

# 柱塞气举影响因素分析及优化设计

何顺利 吴志均

(中国石油大学·北京)

何顺利等. 柱塞气举影响因素分析及优化设计. 天然气工业, 2005; 25(6): 97~99

**摘要** 为保证正常进行柱塞气举和有较高的日产气量,需要对柱塞气举进行优化设计。为此,文章首先将柱塞气举影响因素分为动力、阻力和体积三大因素,利用柱塞气举动态模型分析了各种因素变化对柱塞气举的作用及其它们的限制条件。为实现正常实施柱塞气举,气液比、地层压力和产气量必须高于最低值,而输气管线压力和井深必须低于最高值;只有各种因素相互之间达到合理匹配时才能进行柱塞气举。通过对柱塞气举可控因素分析讨论后得出,柱塞气举优化设计实质上是对续流生产时间和开井的套压进行优化。优化柱塞气举参数的作用为:一方面可以提高气井产量,另一方面可以延长气井生产寿命。需要注意的是柱塞优化设计是针对一定气层条件进行的,当柱塞气举进行一段时间后气层参数发生变化时,需要重新进行优化设计,以达到优化设计的目的。

**关键词** 气举 气举柱塞 气水比 产量 压力 优化设计

## 一、引言

虽然柱塞气举已经广泛应用于石油天然气生产<sup>[1]</sup>,对它的影响因素和优化设计也有人进行了讨论<sup>[2~9]</sup>,但是柱塞气举模型有一定的局限性。笔者根据能够客观、真实反映柱塞气举生产情况的动态模型<sup>[2]</sup>,利用它的计算结果来讨论各种因素对柱塞气举的影响。在建立动态模型的方程时,首先将所研究段气体分割成若干控制体,假定在时间单元内控制体的参数是恒定的,建立多种影响因素下的柱塞和液体段塞运动方程以及油套压计算方法。将柱塞气举的影响因素分为三大类:动力因素、阻力因素和体积因素,讨论各类因素对柱塞气举的作用,且确定保证正常柱塞气举工作的限制条件,最后分析柱塞气举的优化设计方法。

## 二、柱塞气举的动力因素分析

在柱塞举液上升过程中,柱塞下面的气体压力是推动柱塞上升的动力,它是由地层产气能力、地层压力、气液比和井筒积液高度所决定的。井筒积液高度是由柱塞下死点位置、气液比和地层在柱塞气举周期的产气量所决定的。柱塞下死点位置决定着井筒积液的最小高度,且基本上是固定的(一般在气层之上 20~30 m)。综上所述,柱塞气举的动力因

素为:气液比、地层压力和地层产气能力。

气井生产的气液比是决定井筒的气量和水量相对比例的关键因素。由表 1 可以看出,随着气液比逐渐降低,续流生产时间和柱塞气举周期同时缩短,气井周期产气量降低。当气液比下降到一定值时,续流生产时间缩短到零以后,只有增加液柱高度才能保证柱塞气举前后的油套压相等;如果再继续降低气液比,柱塞就不能进行正常气举,这是液柱高度太高所引起的。因此,只有当气液比高于一定值时才能实施柱塞气举进行排水采气,并根据气液比的高低决定续流生产时间,以保证气井较高产量。

地层压力与产能是互相影响的。当地层压力降低时,地层产气量就降低;假设其它参数不变化计算地层压力的下降对柱塞气举造成的影响如表 2。由表可知:随着地层压力不断降低,柱塞到达井口时间有所增加,压力恢复和柱塞气举周期的时间都明显增加;当地层压力降到一定值,井口油套压无法恢复到要求值,柱塞气举不能正常进行。井口套压是由地层压力所决定的,气井能够恢复的最大套压就等于地层压力减去气柱和油套环空积液所产生的压力。因此,只有当地层压力高于一定值时,井口套压就恢复到合理的值,这样才能实施柱塞气举来进行排水采气。

**作者简介:**何顺利,1952年生,副教授;主要从事油气藏工程和油气田开发工程研究。地址:(102249)北京市昌平区石油大学石油天然气工程学院。电话:(010)89734268。E-mail:wuzhijun648@sina.com

表1 气液比对柱塞气举影响的计算结果

气液比	( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	3000	2000	1500	1000	500	300
开始时井口套压	(MPa)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
开始时井口油压	(MPa)	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	5.5
开始柱塞上面液柱高度	(m)	299.86	299.86	299.86	299.86	357.9	471.33
续流生产时间	(s)	5400	3000	1900	800	0	★
结束时柱塞上面液柱高度	(m)	298.11	296.76	299.66	299.95	356.04	
柱塞气举周期时间	(s)	8196	5645	4401	3072	1980.5	
周期气井产气量	( $\text{m}^3$ )	3970	2639	1914	1363	815	

★:柱塞不能进行正常气举。

表2 地层压力对柱塞气举影响的计算结果

地层压力(MPa)		18.0	16.0	15.0	14.0	13.5	13.0
开始时井口套压	(MPa)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	★
开始时井口油压	(MPa)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
开始柱塞上面液柱高度	(m)	299.86	299.86	299.86	299.86	299.86	
柱塞到达井口时间	(s)	885	905	920	935	940	
压力恢复所需时间	(s)	1275	2715	3835	5675	7525	
柱塞气举周期时间	(s)	4400	5902	7120	9225	11240	
周期气井产气量	( $\text{m}^3$ )	1914	1995	1983	1986	2011	
结束时柱塞上面液柱高度	(m)	299.66	299.13	298.6	299.20	299.12	

★:井口套压不能恢复到要求值。

### 三、柱塞气举的阻力因素分析

在柱塞举液上升过程中柱塞上面的气体压力是阻止柱塞上升的阻力,这个气体压力是由输气管线压力(分离器压力)、地面管线长度和内径、井口气嘴直径和集气站气嘴直径所决定的。对于一口具体气井而言地面管线长度和内径是固定的,为减少气嘴阻力,要求将它开到最大,但井口气嘴的最大直径是由薄膜阀的规格和型号所决定的,集气站气嘴的最大直径一般由针型阀的规格和型号所决定;因此除输气管线压力外其它因素基本上为定值。假设其它参数不变化的情况下,现计算输气管线压力的增加对柱塞气举造成的影响,计算结果发现:随着输气管线压力的增加,虽然柱塞到达井口时间、压力恢复所需时间和柱塞气举周期时间增加都不大,气井周期产气量下降也不大,但是当输气管线压力增加到一定值时,柱塞就不能正常举液。因此,对于一口具体气井而言,降低输气管线压力可以延长柱塞气举使用时间,增加柱塞气举的排水采气量。

### 四、柱塞气举的体积因素

在柱塞举液上升过程中气井的深度决定着柱塞

气举运动的距离以及油套环空膨胀的大小,气井越深,柱塞气举运动的距离越长,油套环空膨胀要求越大。假设在其它参数不变化的情况下,现计算气井深度的变化对柱塞气举的影响,发现随着气井深度的增加,在相同井口油套压的情况下,柱塞上面液柱高度和周期气井产气量都有一定增加,柱塞到达井口时间、压力恢复所需时间和柱塞气举周期时间都在明显增加;当井深增加到一定深度后井口套压不能恢复到设定值。因此,随着气井深度的增加,要采用柱塞气举,地层必须具有更高的压力和产气量。

通过上述对柱塞气举影响因素分析,为保证柱塞气举实施正常,气液比、地层压力、产气量必须高于最低值,而对输气管线压力和井深有最高值的限制,只有它们相互之间达到合理的匹配时柱塞气举才能正常进行。当然根据柱塞气举使用的限制条件,并结合采气动态曲线,可计算出实施柱塞气举能够采出的气量,从而对柱塞气举进行经济可行性评价。

### 五、柱塞气举的优化设计

为保证气井柱塞气举正常和较高产量,需要对影响柱塞举升和井口产气量的各个参数进行优化设

计。对于一口实施柱塞气举的气井而言,可以将影响柱塞气举因素分为不可控因素和可控因素两大类。不可控因素有:气液比、气层的流入动态方程(地层压力和产气量)、输气管线压力(或分离器压力)、地面管线长度和内径、井站和集气站的气嘴大小以及柱塞下死点的高度。可控因素为:开井时井口油压和套压、续流开井时间、井筒积液高度。柱塞气举优化设计就是对可控因素进行优化设计,虽然开井时井口油压和套压、续流开井时间、井筒积液高度是可控因素,但是开井时井口油压和套压、续流开井时间决定井筒积液高度,当续流时间和开井时套压一定时,开井时油压就相对应一个定值;因此,柱塞气举的优化实质上是对开井时油压和续流开井时间这两个参数进行优化。

利用现场一口实际气井的资料进行优化设计计算,并得到以下认识:①当续流开井时间保持不变时,随着开井时套压的降低,单周期产气量、柱塞上面液柱高度和单周期需要时间都将降低;而日产气量和日运行周期数上升;②周期产气量随着套压和续流开井时间的增加而增加;但是,当套压较小时,续流开井时间增加到一定程度后,柱塞无法正常进行气举(液柱高度较高);③柱塞上面液柱高度(每次举升的液量)随着套压和续流开井时间的增加而增加;应该注意,当套压较小(地层压力较低)时,如果液柱高度增到一定高度,就可能发生柱塞无法正常到达井口的情况;④日产量随着套压的减少和续流开井时间的增加而增加;⑤柱塞日运行周期数随着套压和续流开井时间的增加而减少。通过对比分析发现,只有当开井时套压和续流时间取值合理时,既达到正常柱塞气举又能有较高的日产气量。本实例井是当套压为 22 MPa、续流开井时间为 5000 s 时,日产气量为  $36255 \text{ m}^3$ ,这是较优的柱塞气举方案。注意在实施柱塞气举过程中地层的气在不断被采出,地层压力和产气量不断降低,因此,柱塞气举实

施一段时间后需要针对地层压力的变化再重新进行优化设计。

## 六、结 论

(1)影响柱塞气举的因素可以分为动力、阻力和体积三大因素。

(2)为保证实施正常柱塞气举,气液比、地层压力和产气量必须高于最低值,而对输气管线压力和井深有最高值的限制。

(3)通过优选开井时套压和续流生产时间,既能保证柱塞气举正常运行又能有较高的日产气量。

(4)随着柱塞气举的进行,气井生产条件也要发生变化,需要针对变化后的条件重新进行优化设计。

## 参 考 文 献

- 1 李长书.智能柱塞气举采油工艺在塔河油田的应用.中国石油钻探技术,2002;(3)
- 2 吴志均.低压低渗气藏采气工艺配套技术研究.石油大学(北京)博士后出站报告,2004;(2)
- 3 汪崎生,廖锐全.柱塞气举特性分析.原江汉石油学院学报,2000;(3)
- 4 张福君,武光生,李广月.柱塞气举工艺分析及在中原油田的应用前景.中原钻采技术,1991;(3)
- 5 Lea J F. Dynamic analysis of plunger lift operations. JPT, 1982;(11)
- 6 Chacin J *et al.* Modeling and optimization of plunger lift assisted intermittent gas lift installations. SPE 23683
- 7 Beauregard E M, Ferguson P. How plunger lift affects production. SPE International, 1981;(7)
- 8 Baruzzi J O A, Alhanati F J S. Optimum plunger lift operation. SPE 29455
- 9 Solesa M. Powlift: A computer program for designing and optimizing intermittent gas lift. SPE 22299

(收稿日期 2005-05-12 编辑 韩晓渝)