种空间相关性和应用这种空间相关性进行属性的空间分布预测。

1.2.1.2 沉积微相控制地质建模的技术关键

沉积相控建模的技术路线:自主研发软件和引进软件联合,在建立精细描述较小断层和沉积成因单元级微幅度构造的构造模型基础上,充分、有效利用几十年积累的密井网储层沉积学研究成果(精细地质研究成果)建立确定性的储层沉积微相模型,以此为约束条件建立精细岩相随机预测模型,实现第一步相控;然后,以岩相随机预测模型为约束条件,建立孔、渗、饱等属性随机预测模型,实现第二步相控;最后,通过不确定性分析,优选出精度最高、风险最小的随机预测模型,达到尽可能精确表征储层纵向精细到沉积单元或单砂层内、平面精细到沉积微相(或岩相单元)的非均质性的目的。

按照上述技术路线,结合各种建模软件实际特点,确立了现阶段三维精细地质建模的技术流程。

通过自主研发的7个数据接口有机整合现有软件资源,搭建起三维地质建模软件一体化工作平台(图1)。这个平台充分利用油田丰富的储层沉积学研究成果数据库和成果图库资源,保证了数据的一致性和准确性;沟通了地质数据库与建模、数模等软件相互之间各个环节的数

据流通道,使建模流程更加规范顺畅和协调统一;实现了多种建模软件优势互补、协同工作,大大提高了密井网条件下储层三维地质建模精度,满足了规模开展建模工作的需要。

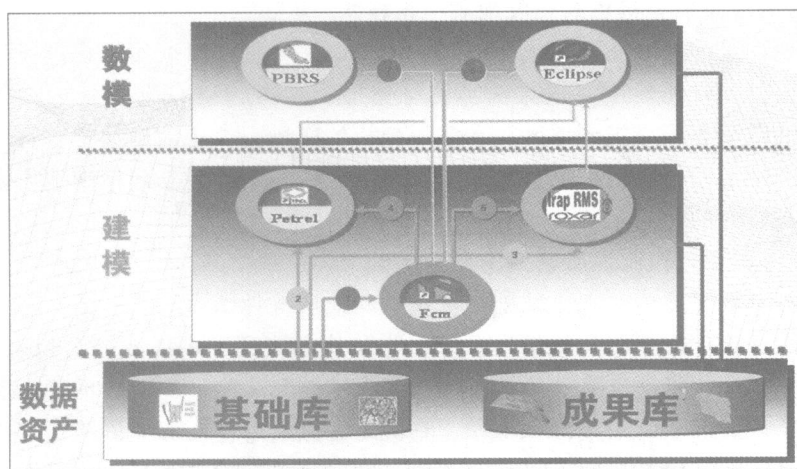


图1 大庆长垣油田密井网三维精细地质建模一体化平台示意图

上述流程和数据接口程序包括3个关键技术:一是单砂层沉积相带图的数字化技术(FCM),使基于多年精细地质研究成果基础上的二维和三维相控建模成为可能;二是数字化相带图保真加载技术,使相控三维精细地质建模得以实现;三是不同网格方式转换技术,实现了各种软件联合相控建模和数模。以密井网沉积微相边界为约束条件,分不同沉积微相分别建立三维地质模型,可以更加符合实际,提高开发动态历史拟合的精度和速度,保证细化到单砂层的精细油藏模拟的有效性。

沉积微相控地质建模的核心是进行井间储层参数预测,预测方法大体可以分为井点相控和井间相控两大类。

井点相控是利用井点处砂体的相类先进行井间相分布预测,然后再根据相类的空间分布约束进行属性的井间预测。目前,国外引进的建模软件采用的都是井点相控方法。这种方法所利用的基础资料仅是井点处的砂体相类信息,相类的空间分布预测结果不能完全与沉积相带图所代表的沉积相研究成果一致。

我们的沉积相控井间储层属性预测采用的是井间相控方法,即直接利用沉积相带图所包含的不同相类砂体的空间分布信息进行属性的井间预测。这种方法最完整地应用了沉积微相的研究成果,理论基础更加坚实。

大庆油田的相控井间储层参数预测方法,是在同一沉积微相内,根据井点的储层参数值预测井间储层参数。实现这种相控预测的技术关键是将沉积相带图数字化,并将数字化后的砂体相边界线构成属性预测中的约束条件。目前,沉积相控地质建模方法不但在原创的相控建模软件上实现,经过探索,通过将数字化后的沉积微相信息加载,在Petrel或RMS软件上也已经实现类似意义下的相控建模。

大庆油田储层建模技术是根据地质人员绘制的沉积微相图,数字化相带边界,充分考虑不同相带的差异,分别运用地质统计方法进行属性建模,实现了沉积微相研究成果在井间储层属性预测上的定量应用,所建立的地质模型既能体现出储层属性相内的相似性和相间的差异性,也能反映出相内储层的非均质性,预测结果更加合理、准确。大庆特色沉积相建模方法,体现了沉积相与地质统计方法的结合,体现了人的创造性、经验性和知识性的作用,体

现了人的智慧与计算机计算能力的有机结合，同时体现了历史上大量的精细地质研究成果的继承和应用。

1.2.2 储层渗流特征与储层物性的一致性描述技术

多学科一体化油藏研究的精髓在于发现和利用油藏属性之间和油藏属性变化过程中的联系，克服油藏测量不足和不同测量结果间的不一致给油藏描述带来的困难，提高油藏整体和历史描述的精度。

国内外大量研究结果表明，碎屑岩储集层的孔隙结构、岩石物性和多相流体共存时的岩石流体相互作用特性间具有明显的相关性。

大庆油田以长垣内萨葡高油层 817 个天然岩心实验资料为样本（空气渗透率从 0.007 到 8.344），按沉积微相统计得到了油水相对渗透率曲线端点值与储层岩石渗透率间的统计关系和平均相对渗透率曲线。应用相对渗透率统计规律，确定了计算不同渗透率储层岩石油水相对渗透率曲线的方法；在油藏数值模型中，规格化使用相对渗透率曲线，实现了储层相对渗透率和砂体物性的匹配。

油水相对渗透率曲线端点值统计规律如下：

$$S_{wc} = -0.0442 \ln k_{oc} + 0.2235 \quad (1)$$

$$S_{wr} = 0.3266 S_{wc} + 0.5937 \quad (2)$$

$$k_{rwm} = 0.4501 k_{oc}^{0.143} \quad (3)$$

大庆油田完全规一化形式的平均油水相对渗透率曲线如下：

$$\tilde{K}_{ro} = 1 - 2.47301 \hat{S}_w^5 + 7.50594 \hat{S}_w^4 - 9.58575 \hat{S}_w^3 \quad (4)$$

$$\tilde{K}_{rw} = 0.2698 \hat{S}_w^3 - 0.0948 \hat{S}_w^2 + 0.2249 \hat{S}_w \quad (5)$$

$$\hat{S}_w = (S_w - S_{wc}) / (S_{wr} - S_{wc}) \quad (6)$$

式中 S_w ——水饱和度；

$\hat{S}_w$ ——归一化水饱和度；

S_{wc} ——束缚水饱和度；

S_{wr} ——残余油下水饱和度；

K_{oc} ——岩石有效渗透率；

K_{rwm} ——残余油下规一化水相相对渗透率；

$\tilde{K}_{ro}$ ——规一化平均油相相对渗透率；

$\tilde{K}_{rw}$ ——规一化平均水相相对渗透率。

上述经验公式实现了孔、渗、饱等储层属性与相对渗透率之间的一致性描述，使储层岩石的渗流特征描述与物性一起受沉积相控制并细化到储层空间的每一点，比较准确地描述了储层渗流特征的非均质性，据此建立的渗流模型，使不同储层属性间保持了内在的相关性，提高了油藏数值模型的可靠性，保证其更准确地反映水驱油藏的油水分布特征和含水上升规律，提高历史拟合精度。

1.2.3 微机机群并行油藏数值模拟技术

油藏数值模拟是进行多学科油藏研究的核心技术。大庆油田近年来引进了 VIP98 和 Eclipse 等模拟软件。但是，要将多学科一体化油藏研究技术在全油田推广应用还是不够。为解决这个问题，大庆油田选择了自主并行模拟技术研发的路线。通过学习、借鉴国内外计算机集群技术与经验，设计、论证、实施了微机机群的构建，形成了数值模拟专用微机机群集