

文章编号:1000-582X(2006)03-0051-04

气举试验井两相流动特性分析*

卓文彬¹,彭云康¹,李颖川²,郑海峰¹

(1.中国核动力研究设计院,四川成都 610041;2.西南石油大学,四川成都 612141)

摘要:用 RELAP5/MOD3.2 程序计算分析试验井的气举启动与卸载过程,探讨不同气举方式下油井内气液两相流流型分布规律,为下一步试验研究提供理论依据.由计算结果可见,在适当的气举参数组合下,可以实现稳定的气水产量;对所研究的气举参数,两相流流型随气举启动与卸载过程的变化规律是从泡状流过渡到环雾状流;如果气水产量达到稳定,沿油井高度的两相流流型均为环雾状流.

关键词:气举;两相流;RELAP5/MOD3.2 程序

中图分类号:TK123

文献标识码:A

在石油、天然气工业采油过程中,当地层供给的能量不足以把原油从井底举升到地面时,油井就停止自喷.这是由于油田投入开发后,随着开采时间的增长,油层本身能量将不断地被消耗,致使油层压力不断下降,地下原油大量脱气,粘度增加,油井产量大大减少,甚至会停喷停产,造成地下残留大量死油采不出来.为了油井继续出油,需要人为地把天然气或空气压入井底,使原油喷出地面,这种采油方法称为气举采油.近年来,气举采油在国内外得到了较广泛的应用,如在大庆油田、中原油田、江汉油田等^[1-2].

但是,为了得到稳定高效的油气产量,还需要对诸如注气量、注气压力等参数进行研究,为此需设计建造试验井进行模拟研究^[3-6].流型在气液两相流的流动特性研究中是非常关键的,流型的变化往往引起流动阻力、流动稳定性的变化.在垂直流动中,大致有泡状流(bubbly flow)、弹状流(slug flow)、塞状流(plug flow)、搅拌流(churn flow)、环状流(annular flow)和雾状流(mist flow).

到目前为止,在工程上确定流型是依靠流型图(flow pattern map).流型图是通过流型及流型转变实验得到的.通过取用不同的参数坐标,把各种流型按所取参数进行区分,标注在图上,所得到的区界图即为流

型图.实际应用中,根据流动方向、流动参数和物性参数,按流型图的坐标确定本工况下的坐标点,再根据该坐标点所在的位置决定本工况的流型.在所有这些参数中,空泡份额是一个关键参数,如 Taitel 和 Dukler (1977)最早曾提出可单一根据空泡份额变化确定泡状流和弹状流^[7].

笔者用 RELAP5/MOD3.2 程序计算分析试验井的气举启动与卸载过程,探讨不同气举参数下油井内气液两相流流型分布规律,为下一步试验研究提供理论依据.

1 试验系统

如图 1 所示,气举试验系统由压缩机、储气库(储气井)、油井、油套环和注水环以及相关阀门、开关等组成.试验前关闭节流阀(注气阀),用压缩机将储气井压力升高到一定值.试验过程中,打开注气阀和压缩机,高压气体从储气库中流向油套环,油套环缝内压力不断升高,压低环缝液面,油管内液面上升,逐渐有液体流出.当高压气体将液面压到油管底部后,开始注水,气体进入举升管柱与液体形成气液两相流动(不稳定两相流).随着注气的不断进行,由于液体流出的体积小于该状态下增加的气体体积,环缝内压力还会

* 收稿日期:2005-11-09

基金项目:四川省天然气开采重点实验室基金项目

作者简介:卓文彬(1968-),男,四川资阳人,中国核动力研究设计院副研究员,硕士,主要从事反应堆热水力和动力设备试验研究.

继续增加,到某一时刻,液体流出的体积大于该状态下增加的气体体积,环空内压力开始降低,举升管内两相流向井口延伸,最后使整个井内形成两相流,直到流动达到稳定。

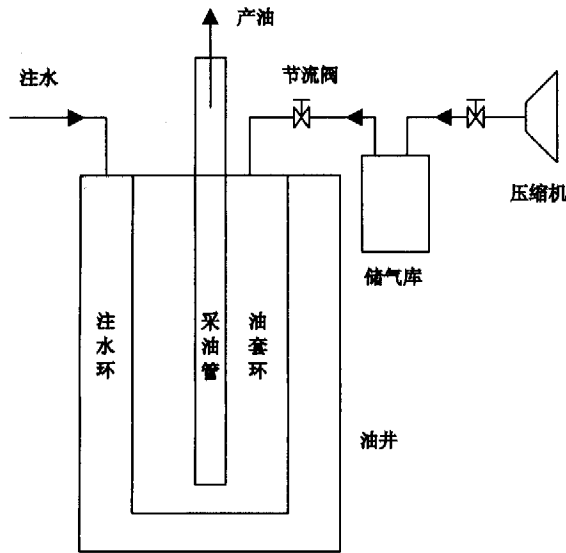


图1 气举启动流程图

2 分析方法和初始条件

2.1 分析方法

应用 RELAP5/MOD3.2 程序计算分析试验井的气举、注水动态过程。RELAP5/MOD3.2 程序是由美国核管会(NRC)资助,美国爱达荷国家实验室(Idaho National Engineering Laboratory)发展的用于分析系统热工水力瞬态特性的系统分析程序,广泛用于反应堆系统及试验装置的安全分析和瞬态特性分析中。RELAP5/MOD3.2 程序采用一维非均相、非平衡态两流体六方程模型来描述系统的流动特性,能较好得模拟气举过程中的两相行为。

2.2 控制体划分

将试验系统划分为 19 个部件(如图 2 所示)。其中,202 为时间相关部件(TMDPVOL),代表压缩机;204 为单一控制体部件(SNGLVOL),代表储气库;112 为时间相关部件(TMDPVOL),代表远程输油管;302 为时间相关部件(TMDPVOL),代表注水系统;108 和 110 为管部件(PIPE),代表油井,各划分为 50 个控制体;304 和 306 为环形部件(ANNULUS),代表注水环,各划分为 50 个控制体;206 和 208 为环形部件(ANNULUS),代表油套环,各划分为 50 个控制体。109、111、205、207、209、305、307 为单一接管部件(SNGLJUN),203 和 303 为时间相关接管部件(TMDPJUN),分别控制压缩机注气速率和注水速率。

2.3 初始条件

如图 1 所示,试验模拟的油井深 900 m,直径 62 mm,油套环深 910 m、直径 154 mm,注水环深

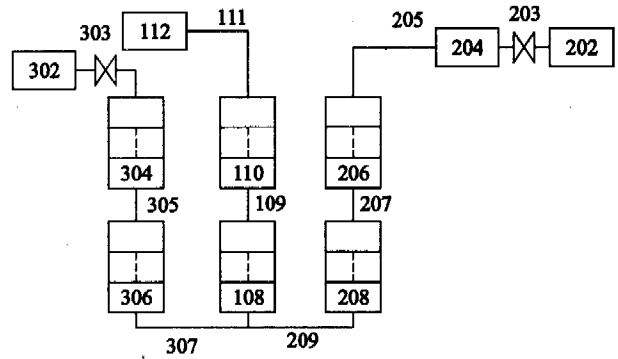


图2 试验系统控制体划分示意图

920 m、直径 330 mm。

初始条件为:储气库压力 8 MPa,容积 10 m³ 或 30 m³。油井、油套环和注水环充满一定高度的水,用油井出口背压模拟输油阻力,背压取为 2 MPa,0 时刻开启压缩机并打开开关和注气阀,当油套环液位降低到底部时,开启注水阀向注水环注水。所有部件温度相同,取为 27 ℃。

针对高、低产水量要求,采用不同注气量和注水量条件进行了计算分析。

3 计算结果

3.1 气举启动与卸载的基本规律

图 3、图 4 为典型气举过程参数变化现象。计算参数为压缩机注气量 20 000 m³/d(气体状态 0.1 MPa, 20 ℃),压缩机排气压力为 8 MPa。储气库容积 10 m³,注水量 150 m³/d,井口阻力较小。如图可见,压缩机开始注气约 1.7 h 后,油套环液面到达井底,此时开始注水。油套环液面到达井底前,井底压力为 10.9 MPa,基本保持不变;而环缝压力则从 2 MPa 不断增加到 8.2 MPa。产水量在 4 min 之内从 0 增大到 220 m³/d,然后缓慢下降到 115 m³/d,当油套环液面到达井底后,由于油管内开始进入空气,油管空泡份额和气液产量迅速增加。随着气液两相流出井口,井底压力、环缝压力开始降低,产水量在经过几次大的波动后也开始缓慢降低。所有参数在大约 6 h 左右逐渐趋于稳定。稳定后的井底压力为 4.32 MPa,环缝压力 3.85 MPa,产水量 192 m³/d,井口空泡份额 0.87。

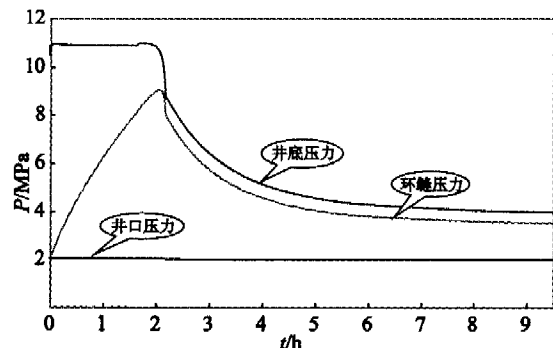


图3 气举过程的压力

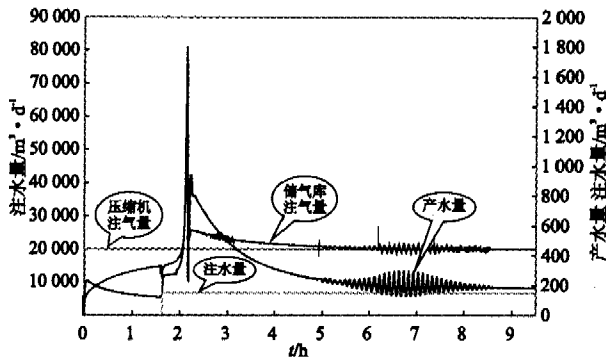


图 4 气举过程的产水量

3.2 流型分布

图 5 ~ 图 10 所示为不同产水量条件下油井不同部位的流型分布. 其中,流型是通过空泡份额、流量等流动参数和物性参数由 RELAP5/MOD3.2 程序根据流型图计算得到.

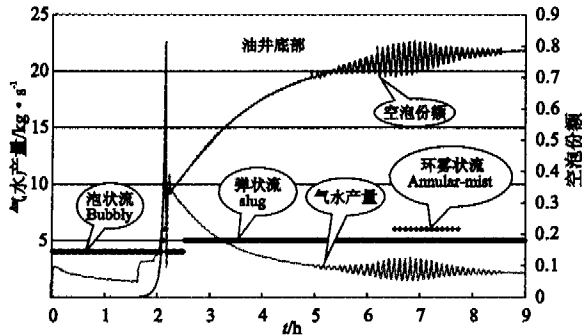


图 5 低产水量工况油井底部的空泡份额和流型

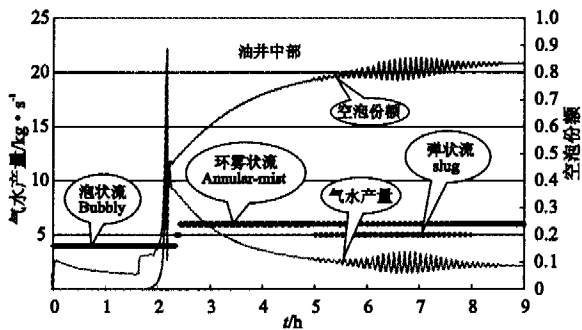


图 6 低产水量工况油井中部的空泡份额和流型

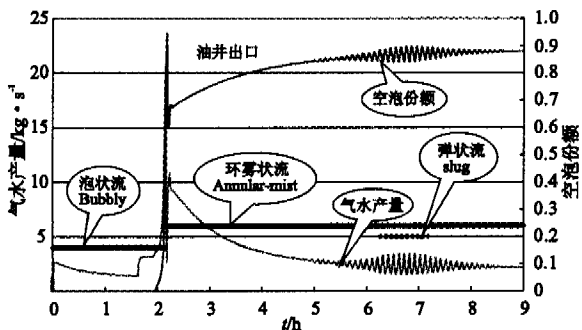


图 7 低产水量工况油井出口的空泡份额和流型

由图可见,对同一产水量工况,油井同一个部位处的两相流流型会随着气举启动与卸载的过程发生变化.

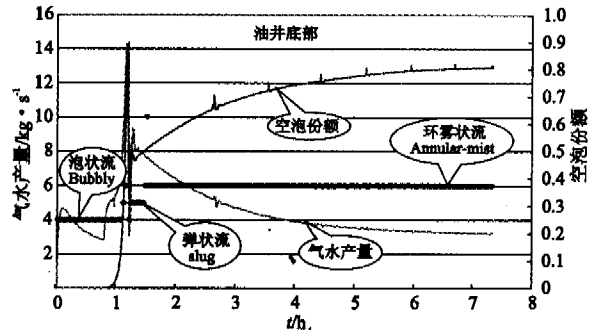


图 8 高产水量工况油井底部的空泡份额和流型

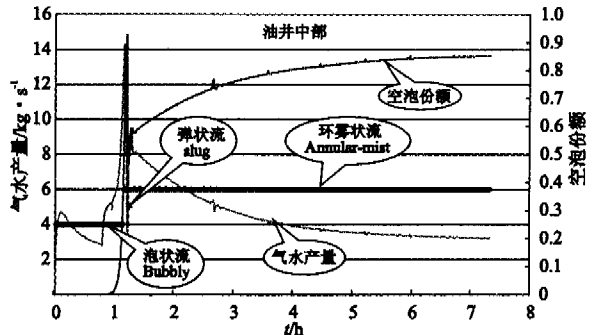


图 9 高产水量工况油井中部的空泡份额和流型

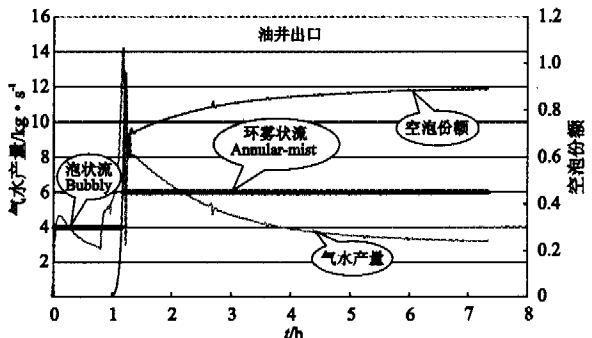


图 10 高产水量工况油井出口的空泡份额和流型

在气举启动初期,由于空气没有进入油管,油井各部位处的两相流流型均为泡状流 (bubbly, 由于 RELAP5/MOD3.2 程序采用两流体六方程模型,在空泡份额为 0 时程序给定一个很小的值以便于求解). 随着气举过程的进行,环缝液面不断降低,当环缝液面降低到油井底部时,由于空气开始进入油井,油井内从底部到出口空泡份额逐渐增加,两相流流型也先后发生变化,随着越来越多的空气的进入,油井气水产量逐渐降低,而油井各部分空泡份额显著增加,最后,各参数将趋于稳定. 在此过程中,不同气水产量和油井不同位置的流型变化规律略有不同.

对低产水量工况,由于给定的油井出口阻力偏低,导致流型波动变化较大,这是试验过程或生产过程中应当注意需要避免的. 对低产水量工况,油井底部的两相流流型从泡状流最终过渡到弹状流 (slug),但在空泡份额剧烈变化时可能出现环雾状流 (annular -

mist);在油井中部和出口最终会过渡到环雾状流(annular-mist),但在空泡份额剧烈变化时可能出现环弹状流。

对高产水量工况,不论在油井的何处位置,两相流流型均会从泡状流最终过渡到雾状流,并且,即使在空泡份额剧烈变化的时候,在油井出口处也不会出现环弹状流。

改变注气量或注水量会影响气举采油的稳定性和气水产量的变化。改变注气量或注水量,则井口压力、井底压力和环缝压力会变化,压力的改变引起空泡份额的变化。而空泡份额是流型变化的关键参数,空泡份额的变化可能导致流型变化,从而引起气水产量的变化,或影响气举采油过程的稳定性。

4 结 论

由计算结果可见,在适当的气举参数组合下,可以实现稳定的气水产量。在气举启动与卸载过程中,对同一种气举工况,在油井的不同位置其两相流流型不同,且该流型会随气举启动与卸载过程发生变化,而对不同的气举工况其两相流流型沿油井高度的分布也不相

同。对所研究的气举参数,两相流流型随气举启动与卸载过程的变化规律是从泡状流过渡到环雾状流;如果气水产量达到稳定,沿油井高度的两相流流型均为环雾状流。

参考文献:

- [1] 王磊,耿丽萍,杨有林,等. 文东油田连续气举优化配气数学模型建立及应用[J]. 油气地质与采收率,2003,10(1):16-21.
- [2] 廖锐全,蒙玉平,党丽旻. 间歇气举采油工艺参数设计方法[J]. 江汉石油学院学报,2003,25(21):33-35.
- [3] 李安,万邦烈. 连续气举采油举液机理研究[J]. 石油矿场机械,2004,33(4):23-26.
- [4] 李安,万邦烈,LI AN,等. 连续气举条件下举液管柱内流体的压力梯度预测[J]. 石油矿场机械,2005,34(2):40-43.
- [5] 刘三威,李颖川,王海. 气举井效率与控制图研究[J]. 天然气工业,2004,24(4):19-23.
- [6] 李安,万邦烈. 连续气举采油中的能量交换理论[J]. 石油矿场机械,2004,33(5):51-55.
- [7] 鲁钟琪. 两相流与沸腾传热[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

Analysis of Two Phase Flow Character of Test Well for Oil Extraction with Gas Lift Method

ZHUO Wen-bin¹, PENG Yun-kang¹, LI Yin-chuan², ZHEN Hai-feng¹

(1. Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China;

2. Southwest Petroleum University, Chengdu 612141, China)

Abstract: Numerical simulations are performed with RELAP5/MOD3.2 code to analyze the two-phase flow character of gas lift method in oil extraction. Gas lift startup and discharge are investigated with varying duty, and the result can provide the basis direction of oil well of simulation.

Key words: gas lift; two-phase flow; RELAP5/MOD3.2 code

(编辑 陈移峰)