

陈家庄油田陈373块蒸汽吞吐后转 CO₂—化学剂复合吞吐研究

陈德春¹,周淑娟^{2*},孟红霞¹,李微¹,王瞻¹

(1.中国石油大学(华东)石油工程学院,山东青岛266580; 2.中国石化华北分公司第四采油厂,陕西铜川727200)

摘要:针对胜利油区陈家庄油田陈373块油层有效厚度小、纯总比低、蒸汽吞吐生产效果差的问题,实验研究了CO₂—化学剂复合对该区块原油物性的作用效果,并利用CMG油藏数值模拟软件,研究了蒸汽吞吐后转CO₂—化学剂复合吞吐的生产效果。结果表明,在化学剂实现有效降粘的基础上,气体溶解有一定的降粘辅助作用,两者复合对原油有良好的协同降粘效果,在油藏温度和压力条件下,对原油的降粘率达到98.97%,原油粘度为化学剂单独作用时的18.4%;CO₂—化学剂复合吞吐能补充地层能量,扩大原油粘度的降低范围,提高生产效果,蒸汽吞吐6周期后转复合吞吐4个周期的平均周期产油量为480.5 t,比蒸汽吞吐高252.4 t,总产出投入比为1.64。该结果为陈373块薄层特稠油油藏蒸汽吞吐后转换开发方式提供了依据。

关键词:CO₂ 化学剂 蒸汽吞吐 协同效应 稠油 复合吞吐 陈家庄油田

中图分类号:TE357

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2014)06-0076-03

目前,稠油开采以蒸汽吞吐为主,但随蒸汽吞吐轮次增加,生产效果变差^[1-4]。胜利油区陈家庄油田陈373块属特稠油油藏,应用蒸汽吞吐开发方式,热损失大,周期产量、油汽比递减快,油汽比低,生产效果差,为提高区块生产效果需转换开发方式^[5-7],为此,笔者分析蒸汽吞吐后转CO₂—化学剂复合吞吐的生产效果,以期为该块转换开发方式提供依据。

1 开发简况

胜利油区陈373块含油层段为馆下段,油藏类型为层状构造—岩性油藏,油层厚度较薄,单层有效厚度为2~6 m,纯总比为0.2~1;50℃地面原油粘度一般为10 000~50 000 mPa·s,属于特稠油油藏;储层物性较好,孔隙度为32%,渗透率为2.5 μm²,胶结疏松,开发中极易出砂;含油饱和度为50%~55%;油井投产后初期含水率较高,其值为50%~60%,且含水上升速度快,周期间含水率上升速度为3.27%。统计已完成4周期的23口油井,同井对比周期间含水率上升速度为4.1%。至2010年10月,已对该块225口井实施了609轮次的热采,累积注汽量为108×10⁴ t,累积产油量为95.26×10⁴ t,平均单井产油

量为5.3 t/d,平均注汽压力为15.3 MPa,注汽干度为68.1%,油汽比为0.90。周期产量和油汽比递减快,其递减率分别为27%和35%。统计吞吐周期在2个周期以上、油汽比小于0.5的井有57口,142井次,约占陈家庄油田总吞吐井数、井次的30%。地层能量补充不足,导致压力降低,能量下降,区块平均压降为2.4 MPa,地层累积亏空为400×10⁴ m³。

根据中国稠油蒸汽吞吐筛选标准,当50℃地面原油粘度小于50 000 mPa·s,相对密度大于0.95,油层埋深小于1 000 m,油层有效厚度大于10 m,纯总比大于0.4,孔隙度大于0.2,原始含油饱和度大于0.5,渗透率大于200×10⁻³ μm²时,可以选用蒸汽吞吐开发方式^[8],将陈373块油藏参数与之对比,其基本符合稠油蒸汽吞吐筛选标准,只是有效厚度和纯总比接近蒸汽吞吐下限,且油层埋深偏大,为蒸汽吞吐开发的边际油藏。

以陈36-X76井为例,对蒸汽吞吐效果进行分析。该井已经进行了6个周期的蒸汽吞吐,由其生产情况(表1)可以看出,随着吞吐轮次的增加,油汽比降低,周期含水率升高,生产效果变差,第4周期油汽比为0.18,已没有经济效益。蒸汽吞吐效果变差的主要原因包括:油层薄,油层厚度为9.8 m,低于

收稿日期:2014-09-21。

作者简介:陈德春,男,教授,博士,从事采油工程理论与技术的教学和科研工作。联系电话:15092060978,E-mail:chendc@upc.edu.cn。

*通讯作者:周淑娟,女,助理工程师,硕士,从事低渗透油藏开发研究。联系电话:18700697235,E-mail:zhoushjb@126.com。

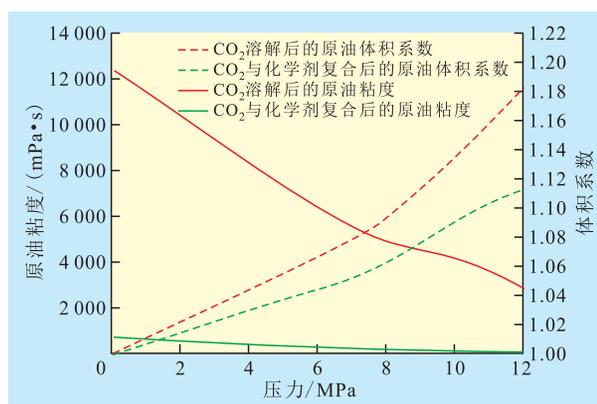
表1 陈36-X76井历次蒸汽吞吐生产情况

周期 开井 日期	周期 注入 量/t	周期 累积产 油量/t	周期 累积产 水量/t	周期产 油水平/ (t·d ⁻¹)	周期 含水 率,%	油汽 比	
2007-09-14	1	1 400	1 398.9	2 824.8	4.9	66.9	1.00
2008-08-10	2	1 600	565.5	2 662.3	5.1	82.5	0.35
2009-01-14	3	1 704	893.3	4 070.5	4.1	82.0	0.52
2009-10-08	4	2 004	362.1	3 564.6	2.0	90.8	0.18
2010-05-08	5	2 000	346.3	3 920.5	2.3	91.9	0.17
2010-11-10	6	2 801	267.9	5 149.0	1.0	95.1	0.10

稠油蒸汽吞吐的油层厚度筛选标准,注入的热量被夹层和顶底盖层吸收,热损失较大,热量利用率低;油层温度下降较快;原油粘度高,在油层内流动能力差,油水流动度比小;地层能量低等。

2 CO₂—化学剂复合对原油性质的影响

将原油与质量分数为1%的水溶性自扩散体系溶液按体积比为7:3混合均匀配制成原油乳状液,将不同比例的气体分别与原油乳状液均匀混合,利用高压PVT装置及落球粘度计^[9],进行CO₂—化学剂复合对稠油物性影响的实验研究。实验结果表明在油藏温度为65℃和不同压力条件下,CO₂与水溶性自扩散体系溶液协同作用对原油的粘度和体积系数有影响。从图1可以看出:①在油藏压力为10MPa下,CO₂溶解于原油可使稠油粘度降低67.63%,使体积膨胀14%,随着压力增加,原油体积系数几乎呈线性增加,这不仅增加地层的弹性能量,还使剩余油剥离于岩石表面,降低残余油饱和度^[10-12]。②在油藏温度为65℃、油藏压力为10MPa的条件下,若仅使用化学剂,则原油的粘度由12 297 mPa·s降为689.9 mPa·s,降粘率为94.39%;溶入CO₂后,与化学剂协同作用使原油的粘度降为127.2 mPa·s,为化学剂单独作用时原油粘度的18.4%,降粘率达到98.97%,但受化学剂的影响,CO₂使原油体积系数增加量减少。由此可见在化学剂实现有效降粘的基础上,气体溶解有一定的降粘辅助效果。

图1 CO₂—化学剂复合对原油粘度和体积系数的影响

3 蒸汽吞吐转CO₂—化学剂复合吞吐生产效果

利用CMG油藏数值模拟软件,基于油藏参数、测试资料、粘温曲线等资料建立了油藏地质模型,在历史拟合的基础上分析CO₂—化学剂复合吞吐开发方式的生产效果。陈36-X76井蒸汽吞吐第6周期后分别继续进行4个周期的蒸汽吞吐、化学吞吐、CO₂吞吐和CO₂—化学剂复合吞吐,CO₂—化学剂复合吞吐采用段塞注入方式,先注入化学剂再注入CO₂^[13]。根据油田资料取蒸汽、化学剂溶液和CO₂的注入成本分别为261,200和960元/t,单井施工劳务费为20 000元,原油油价为1 500元/t。

对比不同开发方式的生产效果(表2)可见,继续进行4个周期蒸汽吞吐,平均周期产油量为228.1 t,总产出投入比为0.41,已没有经济效益。

转化学吞吐可以取得好于蒸汽吞吐的生产效果。化学吞吐第2周期(即总第8周期)产油量最高,为331.5 t,比化学吞吐第1周期(即总第7周期)高13.9 t,主要原因是化学吞吐第1周期化学剂初次注入地层,地层的吸附量较多,从而使第2周期的相对吸附量减少,第2周期后,随周期数增加,由于地层含油饱和度的降低,周期产油量降低,且下降的幅度逐渐增大。截止到化学吞吐第4周期(总第10周期),化学吞吐平均周期产油量为300.8 t,高于蒸

表2 不同开发方式生产效果

开发方式	周 期 产 油 量 / t				4个周期累 积产油量/t	平均周期 产油量/t	总产出/ 10 ⁴ 元	总投入/ 10 ⁴ 元	总产出 投入比
	总第7周期	总第8周期	总第9周期	总第10周期					
蒸汽吞吐	325.8	265.9	208.4	112.3	912.4	228.1	142.4	354.5	0.41
化学吞吐	317.6	331.5	307.8	246.1	1 203.0	300.8	180.5	94.2	1.91
CO ₂ 吞吐	415.6	470.1	399.9	302.5	1 588.1	397.0	217.2	140.4	1.55
CO ₂ —化学剂复合吞吐	471.8	503.6	483.2	463.5	1 922.1	480.5	288.3	176.3	1.64

汽吞吐72.7 t,总产出投入比为1.91。转CO₂吞吐后的前2周期产油量稳定上升,第2周期产油量最高为470.1 t,之后开始下降。CO₂吞吐4个周期的平均周期产油量为397.0 t,高于蒸汽吞吐168.9 t,总产出投入比为1.55。转CO₂—化学剂复合吞吐在第2周期产油量最高为503.6 t,之后周期产油量逐渐降低。CO₂—化学剂复合吞吐4个周期的平均周期产油量为480.5 t,分别高于蒸汽吞吐、化学吞吐和CO₂吞吐252.4, 179.7和83.5 t,因此,CO₂—化学剂复合吞吐的生产效果好于其他3种开发方式。

由蒸汽吞吐、化学吞吐、CO₂吞吐及CO₂—化学剂复合吞吐4种开发方式在总第10周末地层压力分布和原油粘度分布(图2)可见:①蒸汽吞吐地层压力急剧下降,距离井筒90 m范围内地层压力下降了8.9 MPa,地层能量亏空;化学吞吐距离井筒90 m范围内地层压力下降了7.99 MPa;CO₂吞吐在补充地层能量方面优于化学吞吐,在距离井筒90 m范围内下降了6.78 MPa;CO₂—化学剂复合吞吐在距离井筒90 m范围内地层压力下降了3.71 MPa,表明CO₂与化学剂的复合更有利于地层能量保持。②复合吞吐比单一吞吐地层能量高,化学剂使原油粘度和油水界面张力降低,油更易于剥离于岩石表面^[14-15],从而使气体更容易进入地层孔隙,发挥气体弹性;同时气体的驱替作用可以使化学剂进入的地层深度大于化学吞吐,扩大原油粘度的降低范围。由此可见,复合吞吐利用气体和化学剂的协同作用能更好地降低原油粘度和提高原油采收率。

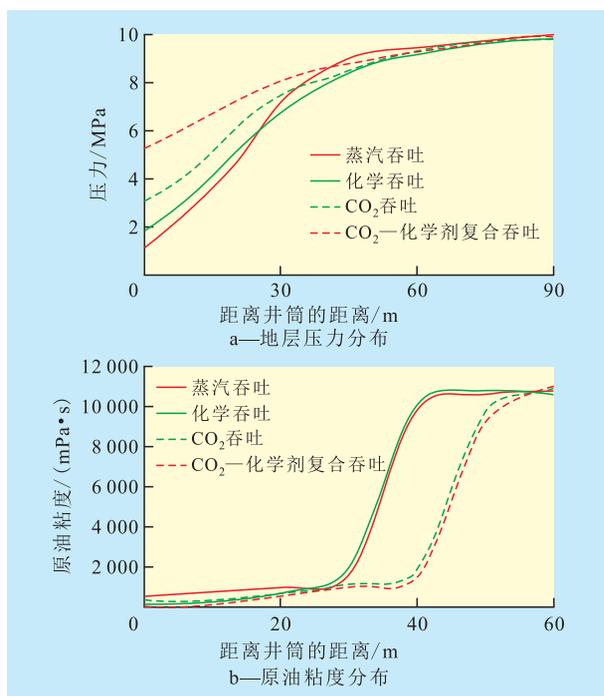


图2 总第10周末地层压力及原油粘度分布

4 结论

CO₂与化学剂在原油降粘方面有很好的协同作用,当油藏温度为65℃、压力为10 MPa时,原油降粘率为98.97%。原油流动能力明显增强,气体的溶解增加原油体积系数,使原油膨胀,增加了地层原油弹性能。二者复合吞吐具有良好的生产效果。蒸汽吞吐6周期后转CO₂—化学剂复合吞吐4个周期的平均产油量为480.5 t,比蒸汽吞吐高252.4 t,总产出投入比为1.64。其原因是CO₂与化学剂起到协同增效的作用,化学剂降低原油粘度使气体更易进入地层孔隙,CO₂的携带作用可使化学剂进入油层深处,扩大原油粘度的降低范围,因此两者复合在补充地层压力和降低原油粘度方面都有更好的作用效果。

参考文献:

- [1] 沈德煌,张义堂,张霞,等.稠油油藏蒸汽吞吐后转注CO₂吞吐开采研究[J].石油学报,2005,26(1):83-86.
- [2] 毛卫荣.孤岛油田中二中Ng5薄层稠油环蒸汽吞吐中后期调整技术[J].油气地质与采收率,2005,12(6):61-63.
- [3] 于连东.世界稠油资源的分布及其开采技术的现状与展望[J].特种油气藏,2001,8(2):98-103.
- [4] 王代流.多层合采稠油油藏蒸汽吞吐后期油藏物性特征——以孤岛油田中二中Ng5砂层组为例[J].油气地质与采收率,2013,20(3):68-71.
- [5] 张以根,王友启,屈智坚,等.孤东油田馆陶组油藏三元复合驱油矿场试验[J].油田化学,1994,11(2):143-148.
- [6] 赵淑萍.陈家庄油田南区薄层特稠油油藏高效开发关键技术及其应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):98-100,103.
- [7] 王增林,宋新旺,祝仰文,等.海上油田二元复合驱提高采收率关键技术——以埕岛油田埕北1区西部Ng4—5砂层组为例[J].油气地质与采收率,2014,21(2):5-9.
- [8] 陈月明.注蒸汽热力采油[M].东营:石油大学出版社,1996:1-6.
- [9] 孙仁远,李爱芬,张俨彬,等.油层物理实验[M].东营:中国石油大学出版社,2009:30-35.
- [10] 李兆敏,陶磊,张凯,等.CO₂在超稠油中的溶解特性实验[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(5):92-95.
- [11] 杨胜来,王亮,何建军,等.CO₂吞吐增油机理及矿场应用效果[J].西安石油大学学报:自然科学版,2004,19(6):23-26.
- [12] 王友启,赵峰华,刘柏林,等.炼油厂排放二氧化碳用于驱油埋存的可行性评价[J].油气地质与采收率,2010,17(2):70-73.
- [13] 李兆敏,鹿腾,陶磊,等.超稠油水平井CO₂与降黏剂辅助蒸汽吞吐技术[J].石油勘探与开发,2011,38(5):600-605.
- [14] 纪艳玲.鲁克沁油田油井化学吞吐技术研究与应[J].石油地质与工程,2009,23(4):123-125.
- [15] 王友启,周梅,聂俊.提高采收率技术应用状况及发展趋势[J].断块油气田,2010,17(5):628-631.