

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

任丘雾迷山组油藏 控注降压开采的理论与实验研究

黄代国 申友青

(华北石油管理局勘探开发研究院)

1994年9月 北京

任丘雾迷山组油藏

控注降压开采的理论实验研究

摘 要

本文阐述了华北地区任丘雾迷山组油藏控注降压开采的初步的理论和矿场实验研究结果,并对该油藏进一步实施降压开采的可能效果进行了数值模拟预测和方案优选。

引 言

理论研究和矿场实践结果表明^[1~3],对严重不均质的油藏实施不稳定注水采油方法,可以降低含水率、增加采油量、改善油藏的注水开发效果,提高最终采收率。这种采油方法基本是在已有的注采系统上进行,不需要追加投资,工艺上易行,技术上有效,经济效益明显。

任丘油田雾迷山组裂缝性碳酸盐岩油藏大多数油井已处于高含水采油期。该油藏前期均采用油藏底部注水保持地层压力的方法开采,目前仍保持较高的地层压力。但是,高渗透的缝洞系统已严重水淹,在常规的稳定注水条件下,注入水利用率很低,每产1t原油的耗水量高达6.0m³。低渗透岩块内的原油难以用常规注水方法采出来。为了提高该油藏的水驱波及程度,改善注水开发效果,于1991年8月开始在该油藏开展控注降压开采试验,至今获得了明显的效果。稳定了油藏综合含水率,增加了产油量,减缓了油藏的产量递减速度。同时对该油藏的控注或全面停注降压开采的效果进行了室内试验和数值模拟研究,为实施全面停注降压开采,提供了理论指导。本文提供的是不稳定注水采油的若干理论和实验研究的初步结果。

不稳定注水采油方法 的增产作用机理

就裂缝性碳酸盐岩油藏而言,不稳定注水采

油的增产作用的实质就是发挥高渗透缝洞系统作为供水和油流通道的有利因素,利用岩石和流体的弹性力和毛管力作用,促使部分原油从低渗透岩体中排入裂缝系统,从而在一定程度上克服常规稳定注水采油过程中高渗透裂缝的水窜现象,扩大注入水在含油岩体的波及体积,提高采收率。完整的不稳定注水采油过程通常包括高速注水恢复地层压力和消耗地层压力采油两个阶段,周期性地地进行。其增产作用机理是:

(1)高速注水升压期间,在含水裂缝系统与含油岩体之间产生一附加的流动压力梯度,促使注入水进入低渗透含油岩体驱出其中的部分剩余油,同时也强化岩体的毛管自吸排油速度和深度;

(2)高速注水升压期间,注入水压驱原油挤入含油岩体中,储存了弹性驱油能量,在消耗压力采油过程中,由于渗流通道中毛管力的滞留作用,部分水被滞留下来,替换了岩体中少量的剩余油进入裂缝通道并流向井底;

(3)在消耗压力采油期间,由于地层压力下降,使含油孔隙或缝洞受压缩和原油膨胀,即靠弹性力排出部分剩余油。

控注(或停注)降压开采过程,实际上是对常规注水时压力水平保持较高的油藏,实施不稳定注水采油方案的第一阶段,其主要增产作用机理是利用岩石和流体的弹性能量采出部分剩余油。根据对裂缝性碳酸盐岩油藏微观剩余油分布形态的研究表明,实际上在稳定的注水采油过程中,注入水难以波及到多种含剩余油的缝洞孔隙空间,也许只有靠弹性力作用才能采出其中的部分剩余油。然而,单纯的衰竭式开采也许是不完备的,尤其是对边底水活跃的油藏,由于边底水侵入作用

的增加,使地层压力的下降也受到限制。因而,在完成既定的降压作用之后,再恢复地层压力,然后再消耗压力采油,周期性地,其增产作用效果会更好。上述机理已被周期性控注降压开采过程的物理性模拟实验结果所证实。

1992年我们研制成功“地层条件长岩心模型实验系统”,并开始利用这套大型的高温高压油、气、水三相渗流模拟实验装置研究碳酸盐岩油藏不稳定注水采油机理^[1]。全部实验都是在油藏温度和压力下使用油藏流体进行的。实验模型系由孔隙岩块堆集成1.59m、直径9.8cm的典型裂缝——孔隙双重介质模型,模型垂直放置,底端注水,顶端采油。实验(注水采油)过程按如下程序进行:①恒速稳定注水采油至采出物中含水达95%后,结束稳定注水阶段;②注入速度减半,以2MPa/h的速度降压采油,至总压降到预定的数值后,保持低速注水2h,结束降压采油阶段;③恢复原注入速度,以同样的速度升压(2MPa/h),将模型压力恢复至原始压力(30MPa),放置2h

后,结束升压周期,至此结束第一周期的不稳定注水采油过程,然后以同样的方法进行第二、第三周期的不稳定注水采油过程实验。

目前全部实验工作仍在进行之中,我们试图比较系统地研究岩石的物理性质、岩石表面润湿性、原油含气量、压力(或注水量)的波动幅度、升压和降压周期的更换频率、平均注水压力水平和实施不稳定注水采油的时机等因素对不稳定注水采油效果的影响,以期研究实施不稳定注水采油方案的合理的油藏条件和注水采油条件,为设计各种类型的方案提供实验依据。

表1和图1是两个典型的模型实验结果,可以证实上述的不稳定注水采油的增产作用机理。从表1所列数据可以看出:

(1)稳定注水保持高地层压力采油达到高含水期后,采用周期性地控注降压采油方式开采,明显地改善了采油效果,降低了含水性,减少了耗水量,减缓了产油量递减速度,三个周期可累计提高采收率3%左右(见图1)。

表1 不稳定注水采油模型实验典型数据

实验序号	稳定水源 采收率 %	稳定水源 后剩余油量 m	降压幅度 MPa	单位压降采出剩余油量/(%)			累积采收率 增加值 %	单位压降提高 采收率值 %
				第一周期	第二周期	第三周期		
1	48.5	2139.31	4	0.893 (0.46)	0.490 (0.25)	0.272 (0.14)	3.41	0.853
2	44.0	2634.8	2	1.10 (0.62)	0.875 (0.49)	0.616 (0.35)	2.90	1.45

括号内数字表示各周期单位压降增加的采收率值。

(2)周期性控注降压开采过程,后一周期的增产效果一般要比前一周期差。其原因也是显而易见的,一是随岩块内原油饱和度的减少,原油膨胀排油量和注入水滞留替换出的油量也就越来越少;二是岩石孔隙压缩过程的部分不可逆性,使后一周期的岩石孔隙压缩率明显地低于前一周期,因而孔隙压缩排油量将逐周期下降。例如,曾测得任丘雾迷山组两块含微裂缝岩样在原始有效上覆压力下的孔隙压缩率分别为 4.392×10^{-3} L/MPa和 3.692×10^{-3} L/MPa,经一周期降压过程后再恢复到原始有效上覆压力,其孔隙压缩率分别变成 1.925×10^{-3} L/MPa和 1.855×10^{-3} L/MPa,基本上只恢复到前一周期内孔隙压缩率的50%左右。

(3)总压降幅度越高,三个周期后累计采收率

增加值也越多。但是,单位压降的增产幅度在其他条件相同的情况下,还受到模型剩余油量的显著影响。

(4)开始实施控注降压开采时的模型剩余油量越多,单位压降采出剩余油量的比例也就越高。从这个意义上讲,油藏早期开发阶段实施不稳定注水方案,其效果可能会更好些,这值得进一步认真研究。

降压开采矿场实验的初步效果

任丘雾迷山组油藏是以硅质白云岩为主的、具有双重孔隙特征的裂缝孔洞型油藏。于1976年正式投产,1988年6月油藏进入高含水采油阶段。截止1993年9月已采出地质储量的

29.88%,综合含水率已达85.6%。由于油藏非均质性严重,注水量较大,地层压力仍保持在较高的水平上,因而,高渗透率的裂缝系统已严重水淹,油井产量低,注入水的利用率在0.1以下。为了探索用不稳定注水采油方法改善油藏开发效果,自1991年8月起,实施逐步控制注水量,降低地层压力采油的矿场实验。其基本作法是^[6]:

(1)大幅度降低油藏的人工注水量,全油藏日注水量自1991年7月的16096m³逐步减少到1993年9月的3214m³,月注采比相应地从0.76下降到0.17(见图2)。

(2)为控制注入水的流向,对4口注水井进行调剖和注灰补孔,将吸水段由底部调整到顶部。

(3)油藏压力下降后,仅有的8口自喷生产井提前停喷,采取堵油、堵酸抽或下电泵生产,使全油藏生产井全部转为抽油井生产。

实施控注降压开采两年来(截止1993年9月底)油藏总压降增加1.25MPa。根据1990年12月开井的146口生产井统计,在油藏总产量中扣除新井和各类增产措施等因素的影响,控注降压后产量月递减率由1991年1至11月的2.74%减缓至1992年1月至1993年9月的0.9%(见图3),由此采油量增加约16.4万t。综合含水月上升速度由实验前的0.32%减至实验后的0.04%(见图4),由此减少采水量约20.18万m³。控制人工注水量后,两年来底水侵入量增加约475.6万m³,底水能量得到发挥,累计减少人工注水量537.3万m³。总之,实施控注降压开采实验两年多来,任丘雾迷山组油藏开发效果得到较明显的

改善,增加可采储量67.5万t。由此说明在任丘雾迷山组油藏实施控注降压开采不仅在技术上是可行的,而且经济效益也是显著的,也为1994年研究和实施全面停注降压开采方案打下了良好的基础。

控注降压开采的数值模拟研究

为了预测实施控注降压采油方案的效果,并选择较佳的实施方案,对该油藏进行了数值模拟计算^[5]。计算采用了“油水两相底水双重介质模型”软件,这套软件经多年实践证明,很适用于任丘雾迷山组块状底水油藏的注水采油过程的模拟计算。

首先对该油藏投产十七年来的含水率、油水界面、产油量及油藏压降等变化历史进行较准确的拟合。以此为基础,对包括注水保持压力开采和控注降压开采等开采方式的九种不同方案,进行十年开发指标和经济指标等的预测和方案对比研究。

预测时各种方案的产液量和注水量均在1993年3月的产液量和注水量的基础上变化,亦即以近二年控注降压开采实验后期的条件为基础,研究选择进一步实施的开采方案。计算的九种方案包括三种类型:一是注水保持地层压力开采;二是保持现产液量,大幅度减少注水量或全面停注降压开采;三是全面停注,提高排液量降压开采。计算的主要对比数据汇总于表2上。分析计算结果表明:

表2 任丘雾迷山组油藏控注降压开采十年效果预测
(同按1993年3月开采条件继续降压开采的指标比较)

方案	开采条件	累计增油量 万t	累计增水量 万m ³	最终采收率 %	油藏总压降 MPa	静态增收值 万元
1	保持液量注水量减少50%	34.7	-23.3	36.58	7.32	12052.6
2	保持液量注水量减少35%	53.3	-45.9	36.83	8.08	18550.6
3	保持液量,注水井停注	71.9	-68.7	37.13	8.84	25053.7
4	注水井停注液量增加10%	105.6	606.9	36.80	9.66	28456.4*
5	注水井停注液量增加20%	138.8	1282.9	35.86	10.47	31758.7*
6	注水井停注液量增加50%	235.8	3314.3	36.03	12.92	41136.4*

带*号数,未考虑提高措施换大泵、作业和污水处理等费用

(1)由于任丘雾迷山组油藏有相当充足的天然边底水能量,而且油井已全部转为机械采油方

式生产,继续保持高地层压力水平生产已没有必要。因此,继续在保持目前的采液量(约19810m³/

d)的条件下降压开采,可以发挥边底水的充足能量,改善水驱效果,继续增加采油量,减少注水量和采水量,提高最终采收率,降低原油开采成本,提高经济效益。计算结果还表明,油藏降压幅度越大,其效果越明显。若以保持目前产液量不变为前提条件,油藏全面停注降压开采,十年末油藏总压降预计可达8.84MPa。

(2)由于控制注水或停止注水限制了注入水沿高渗透裂缝系统的窜流,抑制了高部位油水界面上升速度,使边部的油水界面上升速度加快,扩大了水的波及程度,增加水驱可采储量;而降压作用则发挥了低渗透含油岩块内微小裂缝和孔隙的弹性排油作用和边底水的驱油作用,获得明显的附加采油量,降低含水上升速度,减缓了油藏产量递减速度,提高油藏的最终采收率。

(3)对各种方案的预测指标分析表明,任丘油田裂缝性碳酸盐岩油藏高含水开发阶段继续保持高地层压力、注水开采的方案开发效果最差,因而不可取的。而在保持目前产液量的条件下,采取全面停注降压开采的方案是最可取的,这种方案水驱开发效果最好,最终采收率最高(预计比保持压力开采可提高最终采收率2.1%),且经济上效

益较高,工艺上现实易行。采用“全面停注,提高产液量”的开采方案,虽然在十年内可增加产油量,但却大幅度增加产水量,总体开发效果较差,最终采收率也较低,采油工艺上要求增加较多投入和工作量,经济上增收大都弥补了工艺上的大量投资(如换大泵、作业和污水处理排放等所需费用)。

结 论

(1)象任丘雾迷山这样的边底水能量较充足,产能较高,裂缝性底水块状油藏,注水开采到高含水阶段,继续采用注水保持地层压力方法采油,其开发效果比较差,而采用控注或停注降压开采方法采油,可以明显地改善油藏开发效果,主要是得益于抑制高渗透裂缝系统的水窜,发挥边底水天然驱油能量和岩石及流体弹性排油等作用。

(2)继续保持目前产液量基本不变,油藏全面停止注水降压开采的方案,是任丘雾迷山组油藏后期开发的诸种方案中效果最佳的,因而也是最可取的方案。因此,目前该油藏已实施全面停注降压开采方案,预计在今年几年内将继续取得较好的效果。

参 考 文 献

- 1 Owens W W, and Archer D L. Waterflood pressure pulsing for fractured reservoirs, *Trans, Aime* 1966, 237, 745~752
- 2 Felsenthal M, and Ferrell H H. Oil recovery from fracture blocks by cyclic injection, *J Pet Tech*, 1969, 21, 141~142
- 3 Шарбатова Г. И., Сурядович Н. Е. Циклическое водоздействие на неоднородные нефтяные пласты, МОСКВА, Недра, 1988
- 4 贾代国. 碳酸盐岩油藏不稳定注水采油机理的理论研究与实验研究, 内部资料
- 5 申友青, 田平. 碳酸盐岩油藏不稳定注水效果的数值模拟研究, 内部资料
- 6 张学臣, 于俊吉. 任丘雾迷山组油藏全面停注降压开采的实验方案, 内部资料

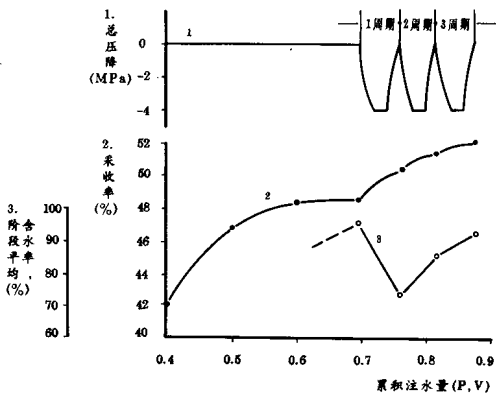


图1 周期控注降压采油模型实验开采特征曲线
(取自参考文献4)

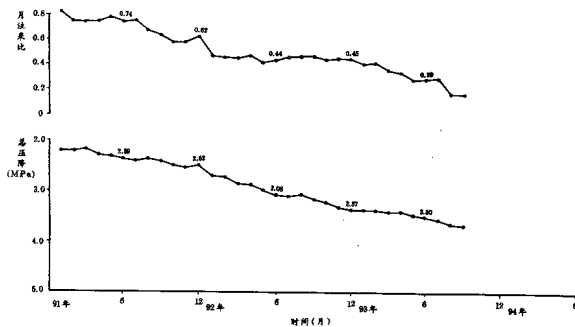


图2 任丘雾迷山组油藏注采比、总压降变化曲线
(取自参考文献6)

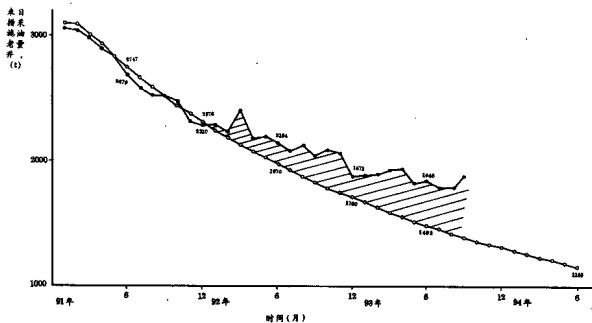


图3 任丘雾迷山组油藏自然产量变化曲线
(取自参考文献6)

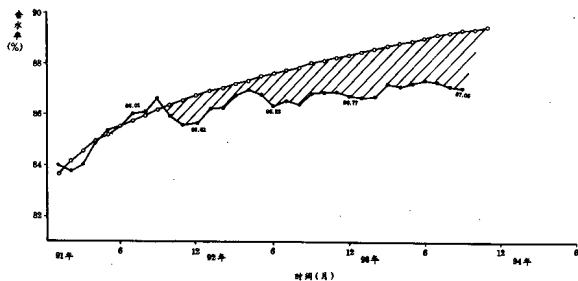


图4 任丘雾迷山组油藏自然含水变化曲线
(取自参考文献6)

石油物探局制图印刷厂
照排印刷