

◀ 钻井完井 ▶

doi:10. 3969/j. issn. 1001-0890. 2012. 06. 003

## 气体钻井井眼排液工艺技术及应用

杨俊锋, 陈永明, 赵绪龙

(中国石化胜利石油管理局钻井工艺研究院, 山东东营 257017)

**摘 要:**为了提高气体钻井作业时效,保障气体钻井作业快速安全进行,在常规气体钻井井眼排液方法(气举排液法和充气排液法)的基础上,提出了一种新方法——交替排液法。气举排液只使用气体注入设备空压机和增压机,充气排液和交替排液还需要使用液体注入设备钻井泵。介绍了井眼排液原则、钻具组合、降低井筒液柱压力的作业方式和井眼排液施工工艺;实例分析了气举排液法、充气排液法和交替排液法的现场应用效果。对比分析表明,浅井排液中,可采用一次性气举排液;深井排液中,采用分段气举排液耗时达 30 多小时,采用充气排液或交替排液仅需几小时,其中交替排液法时效更高,值得推广应用。

**关键词:**气体钻井 气举排液 充气排液 交替排液

**中图分类号:**TE28 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2012)06-0013-04

## Well Unloading Technology in Gas Drilling and Its Application

Yang Junfeng, Chen Yongming, Zhao Xulong

(Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Administration, Sinopec, Dongying, Shandong, 257017, China)

**Abstract:** To enhance the efficiency and ensure the safety and speed of gas drilling, a new unloading method named alternative unloading was put forward on the basis of conventional unloading method (gas lifting and aerated unloading). Except gas injection equipment for gas lifting unloading, drilling pump is used as liquid injection equipment for aerated unloading and alternative unloading. The paper presents the cases and results of gas lifting unloading, aerated unloading and alternative unloading. Through the comparison and analysis of their field application, it is found that gas lifting is suitable for the shallow well one-off unloading; and aerated unloading or alternative unloading is suitable for the deep well, and alternative unloading is more efficient. This technology is worthy to be promoted.

**Key words:** gas drilling; gas lifting unloading; aerated unloading; alternative unloading

气体钻进施工前,需要先把井筒内的钻井液或水完全举升到地面来,这一作业叫井眼排液<sup>[1]</sup>。由于通常直接用气体替换井内液体,现场也叫气举,即气举排液,但它只是排液方式之一。井眼排液前,井筒流体的来源主要有 2 类:一类是开钻前扫除水泥塞和套管附件时的原钻井液,一类是气体钻井施工中的地层出水、封井液以及泡沫基液等。井眼排液时,一旦气体通过钻头进入环空,占据原来的流体空间,由于液体的不可压缩性,环空液柱会不断上移并最终排出。在深井中,这一过程耗时可能长达几十小时甚至几十小时。随着气体注入总量的增加,环

空液柱越来越短,液体排出速度逐渐加快,环空压力急剧降低。此时被压缩气体的体积会急剧膨胀,并携带液体高速返出。高速流体存在损坏排液管线和地面设备的潜在危险,并对现场人员人身安全构成威胁。为了保证作业安全,提高作业时效,需要提前优化选择排液方法,详细制定施工措施,确保施工作

收稿日期:2012-02-15;改回日期:2012-10-07。

作者简介:杨俊锋(1976—),男,四川岳池人,2000年毕业于西南石油学院石油工程专业,工程师,主要从事欠平衡、气体钻井方面的科研与现场技术服务工作。

联系方式:(0546)8553615, dyjyf@tom.com。

业安全快速进行。

## 1 井眼排液方法

根据气体钻井排液深度、设备配套及工作压力等级等的不同,目前常见的井眼排液方法主要有气举排液法和充气排液法2种。此外,在现场实践的基础上形成了一种新方法——交替排液法。

### 1.1 气举排液法

气举排液法不使用钻井泵<sup>[2]</sup>。该方法的施工步骤是:将钻具下至井下一定深度,接好立管供气管线,启动空气压缩机和增压机开始循环注气,把井下液体直接举升到地面,当井口返出纯气后,停止注气,第一次气举结束;卸下方钻杆或顶驱,第二次下钻,同时重复上述操作;如此多次,直至井底,把井内液体全部排出。

根据气体设备的工作压力等级,可将气体系统分为低压系统和高压系统2大部分。无论采用何种方式,单次气举排液最大深度取决于气体设备的额定工作压力<sup>[1]</sup>:

$$D_{\max} = \frac{p_{\max}}{0.0098\rho} \quad (1)$$

式中: $D_{\max}$ 为最大举升深度,m; $p_{\max}$ 为气体设备额定工作压力,MPa; $\rho$ 为钻井液密度,kg/L。

井眼较浅时,举升压力在供气装置额定工作压力范围内且供气装置能够安全作业时,可一次性完成气举排液,不需要分段进行。值得注意的是,分段气举排液时,第二段以后(包括第二段)的钻具下入深度要考虑钻具内液体进入环空造成的液柱压力增大。

### 1.2 充气排液法

充气排液法运用气侵诱喷的原理<sup>[3]</sup>。该方法的施工步骤是:将钻具下至井底,用钻井泵小排量循环,维持较低的立管压力,同时小排量注气;当气体返到地面后,可逐渐降低钻井泵排量、增大气体注入量,确保整个过程中立管压力低于增压机额定压力;当立管压力降低到一定程度后,钻井泵停止运行,继续注入气体将井筒中的液体全部举升出来。如果需要,还可用雾化泵或钻井泵注入含有起泡剂的发泡基液帮助排液。

### 1.3 交替排液法

交替排液法综合了上述2种排液方法:事先拟

定注气最高压力和注液最低压力,交替注气、注液,排出大部分井眼液体后,再进行一次性气举排液。具体实施时,将钻具一次性下至井底;先开增压机供气,当气柱举升压力达到事先设定的最高压力值(如8 MPa),停止注气但不泄压,然后开泵供液,随着进入钻具内的钻井液增多,气柱段塞下行的同时还不断受到压缩,立管压力逐渐降低,当泵入的钻井液积累到一定高度,立管压力降低至事先设定的最低压力值(如6 MPa)时,停泵;继续供气至设定压力,停气不泄压;再开泵注液,立压降至设定值时,停泵;如此交替作业,直到立管压力持续稳定在增压机安全工作范围内时,再按一气性气举法进行作业。供气 and 供液均以较大排量进行,有利于加快排液速度、缩短作业时间。

目前,国内气体钻井工艺日趋完善,井眼排液技术也不断提高。3种井眼排液方法中,气举排液法和充气排液法应用较多,交替排液法暂时应用较少。

## 2 井眼排液工艺

### 2.1 排液原则

1) 通常用井眼原浆钻完水泥塞和套管附件,不打开新地层,然后进行排液。原则上不用气体钻井钻水泥塞和套管附件,因为套管附件钻屑不易被携带出井,且出井钻屑易在排屑管内堵塞,不利于返砂;堵塞严重时,甚至造成排屑管断裂。

2) 气体钻井中,原则上不推荐做地层承压试验。对于要求做地层承压试验的井,用井内钻井液钻完水泥塞和套管附件,再打开新地层1~2 m,做地层承压试验,最后排液。

3) 对于拟采用泡沫钻井的井眼,可先用泡沫排液,再钻水泥塞和套管附件。

4) 前一开次采用干法固井的井眼,可先排液,再用气体钻井钻完水泥塞和套管附件。

### 2.2 钻具组合

为节省钻井时间,推荐所采用的入井钻具组合跟气体钻井钻具组合一致,但需要注意以下几点:

- 1) 钻头不装喷嘴;
- 2) 井眼较浅时,可以只在钻具底部安装钻具止回阀;
- 3) 井眼达一定深度时,需同时在钻具底部和上部安装钻具止回阀;完成气举排液后,考虑钻进或测

斜需要,可卸掉上部钻具止回阀。

### 2.3 降低井筒液柱压力

针对井内钻井液密度较高、气举排液压力过大的情形,为减小气体设备的工作负荷,有必要降低井筒内的钻井液液柱压力。主要有用清水替换原浆、钻井液降密度 2 种作业方式。

**直接用清水替换原浆** 在水源充足、循环罐足够的情况下,可以直接用清水来替换井筒原浆。这样既能大大降低井筒液柱压力,又能降低气举时的循环压耗。该方法操作简便,但需要多准备几个循环罐。

**钻井液降密度作业** 向井筒内混入轻浆或直接用轻浆替换重浆,可以在一定程度上降低井眼液柱压力,操作时利用现有循环罐即可实现。

### 2.4 井眼排液施工

对井眼做充分准备后,将钻头提离井底 0.5~1.0 m,倒好循环流程,按气体设备高低压能力调试至正常,按所选排液方案开始供气(或同时供液)排液。为降低沿程摩阻及冲击和水击效应,通常以小排量供气(1~2 台空压机)配合一台增压机作业,

但气量过小又会增加作业时间,因此可以先大后小的方式注气,加快施工进度。施工过程中要注意安全,持续监测记录钻井液回收增加体积,当大量液体排出且流量开始减小时,可适当控制节流装置以利于充分排液,或逐步减小供气量,等到地面返出纯气体,才停止供气。条件具备时可采用多通路排气快速泄压,结束排液作业。

## 3 现场应用分析

现场应用中,按照增压机单次最大气举排液深度能力,可将井眼排液分成浅井排液和深井排液 2 类。

### 3.1 浅井排液

川东北地区气体钻井实践表明,排液井深在 1 000 m 以浅时,可采用气举排液法一次性完成排液。其中,排液井深仅几十米时,可直接使用空压机气举,作业时间不超过 30 min;井深在 1 000 m 以浅时,也可使用增压机一次性完成气举,作业只需几小时<sup>[4]</sup>。表 1 为川东北地区部分浅井排液试验数据。

表 1 川东北地区部分浅井气举排液数据

Table 1 Recording of air lifting unloading for part of low wells in Northeast Sichuan Area

井号	井深/m	套管尺寸/mm	钻井液密度/(kg·L <sup>-1</sup> )	注气量 <sup>1)</sup> /(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	最高压力/MPa	作业时间/h
普光 301-2	703	346.0	清水	67.5	6.5	0.5
普光 105-2	112	508.0	清水	32.5	1.0	1.5
河坝 107	259	406.4	1.10	65.0	5.0(节流)	3.0
元坝 124	691	476.3	1.10	65.0~130.0	7.0	3.5
元陆 10	712	339.7	1.14	85.0	10.4	2.5
元坝 102-2H	502	508.0	清水	65.0	4.2	1.0

注:1)为标准状况下的数据。

由表 1 可知,浅井一次性气举排液操作简单,时间较短,优势明显。不过,一次性气举压力过高,该做法可能会带来一些问题:首先,气体设备在额定压力下长时间运行,容易出现过热停机保护或其他安全问题;其次,一旦气体通过钻头进入环空,抵消气体压力的静液柱压力减小,压缩气体膨胀,出口液量不断增加,排液越来越剧烈,因为初始排液的立管压力较高,钻柱内气体压缩蓄集大量能量,环空返出的高速流体会损坏排液管线和地面设备;另外,井眼内钻井液的密度并不均匀,且因长时间的静止切力较大,在一定程度上增加了机器负荷,不利于施工安全进行。现场曾多次出现排屑管断裂毁坏的情形。

### 3.2 深井排液

对于深井排液,3 种排液方法都曾试验过。

#### 3.2.1 樊 142-8 井气举排液

樊 142-8 井三开  $\phi 152.4$  mm 井眼氮气钻井排液井深 3 188 m,钻井液密度 1.30 kg/L,供气量 30 m<sup>3</sup>/min(标准状况下,下同),2006 年 11 月 25 日 12:55 开始气举,次日 23:57 气举结束,共分 7 段,整个施工过程耗时约 35 h(见表 2)。

#### 3.2.2 桩古 10 井充气排液

胜利油田桩古 10 井井深 4 100 m,由于该井

表2 樊142-8井分段气举排液数据

Table 2 Segmented air lifting unloading of Well Fan142-8

序号	时间	钻具下入深度/m	下入钻具/柱
1	12:55—14:16	800	28
2	19:58—21:20	1 170	13
3	23:50—01:55	1 598	15
4	04:06—05:55	2 082	17
5	08:08—10:08	2 566	17
6	15:53—18:40	3 079	18
7	21:10—23:57	3 188	井底

较深,采用充气排液法分2次进行。

**第一次充气排液** 下钻至井深3 200 m,开1台空压机和1台增压机,注气量 $25\text{ m}^3/\text{min}$ ,泵排量 $5\text{ L/s}$ ,20 min后立压达到最高(11.3 MPa)并开始下降。提高注气量至 $30\text{ m}^3/\text{min}$ ,降低排量至 $4\text{ L/s}$ ,40 min后立压降至9 MPa;继续降低排量至 $3\text{ L/s}$ ,5 min后立压降至7.3 MPa,停泵,3 h后停气。

**第二次充气排液** 下钻至井底,注气量 $30\text{ m}^3/\text{min}$ ,排量 $3\text{ L/s}$ ,70 min后立压升至9.3 MPa,之后开始下降,10 min后降排量至 $2\text{ L/s}$ ,立压降至7.8 MPa;30 min后停泵,2 h后立压稳定为3.6 MPa,停气。排液结束。

除去设备检修及下钻时间,整个施工过程耗时约7.5 h。

### 3.2.3 兴隆101井交替排液

2011年1月28日,扫完水泥塞和套管附件后,为做地层承压试验,三开钻开新地层1.5 m至井深2 356 m,循环干净,钻具位于井底(无钻具止回阀),钻井液密度 $1.23\text{ kg/L}$ ,采用交替排液法作业。设定增压机最大供气压力为8 MPa,钻井泵顶替压降为2 MPa(立压6 MPa)交替作业。2台空压机和1台增压机配合使用,01:50开始供气,06:05结束作业,整个施工过程耗时仅4.25 h。施工压力曲线如图1所示。

综合分析以上3井例,可以发现:

1) 深井气举排液需分段重复举升,不连续作业,耗时耗力,浪费燃油;井眼越深,分段次数越多,作业时间越长。

2) 与气举排液相比,充气排液和交替排液作业仅需几小时,工作时效提高了3~5倍,具有明显的经济效益。

3) 交替排液一次性下钻到底,排液压力可控,替入液体比充气排液要少,排液时效高,作业安全,

值得大力推广。

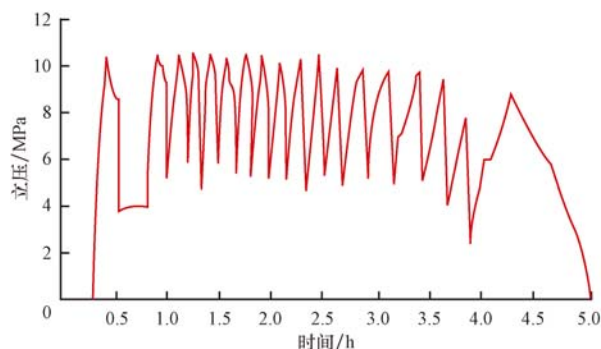


图1 兴隆101井交替排液施工压力曲线

Fig. 1 Pressure curve of alternative unloading of Well Xinglong 101

## 4 结论与建议

1) 井眼排液是气体钻井的重要工序,优选井眼排液方法有利于保障排液工作安全快速进行。

2) 浅井采用气举排液,深井采用充气排液或交替排液法,可以大大提高井眼排液工作时效。

3) 深井井眼排液中,交替排液时效高,作业安全,值得大力推广。

4) 气体钻井排液作业容易出现冲击和水击现象,排屑管属低压管线,为保证钻井设备及人员安全,应当通过节流管汇排液,禁止直接通过排屑管进行高压排液作业。

## 参考文献

### References

- [1] McLennan J, Carden R S, Curry D, et al. Underbalanced drilling manual[M]. Chicago: Gas Research Institute, 1997: 2-33.
- [2] 付道明, 吴晓东, 王景利, 等. 移动式气举技术在哈得油田酸化排液中的应用[J]. 天然气工业, 2008, 28(10): 84-86.  
Fu Daoming, Wu Xiaodong, Wang Jingli, et al. Application of mobile air lifting technology to acidulation and clean-up in the Hade Oilfield[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(10): 84-86.
- [3] 卓云, 陈薇, 晏箭飞, 等. 深井超深井气体钻井一次性气举工艺技术[J]. 钻采工艺, 2011, 34(1): 17-18.  
Zhuo Yun, Chen Wei, Yan Jianfei, et al. One-time air lift technology of air drilling in the deep and ultra-deep wells[J]. Drilling & Production Technology, 2011, 34(1): 17-18.
- [4] 朱江, 王萍, 蔡利山, 等. 空气钻井技术及其应用[J]. 钻采工艺, 2007, 30(2): 145-148.  
Zhu Jiang, Wang Ping, Cai Lishan, et al. Air drilling technology and its application[J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(2): 145-148.