

河流相储层 精细描述技术

孙梦茹 著

石油大学 出版社

河流相储层精细描述技术

孙梦茹 著

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

河流相储层精细描述技术/孙梦茹著. —东营:石油大学出版社, 2005.7

ISBN 7-5636-1896-1

I. 河... II. 孙... III. 河流相—储集层—油藏描述 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 062662 号

书 名: 河流相储层精细描述技术
作 者: 孙梦茹

责任编辑: 郜云飞 (电话 0546-8391935)

封面设计: 傅荣治 (电话 0546-8391805)

出 版 者: 石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.upc.edu.cn>

电子信箱: sanbians@mail.hdpu.edu.cn

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本: 185×260 印张: 12.5 字数: 320 千字

版 次: 2005 年 7 月第 1 版第 1 次

印 数: 1-1100 册

定 价: 28.00 元

前言

20 世纪 80 年代中期,我国东部大多数油田进入开发的成熟期,已开发油田大多数采出程度低、采收率低,因此很有必要发展多学科综合一体化研究,对油藏进行再认识,以便对油藏进行科学的综合治理。胜利油区牛庄等油田开展了油藏描述技术研究,并获得初步成功。随着油藏描述从宏观向微观、从定性向定量、从描述向预测方向的迅速发展,20 世纪 90 年代已进入多学科综合协同研究的现代油藏描述阶段。

胜坨油田是胜利油区最早投入开发的主力整装大油田,位于东营凹陷最北部,坨庄—胜利村—永安镇二级构造带的中段,东邻民丰洼陷,西邻利津洼陷,南接东营断裂带,北部以胜北弧形大断层与陈家庄凸起相连。胜坨油田是一个被断层复杂化的、油气丰富的逆牵引背斜构造油气藏。油田内分布有 12 条主要断层,并将其分割成 11 个含油区块,含油面积 73.2 km^2 ,地质储量 $45\,924 \times 10^4 \text{ t}$,动用储量 $42\,727 \times 10^4 \text{ t}$ 。有六套含油层系(Nm、Ng、Ed、Es1、Es2、Es3),主力含油层系为下第三系沙二段,其储量占胜坨油田总储量的 80.7%,油层以河流—三角洲沉积体系为主,储层物性好(孔隙度 25%~30%,渗透率 $0.5 \sim 30 \mu\text{m}^2$),但非均质严重。胜坨油田 1964 年投入试采,1965 年投入正式开发,1966 年开始注水,先后经历了细分层系调整、井网加密调整、放大生产压差强采和改层系挖潜等开发阶段。胜坨油田连续以 $450 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的水平稳产 21 年,从 1990 年开始进入特高含水期产量递减采油阶段,又以 $400 \times 10^4 \text{ t}$ 以上的水平稳产 4 年,1994 年产油 $408 \times 10^4 \text{ t}$,1995 年产油 $385 \times 10^4 \text{ t}$ 。目前,油田共划分为 43 个开发单元,62 套开发井网,采油井开井 1 452 口,注水井开井 814 口,油田综合含水 94.7%,采油速度 0.71%,采出程度 34.7%。随着注水波及系数的提高,油田含水不断上升,油藏水淹程度加剧,剩余油分布更加零散,水驱油效率低,措施挖潜的余地小、难度大,措施后递减快,这些突出矛盾严重制约着油田开发效益的提高。

胜二区是胜坨油田油气富集程度较高、比较整装的大断块,含油面积为 24.7 km^2 ,地质储量为 $12\,156 \times 10^4 \text{ t}$,自 1962 年

开始钻探,至目前共钻井 911 口,其中有 35 口井对沙二段进行了系统或间断取心,系统的岩心分析化验资料为沉积相与储层研究及认识油层水淹状况等提供了可靠的资料依据。胜二区从 1965 年投入开发,其中沙二 1-2 砂层组至目前累计采油 $1\,496.5 \times 10^4 \text{ t}$,累计采水 $9\,846.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,采出程度 37.68%,综合含水已达 96.3%,累计注采比 0.91,注入倍数为 1.59。针对胜坨油田目前面临的“三高”问题和剩余油分布复杂的实际状况,以胜二区沙二 1-2 单元为例,重点围绕增加可采储量、提高采收率、减缓产量递减,开展了三维地质模型建立、剩余油分布描述、水驱综合挖潜等系列技术研究。

本书是在参阅了胜利油田有限公司胜利采油厂、地质科学研究院等多年来科研、生产等大量成果的基础上,结合著者对胜二区沙二 1-2 单元的研究撰写而成,系统总结了该单元精细地质模型的建立、剩余油监测与描述、精细数值模拟研究、水驱开采规律与开发效果分析、提高水驱采收率措施研究等内容。希望该书的出版能给同类单元的开发提供参考。

在本书编写过程中,得到了胜利油田有限公司地质科学研究院、胜利石油管理局测井公司等单位的大力协助,在此表示衷心的感谢。由于时间和著者水平所限,书中有些认识和论点难免有不足之处,敬请广大读者批评指正。

著 者

2005 年 3 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 油田开发后期存在的主要矛盾及问题	1
一、“三高”矛盾突出,油藏稳产难度越来越大	1
二、储层非均质性强,平面及纵向干扰严重,剩余油分布复杂	2
三、油水井井况复杂,套损井呈快速增长趋势	2
四、部分油藏井网完善程度差,储量控制程度低	3
五、油层出砂严重,控制递减难度加大	3
六、老井措施挖潜的难度加大,措施成本越来越高	3
七、工艺技术的适应性变差	4
八、设备设施老化严重,影响油田的正常生产	4
第二节 油田开发后期储层精细表征的内容及技术要求	5
一、精细油藏描述的研究内容和关键技术	5
二、剩余油分布研究的主要内容和关键技术	6
第二章 特高含水期油藏地质建模	8
第一节 地层模型	8
一、小层精细对比的基础理论和方法	8
二、沙二段1-2砂层组沉积时间单元划分	10
第二节 构造模型	13
一、构造图的编制	13
二、微构造适用性研究	13
三、构造特征研究	14
第三节 储层模型	16
一、储层宏观地质模型	16
二、储层属性测井定量解释	25
三、储层微观地质模型	35
四、储层物性参数随注水开发的变化规律	45
五、主力油层岩石物理相研究	48
六、储层综合评价	51
第四节 流体模型	60
一、原始含油饱和度解释方法	60
二、原油性质及其变化规律	61
三、油层温度及其变化规律	62
四、地层水性质及其变化规律	63



五、油层压力、油气比	64
第五节 油藏模型	64
一、油藏类型	64
二、储量计算	65
三、油藏综合评价	69
第三章 开发状况分析与开发效果评价	72
第一节 开发状况分析	72
一、开发现状及简历	72
二、注采井网完善性和适应性分析	74
三、能量状况分析	75
第二节 基本规律研究	76
一、含水上升规律	76
二、产量变化规律	76
三、产液能力变化规律	77
四、吸水能力变化规律	78
五、可采储量变化规律	78
第三节 开发效果评价	79
一、含水率评价	79
二、采出程度评价	80
三、累积水油比评价	80
四、注水利用率评价	80
第四章 特高含水期剩余油分布描述	83
第一节 室内及矿场剩余油分布监测技术	83
一、单井化学示踪剂法测剩余油饱和度	83
二、含油薄片法研究油层微观残余油分布	90
三、密闭取心含油饱和度校正技术	97
第二节 精细油藏数值模拟技术	106
一、精细油藏数值模拟技术思路与方法	106
二、主要精细油藏数值模拟技术	111
三、精细油藏数值模拟研究	115
第三节 特高含水期剩余油分布描述的其他方法	118
一、地质综合分析技术	118
二、水淹层测井解释技术	120
第四节 特高含水期剩余油分布特征	131
一、平面水淹状况及剩余油分布	132
二、层间水淹状况及剩余油分布	136
三、层内水淹状况及剩余油分布	145
第五章 特高含水期改善水驱开发效果研究	147
第一节 主要技术政策研究	147

一、合理井网密度	147
二、单井最大日产液量	149
三、压力保持水平	151
第二节 储层参数变化对开发效果的影响	153
一、储层参数变化规律	153
二、数学模型及软件	155
三、储层物性参数变化对开发效果的影响	160
四、原油性质变化对开发效果的影响	162
五、油层温度变化对开发效果的影响	162
六、渗流特征变化对开发效果的影响	162
七、综合因素对开发效果的影响	164
第三节 应用水动力学方法提高采收率研究	165
一、周期注水	166
二、改变液流方向	170
三、降压开采	174
四、堵水调剖	179
第六章 提高水驱采收率主要措施及效果	182
第一节 提高水驱采收率的主要措施及方向	182
第二节 综合治理效果分析	184
一、应用研究成果开展综合治理	184
二、应用效果评价	186
参考文献	189

第一章 绪 论

第一节 油田开发后期存在的主要矛盾及问题

胜坨油田是我国渤海湾盆地最早发现并投入开发的整装大油田。胜坨油田含有层系多,含油井段长,具有多套油水系统和多种油藏类型,是一个被断层复杂化的、油源与物源均丰富的含油气区。胜坨油田自 20 世纪 60 年代初投入开发,目前已处于特高含水期开发阶段,开发的难度越来越大,油田稳定发展面临着严峻的挑战。

一、“三高”矛盾突出,油藏稳产难度越来越大

胜坨油田目前可采储量采出程度高,储采矛盾突出。至 2003 年底,胜坨油田采出程度为 34.4%,可采储量采出程度高达 88%,剩余可采储量采油速度为 13.5%,储量和产量接替潜力越来越小,储采不平衡矛盾日益突出。“九五”以来,通过不断加大油藏研究及应用力度,在新区勘探和老区综合治理方面取得了显著成效,共增加地质储量 $2\,188 \times 10^4 \text{t}$,增加可采储量 $1\,258 \times 10^4 \text{t}$,而同期产油量为 $2\,156 \times 10^4 \text{t}$,储采平衡系数为 0.58,其中老区增加可采储量 $668 \times 10^4 \text{t}$,阶段产油 $2\,018.6 \times 10^4 \text{t}$,储采平衡系数仅为 0.33。在胜坨油田 50 个开发单元中,可采储量采出程度大于 90% 的单元有 31 个,地质储量 $35\,424 \times 10^4 \text{t}$,占油田储量的 78.9%;可采储量采出程度小于 40% 的单元仅有 8 个,地质储量仅为 $2\,438 \times 10^4 \text{t}$,占油田储量的 5.4%。

近几年,新区的投入及三次采油试验的开展,控制了胜坨油田整体含水的上升速度,保持了相对的稳产,但老区含水上升是必然规律,目前老区的综合含水已达到 95.5%。油田进入特高含水开发后期,高含水井数增多,水驱稳产的难度加大。综合含水大于 97% 的油井数由 1996 年的 226 口上升到目前的 375 口,日产液量 $4.11 \times 10^4 \text{t}$,平均单井日产液量 110 t,日产油量 986 t,平均单井日产油量 2.6 t,综合含水 97.6%,其产液量占全油田的 30.67%,而产油量只占 12.3%,这部分井以电泵、大泵为主,含水高,但措施余地小,效益差,井网调整难度大。由于严峻的产量形势,这部分油井仍然在继续运转,对降低成本造成了相当大的压力。

目前,胜二区综合含水高达 95.58%,采出程度高达 32.7% (标定采收率为 38.95%),剩余可采储量采油速度达 12.18%,油层水淹严重。油藏研究结果表明,目前含水级别大于 90% 的面积和储量分别占到了 68.69% 和 71.26%。在 477 口采油井中,含水大于 95% 的井有 276 口,占总井数的 58%,其产液量和产油量分别占胜二区的 84% 和 61%;含水低于 90% 的井有 91 口,仅占总井数的 19%,其产液量和产油量分别占 4% 和 20% (表 1-1)。

表 1-1 胜二区采油井含水级别分布

含水级别	井数/口	比例/%	产液量/(t·d ⁻¹)	产液比例/%	产油量/(t·d ⁻¹)	产油比例/%	综合含水/%
> 95%	276	58	41 197	84	1 329	61	96.77
90% ~ 95%	110	23	5 949	12	418	19	92.97
< 90%	91	19	1 892	4	421	20	77.75
合计	477	100	49 038	100	2 168	100	95.58

在胜二区 11 个开发单元中,可采储量采出程度高于 80% 的单元有 8 个,地质储量 $14\ 725 \times 10^4 \text{ t}$,占胜二区总储量的 93.18%,可采储量采出程度为 90.02%,剩余可采储量采油速度为 12.26%;可采储量采出程度为 70% ~ 80% 的单元有 2 个,地质储量 $950 \times 10^4 \text{ t}$,占胜二区总储量的 6%,可采储量采出程度为 73.93%,剩余可采储量采油速度为 7.5%;可采储量采出程度低于 70% 的单元仅有 1 个,地质储量 $129 \times 10^4 \text{ t}$,占胜二区总储量的 0.8%,可采储量采出程度为 63.45%,剩余可采储量采油速度为 1.85%。

二、储层非均质性强,平面及纵向干扰严重,剩余油分布复杂

胜坨油田储层非均质性严重,各类储层的砂体展布形态、储层参数、井网控制状况等存在较大差异。比如河道、河口坝等主体微相沉积储层分布面积广、厚度大、物性好、井网完善程度高,采出程度相对较高;而河漫滩、河口坝侧缘等微相,由于砂体呈条带状或透镜状零散分布、厚度小、物性差、井网完善程度低,故而采出程度相对较低。

根据精细油藏研究结果,进入特高含水期后储层非均质性仍较强,各单元特高含水期层间、层内渗透率变异系数均达 0.7 以上(0.67 ~ 3.92),突进系数达 3.0 以上,各小层以及厚油层层内各韵律层层间渗透率平均极差为 6 ~ 120,在多层合采过程中平面及纵向干扰严重。据统计,特高含水期层间干扰系数仍高达 0.5,造成特高含水期纵向上水驱状况不均衡。如胜二区 7-8 砂层组共有 25 个韵律层,从取心井资料、油井单采、分层累积采出程度、新井多功能解释、C/O 测井及吸水剖面等资料综合分析,采出程度和水淹程度较高的层为 $7^4(2)$ 、 7^6 、 7^7 、 $8^1(1+2+3)$ 、 $8^1(4)$ 、 $8^1(5)$ 等主体微相沉积为主的中高渗透韵律层;采出程度和水淹程度相对较低的为 $7^4(1,3)$ 、 7^5 、 7^8 、 7^9 、 $8^1(6)$ 、 $8^3(4-6)$ 等侧缘微相沉积为主的低渗透韵律层。虽然中高渗透油层采出程度较高,但仍然集中了大量的剩余储量。如何扩大注水波及体积,有效挖掘低渗透油层潜力,如何提高洗油效率,继续提高中高渗透油层采收率,对油田整体开发水平的提高至关重要,因此,需要建立更为精细的油藏模型,搞清纵向上不同韵律段在平面上的展布状况和开发状况。

三、油水井井况复杂,套损井呈快速增长趋势

随着油田开采年限的延长及长期的高强度开发,油水井套管损坏日益严重,注采井网遭到破坏,油层压力水平下降,协调注采关系的难度加大,削弱了油田的稳产基础。胜坨油田目前共有油水井 3 196 口,套管存在问题的井有 1 107 口(其中油井 670 口,水井 437 口),占 34.6%。1980 年以前仅发现套坏井 13 口,1981 ~ 1990 年发现套坏井 230 口,1991 年以来发现套坏井 857 口。从投产时间分析,1980 年以前投产的井套管损坏 473 口,占投产总井数的 53%;1981 ~ 1990 年投产的井套管损坏 454 口,占投产总井数的 27%;1991 年以来投产的井套管损坏 173

口,占投产总井数的12%。由此可见,投产时间越长,套坏井数越多,且套变位置主要是油藏部位、套变深度在1 000~2 000 m的井占45.8%。“九五”以来,平均每年出现套管损坏井达71口,仅2002年就出现套坏井94口,其中套坏油井38口,停产21口,日产油量减少332 t;套坏水井56口,停注39口,注水层段由157个减少到67个,日注水量减少5 600 m³,对应油井日产油量下降116 t,综合含水上升1.0%,动液面由638 m下降到679 m。

四、部分油藏井网完善程度差,储量控制程度低

胜坨油田井网主要存在两个方面的问题:

(1) 随着油田开采年限的延长,油水井套管损坏日益严重,注采井网遭到破坏,削弱了油田的稳产基础。胜坨油田由于套损井增多造成的水驱储量损失达 $2\ 686 \times 10^4$ t,占油田动用储量的6%,对老油田的稳产基础造成了比较大的威胁,直接导致部分井区注采失调,出现只注不采或只采不注的局面,同时导致单向受效井增加,严重加剧了平面矛盾。其次,油水井套损后笼统生产或注水,加剧了纵向上的干扰,致使潜力韵律层无法很好动用。进入特高含水期后,胜二区共出现套管损坏井178口(油井54口,水井124口)，“九五”期间仅1-2、7⁴-8¹、8³⁻⁵三个单元就出现套坏井70口,其中油井20口,水井50口。套坏井区注采对应率由96.1%下降到76.26%,其中单向对应率由22.3%上升到43.26%,双向及双向以上对应率由73.8%下降到33%;注水层段由108个减少为32个,增加笼统注水层段24个,日减少注水量6 879 m³,对油田开发效果造成了较大影响。

(2) 三、四、五类油藏和一、二类油藏中的非主力韵律层井网完善性较差。目前,胜坨油田注采对应率为75%,平均井网完善系数0.51,现井网储量控制程度86%,井网完善程度中等。各类油藏完善程度差异较大,三、四、五类油藏和一、二类油藏中的非主力韵律层井网完善性差,储量控制程度低,注采对应率为63%,平均井网完善系数0.31,现井网储量控制程度74%;而一、二类油藏中的主力韵律层注采对应率为92%,平均井网完善系数0.72,现井网储量控制程度89.5%,井网较为完善。根据近几年油藏研究及应用情况,三、四、五类油藏和一、二类油藏中的非主力韵律层采出程度相对较低,具有较大的挖潜余地,需要进行重点完善。

五、油层出砂严重,控制递减难度加大

胜坨油田油层出砂日趋严重,含砂分析资料显示,油井平均含砂量已由开发初期的0.10‰上升至目前的0.88‰,提高了近8倍;而埋藏浅、胶结疏松的东营组油井平均含砂量高达1.5‰以上。由于出砂加剧,造成砂埋油层、砂卡泵、磨蚀等现象,给自然递减控制带来很大难度。尤其是东营组,由于胶结疏松、出砂严重,主要利用沙二段报废井,造成油水井利用率低,停产、停注井较多,目前开井率仅为70%。

由于油井普遍出砂,防砂、治砂工作量不断增加,防砂费用高,渗透率损失大,作业施工周期长,经济效益差,导致油藏储量动用程度低。

六、老井措施挖潜的难度加大,措施成本越来越高

由于老井含水高,射开层数多,生产过程及井况复杂,认识剩余油的难度越来越大,常规的动态分析方法很难认识清楚剩余油的分布状况。目前,研究人员对动态监测手段的依赖性越来越强,主要应用硼中子测井、C/O测井、PND测井等新工艺、新技术来加强剩余油认识,提高

措施成功率,成本投入较高。工艺治理的难度加大,由常规的提液、补孔改层措施转向治理低效井、长停井,措施内容以补孔非主力层、压裂、防砂治理低品味油藏为主,工艺技术难度越来越大。措施挖潜效果越来越差,据统计,1999年以前的平均单井日增油能力在6.5 t左右,2000年降到了4.6 t,2003年下降到3.8 t,目前只有3.2 t。措施有效率由2002年的87%下降到目前的70%。单井次年增油由410 t下降到328 t,单井措施投入也由11.2万元上升到15.8万元,效果及效益变差,下一步措施挖潜难度进一步加大。

七、工艺技术的适应性变差

油田开发的不断深入,开发思路的不断调整,对工艺技术的配套与攻关提出了更高、更新的要求。就目前的工艺技术水平而言,在超前性、适应性、经济性以及配套程度上,仍存在诸多问题。

在注水工艺方面存在三个主要问题。一是由于细分开采,非主力层注水水质还需进一步改善,现有的配水工艺难以满足胜坨油田细分韵律层注水的要求。二是由于注水井层系多,层间差异大,管柱蠕动频繁。全油田开分注井688口,占总井数的76.2%,其中含有动(方)停层的井312口,占分注井的46.1%。由于动(方)停层与放大注水或水嘴控制注水并存,注水井层间压力差异大,造成测试调配困难、管柱蠕动频繁等问题,管柱的可靠性不能适应复杂注水管柱的要求,注水管柱的长效性还有待于提高。三是分层管柱有效注水周期短。对57口分注井封隔器的在线验封调查表明,在井半年、一年、一年半封隔器失效比例分别为27.8%、37.5%、45.5%;分层注水井在井一年半之后,近一半的分层注水井封隔器失效。

举升系统对高含水、高腐蚀介质的适应能力差。随着含水的上升,杆管偏磨问题日趋严重,杆断、管漏井居高不下。据统计,胜坨油田杆管偏磨井数由2001年的476口上升到2003年的712口,占总作业维护井的62.4%。造成杆管偏磨的主要原因,一是胜坨油田产出液介质逐年变差,加速了杆管腐蚀、偏磨,高效生产时间缩短,目前全油田90%以上的油井不同程度地存在出砂现象,综合含水高达94.5%,矿化度高达13 000~25 000 mg/L。二是由于挖掘潜力油层的供液能力变差,泵挂深度逐年变深。三是近年来成本紧张,杆管严重投入不足,年均欠账约 10×10^4 m,为节约成本而造成杆管投入不优化、不科学,大量使用超期服役修复抽油杆,致使在用抽油杆技术状况严重恶化,作业频繁。四是由于对杆管偏磨成因与机理认识深度不够,尽管工艺对策比较多,但效果不明显;另外,抽油泵对高含水、高腐蚀介质的适应能力差。

八、设备设施老化严重,影响油田的正常生产

胜坨油田的集油和注水管网大部分是“七五”期间建成的,随着开发形势的变化和边远新区块的开发,输送液量比基础集油管网结构部署时大幅度增加,增幅为29.14%。有28.2%的管线流速超过0.8 m/s,导致产出液在输送过程中能量损失较大。经过多年的运行,总体投入不足,管网老化腐蚀严重,穿孔频繁。2003年注水系统穿孔5次以上的干线共112条,占干线总数的57.4%,更严重的是管线突然爆裂现象普遍,造成了极大的直接经济损失。集油管网因老化穿孔,年平均影响产量约 2.5×10^4 t。

在地面设备方面,目前注采系统设备的新度系数为0.42,与部级标准0.65相差0.23。特别是主要设备的新度系数低于平均水平,抽油机基本上是老式普通抽油机,新度系数只有0.33,1990年以前在用抽油机872台,占61.7%。高能耗、低效率,运行不安全因素增多,曲柄

销断裂、底盘断裂现象时有发生。目前在装的注水泵的新度系数只有 0.23,特别是电机老化极为严重,投产 14 年以上的电机就有 17 台,占全部电机的 41.5%。75% 以上的电机为普通异步电机,电机负载率仅为 20.8%;在用的电机控制柜 80% 以上为普通控制柜,只有启动和过流保护功能,功率因数低,致使电机的工作效率较低,不安全因素增多。

第二节 油田开发后期储层精细表征的内容及技术要求

油田进入高含水期以后,地下油水关系复杂,剩余油分布零散,挖潜难度越来越大,该阶段的油藏描述以提高油田最终采收率为根本目的,要求在建立精细三维地质模型的基础上,精细认识剩余油的分布规律和特点,提出可操作性的措施和方案,因此,该阶段的油藏描述称为精细油藏描述。具体地讲,精细油藏描述就是以挖潜难度大的开发单元为研究对象,以建立精细三维地质模型为基础,以揭示剩余油的空间分布规律为重点,以确定挖潜、提高采收率措施为最终目标所进行的油藏多学科的综合研究,是集地质、测井、数值模拟、油藏工程多学科为一体的系统工程。

一、精细油藏描述的研究内容和关键技术

精细油藏描述以建立精细三维油藏地质模型为目标,研究内容可概括为建立五个模型——地层模型、构造模型、储层模型、流体模型和油藏模型。

地层模型是精细油藏描述的重点,应用精细小层逐级统层对比技术,以层序地层学为对比理论,确定正确的对比模式,选取可靠的对比标志,采用时间单元或单砂体作为对比单元,利用高分辨率测井曲线,实施由点到线、由线到面的全区统层对比。重点开展流动单元的划分与对比及流动单元空间结构的研究,建立以流动单元为重点的地层模型。

构造模型除研究区域构造背景、构造发育史、断裂组合、断块划分、构造特征、砂层组顶面构造等内容外,重点要突出四个精细研究,即:井斜校正和补心海拔校正,用断点数据和三维地震资料编制断面等深图,断层线的平面位置用断面图与分层构造线交会确定,开展以微型构造研究为主的微地质界面研究。精细构造研究主要应用构造演化模拟技术、断层精细解释及封堵性评价技术和精细微构造研究技术。建立精细构造模型要求表现出构造幅度小于 5 m、面积小于 0.1 km^2 的构造,要求表现出断距小于 5 m、断层长度小于 100 m 的断层。

储层模型是精细油藏描述中最重要的模型,研究内容最为丰富,包括储层从宏观到微观、从定性到定量的全过程描述。主要包括沉积相研究、成岩作用研究、裂缝研究、储层参数研究、隔层和夹层研究以及储层综合评价等内容。整装构造油藏面积大,构造简单,油层多,厚度大,沉积相、储层的非均质性对该类油藏的剩余油分布起重要的控制作用,因此,在精细研究沉积相的基础上,重点研究砂体的分布规模、隔夹层的分布特点及连续性、层内韵律性、层间层内非均质系数。储层模型研究的关键技术包括:沉积微相研究技术、精细多井评价解释技术、储层非均质描述技术、井间储层参数预测技术和精细建模技术。

流体模型的研究内容主要包括原始含油饱和度解释、残余油饱和度解释、流体性质在平面和纵向上的分布及其在开发过程中的变化规律。研究的关键技术为水淹层识别及解释技术。

油藏模型是在地层、构造、储层、流体四个模型单一研究的基础上,对油藏全貌的整体概括和综合性描述,研究内容包括确定油藏类型、进行储量计算和油层评价。

二、剩余油分布研究的主要内容和技術

剩余油分布研究是高含水期精细油藏描述的根本目的和落脚点,弄清注水开发油藏剩余油分布规律和特点,不仅可以综合评价油田注水开发效果、指导新井精细挖潜和老井综合治理、调整注采井网和开发层系,而且对注水开发油藏筛选新的提高采收率方法、选择三采实验区、评价三次采油的开发效果和经济效益都具有十分重要的意义。

剩余油分布研究分为开发状况分析、剩余油分布研究、提高采收率的挖潜措施和方案、开发效果预测及经济评价等四个方面。开发状况分析要总结油田开发历程、分析油田的开发现状;剩余油分布研究可以概括为应用地质综合分析、水淹层测井解释、精细油藏数值模拟和油藏工程综合分析等四项技术,搞清剩余油在层间、平面、层内的分布及其控制因素;提高采收率的挖潜措施和方案主要包括新井精细挖潜和老井综合治理两方面,针对不同油田,还可采取防砂、热采、三采等具体措施;开发效果预测及经济评价是根据挖潜措施和方案进行数值模拟预测,预测出增加的可采储量和采收率的提高程度,并进行经济评价,确定可实施的措施和方案。

国内外都十分重视发展剩余油饱和度的测定和监测技术。国外确定剩余油饱和度的测量技术可分为单井剩余油饱和度测量、井间测量、物质平衡法。单井剩余油饱和度测量包括岩心分析、示踪剂测试、测井、单井不稳定测试;井间测量包括电阻率法、井间示踪剂测试。美国和前苏联等国家非常重视油田开发后期的剩余油分布研究。目前,在剩余油的形成与分布研究中,主要应用的技术有岩心分析法、开发地质学方法、水淹层测井解释、地震、油藏工程、数值模拟、流线模型、生产测井及测试分析方法等。

岩心分析法是惟一能够直接测量油藏岩性和流动特性的方法,目前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。我国的密闭取心只能密闭,不能保持地层压力;而国外最常用的压力取心既能密闭又能保压,是一种非常有效的工具。常用的取心方法有常规取心、密闭取心、压力取心、海绵取心和橡皮套取心等。

开发地质学方法主要是从研究储层的宏观非均质性入手,动静结合,分析剩余油的空间分布。应用开发地质学方法预测剩余油分布的核心内容是通过油藏地质精细研究,揭示油藏非均质性及其对剩余油分布的控制作用。研究表明,由沉积、构造、流体性质等因素引起的储层平面、层间、层内及微观非均质性对开发效果和剩余油分布有显著影响;沉积特征、沉积层序、储层非均质性与油层水洗厚度、水洗强度及体积之间存在一定的关系,国内不少学者对其进行了深入研究,主要研究方法有断层分析法、微构造分析法、测井二次解释法、成藏规律预测法等。

测井是获取可靠的剩余油饱和度剖面使用最广泛的方法。根据井眼条件,确定剩余油分布的测井技术包括裸眼井和套管井测井。在水驱油田裸眼井中,一般用常规测井方法与非常规测井方法探测产层的剩余油饱和度。双感应(或双侧向)测井、微球形聚焦测井、中子测井、密度测井、声波测井、自然电位测井、自然伽马测井和井径测井等常规测井方法在水驱油田裸眼井中占有重要的地位,也是探测剩余油饱和度的基本测井系列。介电测井、人工电位测井、电缆式地层测试器测井等非常规测井方法配合常规测井方法使用,可以提高裸眼井剩余油饱和度的探测精度。国内外主要使用碳氧比(C/O)能谱和热中子寿命两种核测井方法,在水驱油田套管井中探测产层剩余油饱和度。我国大多数水驱油田的地层水矿化度都比较低,碳氧比能谱测井方法的应用前景比热中子寿命测井方法更广阔。

水淹层测井解释是近年来国内各大油田发展起来的一种研究剩余油饱和度的新方法。它主要是通过建立储层参数测井精细解释模型,进行多井处理,对油藏孔、渗、饱等十项参数进行每米8个点的精细解释,为储层模型建立和数值模拟计算提供参数。测井曲线高分辨率反演、厚度细分和薄层解释技术包括沃尔什函数法、小波分析法和双侧向电阻率测井资料的高分辨率处理。

在解决剩余油分布问题中,常用的地震方法有地震反向波法、垂直地震剖面法(VSP)和井间地震法。井间地震法在解决剩余油分布问题上能够发挥极重要的作用,是美国能源部推荐的首选方法。其作用主要体现在两个方面:一是借助开采油田的有效井网,进行精细油藏描述,确定储层非均质性及其对流体特性的影响,优化已有的储层模型,为加密钻井设计提供依据;二是在开采过程中对增产措施实时监测,确定波及效果,及时修改实施计划。除此之外,井间地震法还可以在开采完毕的老油区内直接寻找漏失的隐蔽圈闭。

应用油藏工程方法确定剩余油分布,主要包括单井化学示踪剂法、井间示踪剂法、不稳定压力试井、油藏数值模拟和物质平衡计算等方法。国外单井示踪剂测试方法在理论上和实践上均已基本成熟,此法的现场施工和结果解释技术近年来得到了很大发展,已能用于各种复杂地层,应用前景良好,在我国有必要进行研究和推广。胜利油田在近年的研究中,对油藏工程计算方法进行了深入研究,提出了几种定量计算剩余油饱和度的方法,包括渗饱曲线法、水驱特征曲线法、无因次注入采出法、物质平衡法、水线推进速度法等。

流线模型技术开始提出和应用于剩余油研究是在20世纪90年代,是除数值模拟之外研究井间剩余油的一种新方法,它具有允许节点多、运算速度快、研究周期短的特点。运用流线模型的目的是便于现场推广应用,弥补大型数值模拟须借助计算机工作站而导致的不足,在微机上实现剩余油分布规律的研究。

油藏数值模拟技术在近几年获得了飞速发展。它是通过精细的油藏历史拟合,重现油藏过去的开发历史,展示剩余油饱和度的分布规律,并以此为基础预测油田的未来,制定最佳的开发方案或调整方案,获得最佳效益。相比之下,数值模拟研究剩余油提供的是油藏整体解决方案,能够实现全方位动态描述和预测油藏,是研究剩余油最有效的工具和手段。

第二章 特高含水期油藏地质建模

第一节 地层模型

地层模型是精细油藏描述的基础。地层划分的细致程度、对比的可靠程度是油藏描述成败的关键。胜坨油田二区沙二段已开发 30 多年,1-2 砂层组已进入特高含水期开发阶段,如何深入挖潜、改善开发效果、进一步提高采收率,是目前面临的一个关键问题。因此,该阶段的地层划分与对比具有更高、更严的要求。

一、小层精细对比的基础理论和方法

小层精细对比与划分是建立地层模型的关键环节。小层精细对比与划分是以层序地层学的理论为依据,以地层对比之前初步确定的沉积相概念模型做宏观控制,在强调“等时对比”的前提下确定相应的对比方法。如重力流沉积通常采用“平对”方法进行对比,而河流沉积通常采用“等高程”对比方法。

1. 地层沉积相概念模型的建立

精细对比的目的就是要合理地划分沉积时间单元。所谓沉积时间单元,系指在相同沉积环境下的物理作用、生物作用所形成的同时沉积。一个沉积时间单元应当是一个一次连续沉积的单砂层。因此,要合理地细分沉积时间单元,必须根据胜二区沙二段 1-2 砂层组的沉积相类型确定合理的对比方法。

本次工作充分利用取心井和测井资料进行精细地质研究,重点是细分沉积时间单元,应用井间等时对比把各个井中同时沉积的地层单元逐级细分,并通过对比将其连接起来。

在精细对比的基础上,应用近代沉积研究理论,开展多种相标志的综合分析,遵循相的共生组合关系,对各个沉积时间单元进行沉积微相划分及特征研究,从而建立沉积相模式。

胜坨油田二区沙二段 2 砂层组为河流相沉积。河流相沉积具有沉积环境变化快的特点,河流侧向摆动与下切常常导致砂层厚度与岩性有较大的变化。胜二区沙二段 1 砂层组以滨浅湖的滩坝相沉积为主,其砂泥岩互层相对稳定。因此,进行小层或沉积时间单元精细对比,必须充分考虑沉积的条件,否则将会导致对比结果有穿时现象,尤其要注意厚砂层的劈分,厚砂层可能是一次成因也可能是多次重叠,其内部的粒度序列将会有很大的区别,而这种差别将直接影响油水在油层内的运动。因此,对于厚度变化快、连续性差等不稳定沉积环境下形成的油层,如何进行划分直接关系到油田合理开发的问题。

2. 对比标志

小层的精细对比和沉积时间的划分,必须建立在正确的油层对比基础之上。无论何种沉积相类型,何种对比方法,标志层的选择都是极为重要的。标志层就是标志明显、分布稳定、同一时间沉积的特殊岩性层段。没有标志层的对比是十分危险的。如图 2-1 所示,胜二区沙二

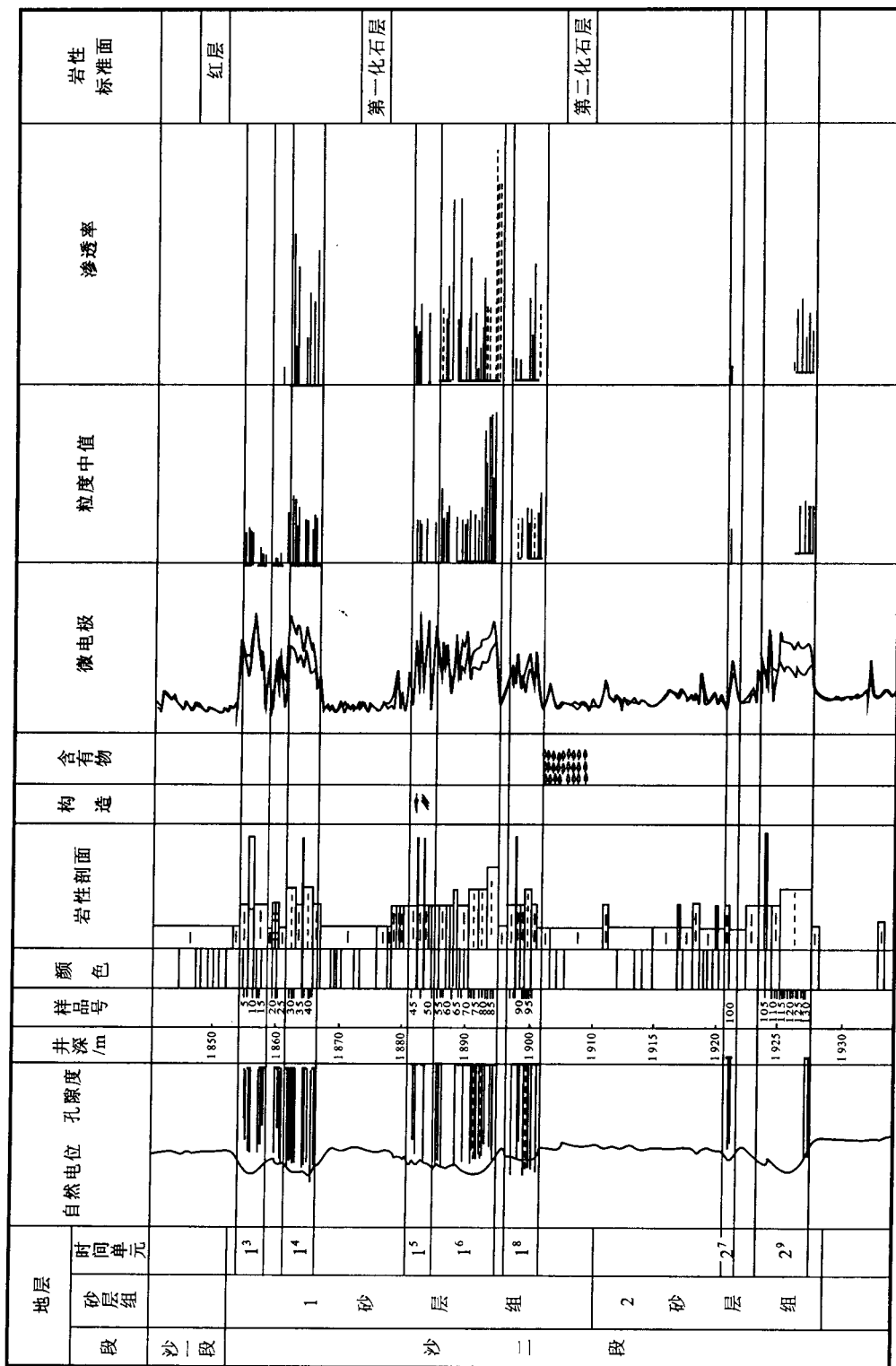


图2-1 胜二区沙二段1-2砂层组标准层分布