

中深薄层稠油油藏蒸汽吞吐开发主控因素分析及改善开发效果技术对策研究

高子恒

中国石油化工股份有限公司河南油田分公司勘探开发研究院 河南 南阳 473000

摘要: 国内外蒸汽吞吐的理论和实践表明,影响蒸汽吞吐效果的主要因素有油藏条件、井参数、注采参数、工程质量、现场管理等。经分析研究区影响开发效果主控因素是油藏条件和工程原因两个方面,其中油藏条件主要包括隔层差导致的边底水窜、汽窜;工程原因主要包括套管漏、筛管破损、套管错断、井下落物。为改善开发效果,恢复控制储量,进一步提高采收率,需要对影响开发效果的主控因素进行分析,并提出改善开发效果的技术对策。

关键词: 稠油; 蒸汽吞吐; 主控因素; 改善对策

油藏条件包括油层深度、油层厚度、原油粘度、孔隙度、渗透率等;工程质量包括固井质量、井下技术状况、防砂效果、防蜡效果等。

1 油藏条件对开发效果的影响

1.1 油层厚度的影响

油层厚度的概念可扩展为“单层有效厚度”“总有效厚度”和“油层的净总比”三个概念。净总比是指在油层井段内,净油层厚度与油层井段总厚度之比。在多油层注蒸汽热采过程中,由于热传导作用散失到隔、夹层的热量是白白浪费掉了,所以,净总比越大的油藏,注入热量利用率越高热采效果越好。

1.2 油层渗透率的影响

渗透率对于稠油的蒸汽吞吐开发效果有比较大的影响。随着渗透率的增加,被加热的原油流动性也越来越大,周期产油量呈增加的趋势,且油层渗透率越高,油层的吸气能力也就越强,产油能力越强。

1.3 含油饱和度的影响

原油饱和度降低时,增产效果变差。究其原因,是由于油层中可动油量减少,水相渗透率增加,产出水量增多。且水的比热比原油大一倍,导致注汽的加热半径也相对减小。所以在选择使用蒸汽吞吐开采稠油油藏时,先要确定出经济上有利的含油饱和度下限值。因为进行蒸汽吞吐采油的采收率取决于可动油量,而在现在确定的注汽工艺参数下的剩余油饱和度基本上是固定的,不取决于起始油饱和度。

1.4 孔隙度的影响

周期产油量随着孔隙度的增加而增大,稠油开发效果变好。

1.5 原油粘度的影响

在同样的油层参数及注汽量等工艺参数条件下,粘度越小,吞吐效果越好。当原油粘度高到不加热不能流动时,冷原油很难进入泄油区,因此采出的油量就非常有限。

1.6 油层深度的影响

油层深度增加对蒸汽热采不利。这是因为:一方面,油层越深,在注汽过程和采油过程中井筒热损失增加,热利用率减低、注入油层蒸汽干度降低乃至变成热水;另一方面,油层越深,对井下管具的质量和数量及井筒隔热技术的要求越高,这会大大增加生产费用而降低经济效益。一般原则是粘度越低、厚度越大的油藏,允许的油藏深度可大些,反之,油层埋深则浅些。

1.7 隔层厚度的影响

考虑到隔层厚度对稠油吞吐开发效果的影响主要是因为在国内外的开发实践中发现,由于隔层厚度薄油层与相邻水层在注汽过程中破裂造成窜层,这样注入的蒸汽进入到水层,热量不能用来加热油层,热效率低,生产时表现为高液量、高含水特征,单井回采水率高,在长期生产的情况下采出水量剩余远远大于注入水量。

2 工程质量对开发效果的影响

稠油热采配套的辅助技术主要有隔热油管技术、井下电加热技术、一体化管柱技术、注降粘剂油层降粘技术、注氮气辅助吞吐技术。由于这些技术在已经采油现场根据制定的统一标准已广泛应用。这些技术对提高开发效果起到了“锦上添花”的作用。另外,井下故障(套管损坏、错断)、工程事故(钻井事故等)、固井质量等对开发效果也起着较为重要的作用。在稠油热采动态分析中可以根据经验法及统计法判断单井生产效果好坏是否是受到工艺配套的影响从而指导现场制定调整措施。

3 影响研究区开发效果的主控因素分析

通过对该区90口油井进行分析,认为影响该区开发效果的主要因素有油藏条件和工程原因两个方面,其中油藏条件25口,主要包括隔层差导致的边底水窜、汽窜;工程原因39口,主要包括套管漏、筛管破损、套管错断、井下落物。

3.1 隔层厚度与岩性

N1S1 II 2层油层与上、下水层间发育泥岩隔层,其中与上部水层间泥岩厚度20.0-25.0m,平均22.0m,与上部水层的隔层厚度较厚,层间窜可能性较小;与下部水层间泥岩厚度2.0-5.0m,平均3.6m,呈现出由北向南变薄的趋势,N1S1 II 2层南部油井注蒸汽吞吐过程中,高温、高压蒸汽一旦与水层串通,导致含水急剧上升,影响开发效果。N1S1 II 2层南部部分油井距边水较近,蒸汽吞吐生产过程中,边水推进造成油井高含水^[1]。

3.2 井下故障

研究区总井数90口,截至2022年12月底因筛管破损、井下落物、套漏等原因造成39口井带病生产或故障关,27口井作业难度大废弃、待废弃,故障率73.3%,储量245.18万吨,导致部分中部油层较厚区域井网不完善。

3.3 汽窜加剧

随着吞吐时间延长,蒸汽加热范围扩大,地层压力降低,以及新投加密井,井间汽窜现象加剧,也会影响正常井开发效果。

4 改善开发效果技术对策研究

4.1 储层分类评价及潜力分析

依据研究区沉积微相、隔层条件和有效厚度,建立储层分类评价标准,将该区储层划分为三类,其中I类储层为该区优势储层,该类储层与上部水层隔层条件好,基本无水窜风险,主要分布在N1S1 II 2层中部、北部;II类储层主要分布在N1S1 II 2层东部、南部;III类储层有效厚度薄且与上部水层隔层条件较差,水窜风险大,主要分布在N1S1 II 2层南部。

4.2 改善开发效果技术对策

4.2.1 I类隔夹层稳定区域综合治理技术对策

(1) 区域组合注汽吞吐技术

通过对油田的典型生产井和一般生产井进行分析,在生产一段时间后,主要存在各生产井产量、生产周期不同步、井间油层动用差异较大、水平段动用不均、井间汽窜等问题,因此需要对注汽井组合吞吐进行研究。

组合式注汽的原理及特点:稠油实施组合式吞吐的方式主要有井对同注同采、多井整体吞吐、一注多采、少注多采、水平井组同注同采等,这些方法的原理都是

通过相对集中的注汽,建立集中温场,提高注入蒸汽的热利用率,达到改善油井效果的目的^[2]。

① 井对井组合式吞吐

这种吞吐方式是针对汽窜方向单一,主要集中在两口井之间,通过对两口井实施同时注汽、同时采油,达到抑制汽窜影响,提高油井生产时率,提高油井生产效果的简单组合式吞吐方式。由于仅有两口井,对作业、注汽锅炉的要求较低操作简单。

② 多井整体组合式吞吐

多井整体吞吐方式是将射孔层位相互对应,汽窜发生相对频繁的多口油井作为一个整体,集中注汽、集中生产,以满足抑制汽窜、改善开发效果的一种方法。主要适用于超稠油开发的中后期,此时汽窜较为严重且相对有明显的区域性。

③ 一注多采方式

一注多采是针对于开发层位、吞吐周期、采出程度相同或相近的井组,特别是汽窜相对严重,整体吞吐效果差的井组,采用中心井大注汽量注汽,周边同层邻井利用已形成的汽窜通道来引窜加热油层,增加油层平面动用程度。

(2) 热化学辅助吞吐技术

① “蒸汽”+二氧化碳采油技术

二氧化碳用于原油,其主要作用机理包括以下几个方面:

a 降低原油粘度

原油中溶解二氧化碳后,原油的粘度会大幅度降低。当完全饱和二氧化碳后,原油的粘度甚至可以降到1/10~1/100。原油粘度越高,其粘度下降得越多,粘度的降低和其对原油流度的影响在中粘和重油中是相当明显的^[3]。

b 使原油体积膨胀

原油溶解二氧化碳后体积膨胀,主要表现三个方面:一是原油体积增大,为油在孔隙介质中流动提供了有利条件;二是水驱后留在油层中的不可动残余油随二氧化碳溶解而膨胀,并被挤出孔道中,使残余油饱和度变小;三是膨胀的油滴将水挤出孔隙空间,使水湿系统形成一种排水而不是吸水过程,发生相渗透率转换,形成了一种在任何饱和度条件下都适合油流动的有利环境。

c 气驱作用

注入到油藏中的二氧化碳除部分溶解于原油外,其余的以气态形式存在,压缩后的二氧化碳在回采时由于压力的降低,气体体积膨胀,加速地层中原油的返排。

d 二氧化碳对原油的萃取作用

在浸泡期间二氧化碳能气化或萃取原油中的轻质成分。

e 降低界面张力

二氧化碳在油和水中都有一定的溶解度，使由分子间作用力而产生的界面张力有所降低。

f 酸化解堵作用

二氧化碳溶于水时所生成的碳酸能溶解岩石中的碳酸盐，使地层渗透率得以改善。同时二氧化碳具有抑制粘土膨胀的能力。

g 形成溶解气驱

由于所注入二氧化碳在原油中的溶解，井筒附近压力和地层能量增加，当油井开井生产时，溶解气的析出与膨胀带动原油流入井筒，形成二氧化碳溶解气驱作用。

h 扩大蒸汽的波及半径

二氧化碳在地层中以气态存在，其粘度比蒸汽小，当蒸汽冷凝为热水后，二氧化碳气体的粘度比水的更小，导致蒸汽向更深的油层侵入，从而扩大了蒸汽波及的径向半径，提高蒸汽吞吐效果。

② “蒸汽”+氮气采油技术

稠油油藏大多埋藏较浅，地层压力低，且原油组分以重质组分为主，注入甲烷、二氧化碳或氮气后难以达到混相驱替，因此主要为非混相驱替作用机理^[4]。

③ “蒸汽”+降粘剂采油技术

针对研究区中深薄层超稠油开采过程中出现的技术问题，为改善原油流动性，研究应用了油溶性降粘、水溶性降粘为主的稠油降粘技术。

a、油溶性降粘剂改善开发效果机理

油溶性降粘技术主要从溶剂化作用和降低分子间作用力2个方面来降低原油黏度。

b、水溶性降粘剂改善开发效果机理

水溶性降粘技术通过向地层注入水溶性乳化降粘剂，使高粘度稠油被乳化形成O/W型乳状液，这样就大幅度降低原油黏度，减少稠油的流动阻力，提高了稠油的采收率。

④ “蒸汽”+泡沫剂采油技术

在稠油热采泡沫堵水和泡沫调剖方面，典型的蒸汽泡沫调剖是将蒸汽、非凝聚性气体和水溶性表面活性剂的混合物一起注入蒸汽超覆带，改变了蒸汽流向^[5]。

(3) 故障井治理改善开发效果

针对套漏、管外窜、套管变形错断、筛管破损等故障井，攻关配套低成本修技术，恢复油井产能。一是攻关配套液压整形工艺技术。研究配套井下液压整形工艺技术，解决生产、作业管柱无法下入难题。二是攻关套损井加固补贴工艺技术。对通过整形、修套后恢复井筒通径的套损井，利用加固补贴技术对套损段进行补贴加固。三是攻关配套套损井防砂、封堵工艺。攻关小直径

防砂工具、小直径封堵桥塞。四是攻关管外窜及套管漏井高强度、耐高温封堵工艺。在漏点找准的基础上采用高强度、耐高温、触变性封堵剂进行封堵。

4.2.2 II类隔夹层不连续区域改善开发效果技术

(1) 氮气抑水机理及原则

通过开展氮气抑水机理研究，认为氮气抑水主要作用机理有两个方面。一是氮气在水窜通道中指进并驻留，通过“贾敏效应”对水窜通道的封堵作用；二是氮气注入过程中对近井地带地层水的驱替作用。

(2) 精准找堵水技术

在研究稠油热采隔夹层分布及水窜特征的基础上，首先利用温剖实时监测技术精确定出水井段，配套管外化学封隔+管内机械封隔或液体桥塞保护，出水段凝胶、纳米颗粒堵水等工艺，改善高含水水平井开发效果。

4.3 技术对策应用效果

通过开展改善开发效果对策研究，现场应用后累计实施93井次，开发效果得到了明显改善，恢复控制储量83.1万吨，井口日产油水平由2020年底的50t/d上升到2021年底的59t/d，上升了9t/d，油气比稳定在0.26。

5 结论

研究区开发模式为中深薄层稠油热采蒸汽吞吐开发，其开发效果主控因素为油藏条件和工程原因，其中油藏条件主要包括隔层差导致的边底水窜、汽窜；工程原因主要包括套管漏、筛管破损、套管错断、井下落物。

针对研究区开井率、采收率低、故障井、高含水井增多、汽窜严重的现状，通过开展综合治理技术对策研究，结合生产现状对储层进行分类评价，对不同区域分别提出区域组合注汽、热化学辅助吞吐、故障井综合治理、氮气抑水、精准找堵水等对策，措施实施后达到了改善开发效果的目的，为改善中深薄层稠油油藏蒸汽吞吐开发效果提供理论依据。

参考文献

- [1]芮拥军.排2井区沙湾组油藏地质与开发方案研究[D].东营:中国石油大学(华东),2007.
- [2]石爻,喻高明,谢云红, et al.稠油蒸汽吞吐注采参数优化设计[J].吐哈油气,2012,000(002):140-143.
- [3]艾敬旭,王卫红,王经荣.蒸汽吞吐井注采参数优化设计[J].大庆石油地质与开发,2004,23(1):64-66.
- [4]杜殿发,王青.蒸汽吞吐水平井开采参数优选研究[J].石油地质与工程,2009,023(001):57-60.
- [5]王卫红,王经荣,李灏, et al.稠油油藏蒸汽吞吐井注采参数系统优化[J].石油勘探与开发,2004,031(002):104-106.