

江苏油田高勘探区复杂断块 油藏的滚动勘探开发

张人玲

(中国石化国际石油勘探开发公司, 北京 100083)

摘要: 江苏油田地表水系发达, 地下断块油藏错综复杂, 属于典型的断块小油气藏发育区。油藏类型复杂、规模小, 非均质性强、工作难度大。复杂的地质条件和地面施工条件导致勘探与开发阶段无法明确区分, 有利于实施滚动勘探开发这一方法。江苏油田在滚动勘探开发中, 将勘探任务与开发部署紧密结合, 按照滚动勘探、滚动评价、滚动开发的工作程序来统筹安排和部署油气勘探开发研究与生产工作。滚动勘探开发工作中的关键技术与主要方法包括三维构造精细解释与早期油藏评价、关键井实施与重新评价、多学科紧密结合与概念设计、方案论证与方案优化等内容。江苏油田通过实施滚动勘探开发, 不仅发展和形成了许多关键技术, 也取得了可观的经济效益, 储量、产能增长幅度高于“八·五”以前任何发展时期。确实体现了勘探开发一体化, 增储上产一体化, 勘探开发综合效益一体化。

关键词: 江苏油田; 滚动勘探开发; 工作程序; 关键技术; 实施效果

作者简介: 张人玲, 女, 47岁, 高级工程师(硕士), 油气田开发与管理

中图分类号: TE122

文献标识码: A

江苏油田目前勘探开发的主战场为苏北盆地第三系, 区域构造位置在苏北—南黄海盆地的西部陆上部分。盆地地质边界西以郯庐断裂为界, 西北为淮阴—响水断裂与鲁苏隆起相邻, 南为沿江复杂断裂带与苏南隆起相隔, 东临黄海。盆地内部结构为两拗一隆, 包含了11个凹陷、7个凸起和5个低凸起。

1 必要性

1.1 石油地质条件

苏北盆地成盆期始于晚白垩世, 构造运动事件频繁, 导致第三系油气藏石油地质条件复杂。其中始新世晚期和渐新世13.4 Ma的沉积间断发生在各深凹进入生烃高峰期前, 沉降作用的停滞和较长的冷却过程及第三纪至第四纪沉降幅度较小这一特殊的构造演化史和热历史, 导致盆地大面积的生油岩系生烃时间晚、成熟度低, 油气资源丰度低。油气成藏后频繁的构造事件破坏了原已形成的油藏, 使得油气不断运移并重新分配, 从而造成圈闭充满程度低, 油田规模小, 纵向上和平面上油气分散等特点。盆地中的高邮和金湖两个相

对富油凹陷的生油强度和资源丰度与东部油区其他盆地相比有数倍或数十倍之差。

1.2 油藏开发条件

独特的地质特征决定了复杂的油藏特征。该区油藏类型多、聚集规模小、含油带狭窄、多油层多油水系统、油藏非均质性强、块间层间含油贫富差异大, 绝大多数油藏的自然能量低、相当数量的开发单元难于完善注采井网, 从而导致在油田开发过程中具有以下生产特征: (1) 油井单层生产产量递减快, (2) 开发单元加密调整余地小, (3) 断块稳产和提高采收率难度大, (4) 产量接替主要以块间接替、滚动扩边、层间层系接替为主。

以该区最大的油田——ZW油田为例, 其主要生产层为三垛和戴南组(E_{2s} , E_{2d}), 叠合含油面积 6.0 km^2 , 由3个断块区、17个断块和井区以及203个单砂体组成, 单砂体含油面积 $0.01 \sim 0.9 \text{ km}^2$, 储量范围 $0.1 \times 10^4 \sim 258 \times 10^4 \text{ t}$ 。又如CB油田, 其中的C3断块为一被同生大断层切割而形成的反向断鼻圈闭。纵向上共有4套含油层组、9个砂层组和52个油砂体, 含油段大于400 m, 单个油砂体含油面积介于 $0.01 \sim 0.82 \text{ km}^2$, 含油带宽度仅为100~540 m, 叠合含油面积 1.7 km^2 。

1.3 地面工程条件

江苏油区位于江苏省东北部江淮平原,以京杭运河为界,东为里下河平原,其地势低平,海拔高度为 $-3\sim 5\text{ m}$;西为运西湖区平原,海拔高度 $6\sim 8\text{ m}$,其东缘低凹处,串联地分布着白马湖、宝应湖、高邮湖、邵伯湖等数个大小湖泊。白马湖向西与洪泽湖、成子湖相接。这里人口村镇密集,湖泊鱼塘星罗棋布,河流水渠纵横交错,是苏北典型的水乡地带,也是环境保护极为敏感的地区。在享誉鱼米之乡的同时,也给勘探开发的地面施工带来了很大困难。每年的雨季和泄洪期就有一些油田淹没在水中无法施工,困难的地面施工条件和严格的环境保护为野外实施二、三维地震、钻井、试油、新区产能建设和老区稳产等地面工作带来了很大困难。

江苏油区复杂的石油地质条件决定了对本区油气分布与富集特征的认识不可能一次完成,其油藏开发条件和复杂的地面施工条件又决定了仅仅依靠已开发油田无法稳产,因此,滚动勘探开发是苏北油区提高勘探开发综合效益、高速高效增储上产的必由之路。

2 阶段划分

滚动勘探开发是江苏复杂小油区的主要工作方法。所谓滚动勘探开发(也称勘探开发一体化)是指:一个二级构造带或三级构造发现井获得经济价值的工业油流后,把勘探和开发的研究工作及具体实施计划进行统筹安排与部署,按科学的工作程序,采用多学科综合研究、多系统协同工作的方法进行勘探开发工作的方式,包括了滚动勘探、滚动评价和滚动开发3大工作阶段。

2.1 滚动勘探阶段

重点是抓好区带和圈闭综合评价、优选滚动勘探目标和实施钻探。当获得工业油流后,开发工作迅速向前延伸,并结合勘探工作在探井上做好各项资料的录取工作,从而展开进一步的勘探评价和寻找新圈闭的工作。以MTZ构造为例,它位于高邮凹陷北斜坡的西部,被一系列近EW向或近NE向断层切割而形成的一个堑式背斜,构造面积 70 km^2 。通过对该区石油地质条件的反复研究与认识,结合二维地震资料的精细解释和特殊处理,优选构造南翼未受火成岩侵入的圈闭部署并钻探了Z2井,获得 18.1 t/d 的高产油流,从而在高

邮凹陷北斜坡取得了突破性进展。为了搞好该区的滚动勘探开发,勘探开发相互配合共同做了以下工作:①部署和实施了近 70 km^2 三维地震;②系统采样,进行岩芯描述及地质、开发样品分析;③编制和实施试采方案,根据试采资料求取油藏参数,判断断层及油水界面位置;④组成由物探、地质、测井、油藏等多学科研究组开展早期油藏评价工作。

2.2 滚动评价阶段

勘探开发紧密结合,通过多学科协同工作、相互渗透来共同研究认识油藏,并从以勘探为主开发协助逐步过渡为以开发为主勘探协助的方式开展早期油藏描述或评价工作。开发工作的重点是抓好关键井的确定和实施、早期油藏评价、4个概念设计编制和经济评价工作。与此同时,继续开展勘探工作以寻找新的含油圈闭及钻探目标。

MTZ油田Z2断块的早期油藏描述是在发现井——Z2井的资料基础上,结合 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 的二维测网进行的。开展了高分辨保幅处理、无井Log特殊处理、构造精细解释、单井相分析、沉积微相预测、储层横向预测、断层侧向封堵、含油边界预测、控制储量计算等方面的研究工作。在此基础上部署和实施了3口滚动开发井。然后利用三维地震资料和新钻井资料再次进行层位精细标定、构造精细解释、储层展布特征、渗流物理特征、试油试采特征、裂缝分布及对产能和注入液的潜在影响等研究,补充早期油藏描述成果,达到进一步认识和评价油藏的目的。依据对油藏的新认识进行早期油藏工程研究,从经济效益和开发效果两方面初步研究确定其开发方式、开发层系、布井方式、合理井距、单井及油田产能等。在整体部署注采井网条件下,慎重确定和优先实施了4口关键井,提出滚动实施建议,完成油藏概念设计编制。依据油藏概念设计,钻井、采油、地面工程根据油藏特点和地面施工条件,编制完成了以保护油气层、丛式井组设计、优选射孔参数、原油集输方式等为重点内容的相应的概念设计和经济评价工作。通过上述工作,在Z2断块钻井32口,成功率100%,建成年产能 $10\times 10^4\text{ t}$,当年产油 $8.3\times 10^4\text{ t}$ 。

2.3 滚动开发阶段

把构造的精细解释与钻后反馈贯穿于滚动开发的全过程,重点做好滚动调整、滚动实施开发概念设计和探明储量计算、编制与实施开发方案工

作,完成产能建设任务。通过勘探协助开发,完成一些三维地震资料的特殊处理和精细处理,依据新的钻探成果适时向开发提交新的含油圈闭。

在CA油田的W2断块,由于地处水网地带加之西翼受多次波的干扰,地震资料品质差,尽管在编制滚动开发概念设计时已先期实施了W2-1, 2-2, 2-3, 2-6等4口关键井,但该构造及断层的组合仍存在多解性。考虑到构造的不确定性,在暂时按一套层系整体部署井网条件下又精选了4口井优先实施。实施后发现构造东翼地层产状变缓,构造西翼断层复杂化且地层产状变陡,同时断层西翼向南偏移,断层趋于近EW向的平直伸展等问题,在构造高部位又钻探发现了 E_{f1}^4 砂层组含油,油层总厚度在高部位可达60 m,平均单井控制储量大于 30×10^4 t,地质储量重新计算增加近 100×10^4 t。据此,重新进行了层系和井网调整,按两套层系开发,对第一套井网进行局部调整,又部署了第二套井网,设计年产能能力 9×10^4 t。同时,钻井、地面工程也依据新的变化进行调整。在W2断块滚动开发过程中,共进行了5轮次大的构造重新解释和多轮次的钻后反馈。针对该块具有低-特低渗、裂缝等特征,开展了油藏精细描述、计算探明储量、编制并实施开发方案及动态监测方案工作,实施注采同步、温和注水,仅用7个月就建成了年产油 11×10^4 t的规模,滚动开发井成功率为97.72%。通过滚动钻探,为后期开发提供了W5, W6, W8块等新的含油圈闭,准备了新的储量和产量接替区块。

3 关键技术和具体做法

在滚动勘探、滚动评价、滚动开发这3个阶段工作中,重点工作内容各不相同,但各阶段紧密相关。本着程序不可超越、节奏可以加快的原则,部分工作进行交叉作业以利于实现增储上产一体化和勘探开发效益优选一体化。江苏复杂断块油藏滚动勘探开发中的关键技术与具体做法主要包括三维构造精细解释与早期油藏评价、关键井实施与重新评价、多学科紧密结合与概念设计、反复论证与方案优化等内容。

3.1 三维地震精细处理、解释一体化技术及早期油藏评价

CB油田区中,多期构造运动导致的断裂多期活动、断裂复杂多变、构造破碎和火成岩多期喷

发,加之复杂的地表条件,造成了地震反射的屏蔽、多次波干扰以及低速变化剧烈等。针对这一特点,在第一轮资料处理中,把断裂的正确成像和地表的一次性正确补偿作为在地震资料处理中的关键。但是由于区域性同生大断层断距自西向东变化大,上升盘、断阶带、下降盘之间地层厚度差异大,在速度使用方面不好控制,造成上升盘速度偏小,导致断层偏移归位量不够。在钻滚动开发关键井时,发现C3断块控油断层地震解释位置与实钻位置差异较大。为保持滚动开发的顺利进行,解释人员与处理人员一起论证重新处理的关键。在充分应用已钻井资料的情况下,对该区资料进行了二次精细处理。并采用相干体不连续断层解释技术提取断层和地层的不连续变化信息,确定断点位置及断层的延伸方向;应用多参数层位及断层识别技术从地震剖面中沿解释层位提取各种参数;利用速度分析研究技术(运用Indepth软件对资料的叠加速度进行了分析),找出了大断层两侧纵向上的变化规律,建立处理成像时的速度模型。根据特征系数判别地层的连续性或断点——即根据不同构造单元(上升盘、断阶带、下降盘)选择不同速度重新进行断层偏移归位等专项技术处理,使处理效果大为改善,大大提高了构造解释精度。在此基础上,开展早期油藏评价工作,使此后的滚动开发井实钻与设计符合率大为提高。

3.2 关键井实施与重新评价

精心做好井位设计,认真选择和实施关键井,坚持随钻分析和钻后反馈,不断重新认识、评价油藏,并依据新的认识滚动调整概念设计。其中对关键井的选井原则为能落实构造、断层、油水边界并能担负层系试油试采、补取岩芯等任务。在CB油田的滚动勘探开发中,依据上述原则选择了C3-1, 3-3, 3-17井作为C3断块的关键井,选择C2-3作为C2块的关键井。实施钻探后发现:①大断层位置与设计差异大,断层应向北推,该块原部署在高部位的井均在构造腰部;②陈3块 K_2t_1 具有统一的油水界面, E_{f1}^4 4个砂层组有各自的油水系统,同时在高部位发现 K_2c 新的含油层系(江苏首次发现 K_2c 油层);③陈2块 E_{f3} 关键井C2-12, C2-6钻探成功后,该区首次发现 E_{f3}^1 , E_{f3}^2 油层和周9断块。解释后发现 E_{f3} 油藏是一为断层所夹持的楔状体,且断层断面非常平缓

(图1), 断块面积窄长。陈2块断层也要外推并相应拉平, E_{1f1}^1 地层产状变缓。根据新获得的关键井资料和试油试采资料, 通过第2、3轮次的构造精细解释和对该油田进一步深化认识和研究, 认为对原概念设计应做相应调整: ①C3断层向北外推150~180 m, C2断层向东外推约40 m, 且断层东翼拉平; ②C2、C3块 E_{1f1} 、 K_2t_1 井网重新调整, 增加

井数, 同时针对C2块 E_{1f3} 新发现油层部署新的关键井; ③由于产能增加, 钻井、采油、地面工程也进行相应调整。在滚动勘探开发实施过程中, 依据实钻资料进行了10多轮次大的构造精细解释, 每口井都及时进行钻后反馈, 依据变化进行适当调整, 部署钻井成功率达到98.5%, 新增可采储量逾 500×10^4 t。

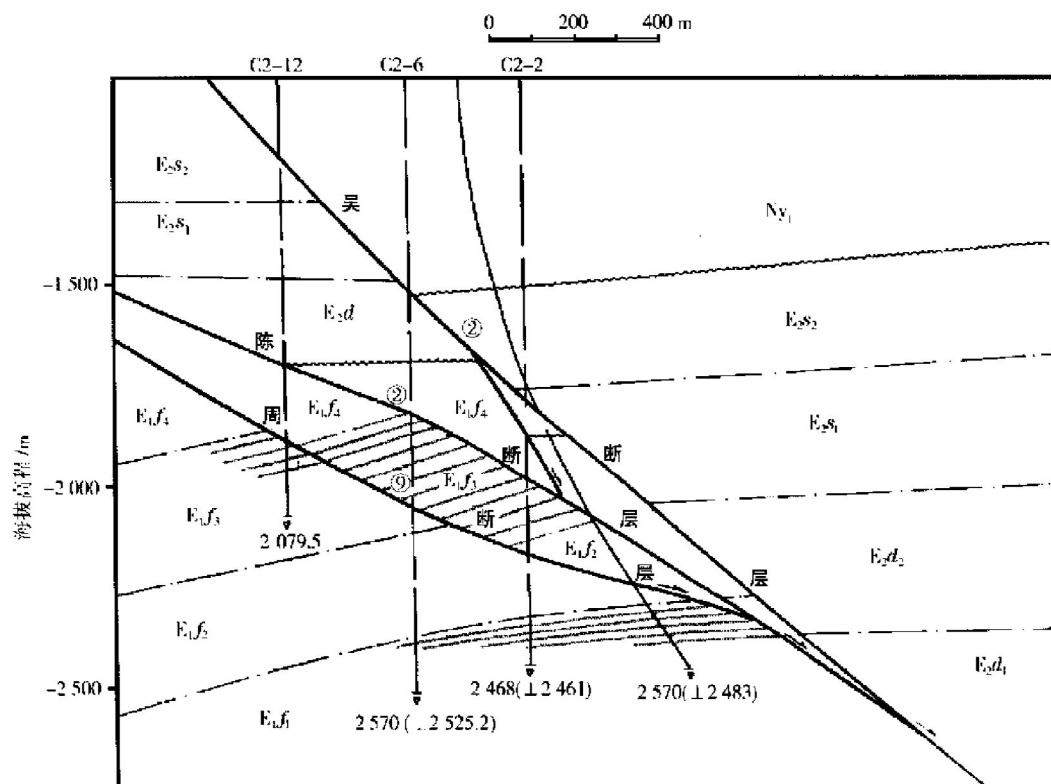


图1 C2断块油藏剖面示意图

Fig. 1 Schematic section of C2 fault-block oil reservoir

3.3 多学科协同

物探、地质、油藏工程、测井、钻井、采油、地面工程等多学科紧密结合编制油藏工程、钻井工程、采油工程、油气集输工程等4个概念设计——开发概念设计。在4个概念设计(或方案)中, 油藏概念设计(或方案)是基础和核心。为搞好油藏概念设计, 尽量使其接近于油藏实际, 在编制每一个油藏概念设计时, 都需要尽量应用早期油藏描述和油藏评价技术中所能应用的技术和方法, 物探、地质、测井、油藏、实验、经济评价多专业紧密结合, 共同完成早期油藏描述和早期油藏工程研究及评价工作。在编制油藏概念设计(或方案)的同时, 钻井、采油、地面工程等专业人员经常定期了解油藏方面研究情况, 开展道路、管网、电路、井站

站址、输油码头等勘查前期工作。油藏概念设计(或方案)论证通过后, 立即着手编制钻井、采油、地面工程概念设计(或方案)。在满足油藏方案的前提下, 兼顾考虑钻井、采油、地面工程设计方案、采油厂管理等方面的实施难度和经济效益, 油藏、钻井、采油、地面工程等多学科研究人员和采油厂等部门管理人员一起研究和确定既能满足地质要求又能兼顾地面条件并便于采油厂管理的钻井、采油、地面工程设计方案, 优选最佳方案。在编制CB油田概念设计和滚动调整方案时, 由于油藏含油面积小, 井网密, 要求中靶范围不大于20 m, 就采用了这种方式确定了钻井丛式井井组、道桥、管网、电网、计量站点、输油码头等最佳组合设计, 解决了地面集中集输管理问题, 大大节约了地面建

设投资,减少了后期管理难度。

3.4 策划论证与方案优化

组织专家从技术和经济效益上科学论证、审核概念设计和滚动调整方案,各学科专业人员相互交流、统一认识,在满足地质要求的前提下,反复论证并优化实施方案。以GJ油田为例,在分别完成4个概念设计后,各学科人员进行了充分讨论和交流,认为GJ油田地理环境特殊,施工难度大,环保要求高,因此要求地质、工程、设计、钻井、泥浆等专业技术人员结合,根据地质、地理条件制定出最佳的丛式井井组实施计划,在修改完善概念设计后,又组织了第二次论证会,提出了详尽的实施方案,在保证取全取准资料的前提下,尽量缩短工期,节约经费。该油田于1996年全面投产,建成年产能 10×10^4 t以上,钻井成功率达到100%。

4 效益

通过滚动勘探开发的实施,江苏油田发展和形成了三维综合勘探技术、早期油藏描述技术、油藏综合评价技术、定向井丛式井钻井技术、油气层

保护技术、采油工艺和地面工程的一些专项技术。前3项技术的发展与应用大大提高了对油藏认识的准确性和滚动方案编制与实施的适应性,后4项技术的应用不仅降低了地面工程投资费用和施工周期,还大幅度提高了开发水平和经济效益。

滚动勘探开发的实施为江苏油田带来了重大的勘探开发意义:(1)探井成功率大幅度提高,提高了10%以上;(2)探明储量大幅度增长,每米探井进尺探明储量比“八·五”初提高了6倍多;(3)加快了储量向经济储量、经济可采储量的转换,缩短了勘探评价周期、产能建设周期和投资回收期,产能建设周期由原来的3~4年缩短至目前1年左右;(4)“八·五”以来投入开发油田13个,提交的探明储量、可采储量、新建产能增长幅度高于“八·五”以前任何发展时期。

这些成果的取得带来了巨大的经济效益:(1)在物价大幅度增长条件下,勘探成本基本保持不变;(2)百万吨产能建设综合投资降至行业标准之下;(3)投入开发的油田动态投资回收期均在6年以下。

SIMULTANEOUS EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF COMPLEX FAULT-BLOCK OIL RESERVOIRS IN SUBEI OILFIELD

Zhang Renling

(International Company of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing)

Abstract: Both the surface drainage and subsurface fault-block oil reservoirs in Subei (northern Jiangsu) oilfield are very complicated. The oilfield is typically composed of small, complex, and heterogeneous reservoirs. Exploration and development stages cannot be distinctly separated, due to the complicated geological and surface conditions. Therefore, a simultaneous exploration and development method has been introduced in this paper, i. e. the exploration be combined with the development, or a comprehensive arrangement should be made for the exploration and development research work and production, so that exploitation and evaluation can be done while exploring the oil reservoirs. The key techniques and methods include detailed 3D seismic interpretation early assessment of oil reservoirs, drilling and appraising of the key wells, closely combining multiple disciplines, conceptual designing, and programme demonstration and optimization. Implementing the simultaneous exploration and development method in Subei oilfield, many key techniques have been developed; at the same time, significant economic returns have also been achieved. As a result, both the increments of reserves and productivity are higher than any other periods before the “Eighth Five-Year Plan”.

Key words: Subei oilfield; simultaneous exploration and development; procedure; key techniques; enforcement result