

◆四川地区钻井提速提效专题▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2010.04.009

# 空气钻井技术在元坝地区的应用

肖新磊

(中国石化 胜利西南石油工程管理中心,四川 达州 635000)

**摘要:**元坝地区应用空气钻井技术钻进时,大尺寸井眼携岩差,上部地层易出水,钻进中频频出现断钻具故障。针对大尺寸井眼段的携岩问题,提出采用空气钻井最小气体流量计算方法确定空气、泡沫钻井时携岩所需要的最小气体流量;优选出了适合该地区空气钻井的牙轮钻头和塔式钻具组合;针对元坝地区空气钻井过程易出现地层出水、断钻具、井斜和井壁垮塌等复杂情况,也提出了相应的处理方法和技术措施,并针对元坝地区推广应用空气钻井技术,提出研制性能可靠、使用寿命长的空气锤,防止空气钻井转换为常规钻井液钻井时出现井下复杂情况的建议。

**关键词:**气钻井;钻头;钻具组合;事故处理;元坝地区

**中图分类号:**TE242.6   **文献标识码:**B   **文章编号:**1001-0890(2010)04-0035-03

## Application of Air Drilling Technique in Yuanba Area

Xiao Xinlei

(Southwestern Petroleum Engineering Management Center of Shenli Oilfield, Sinopec, Dazhou, Sichuan, 635000, China)

**Abstract:** When air drilling was used in Yuanba area, the upper wellbore with larger diameter has poor cutting transport ability. The formation is easy to produce water and drilling tools are broken easily. This paper provides a method to determine the minimum of gas flow rate that can transport cuttings when drilling with air or foam in upper wellbore. Drill bits and bottomhole assembly for air drilling were optimized, and the cone bits and tapered bottomhole assembly were determined for air drilling in this area. In order to resolve the problems, such as water production, drilling tools broken, well inclination and wellbore collapse, etc, the corresponding measures were provided. The research to investigate long-life air hammer with reliable performance was suggested. The complex conditions occurred during changing from air drilling to traditional fluid drilling should be prevented.

**Key words:** gas drilling; bit; bottom hole assembly; accident treatment; Yuanba Area

元坝地区是中国石化继普光气田之后新开发的又一重要区块,在2009年下半年开始开展元坝地区钻井提速活动以前,空气钻井已在该地区进行了广泛应用<sup>[1-6]</sup>。但开展提速以后,对井身结构进行了优化,井身结构发生了较大的变化,导致该地区空气钻井过程中出现了岩屑携带困难、地层出水、断钻具等问题。因此必须对出现这些问题的原因进行分析,并提出技术措施和处理方法。

## 1 最小气体流量计算

根据空气采矿钻井的经验,有效携岩所需要的小环空速度在标准状态下为15.24 m/s,空气的

携岩能力可用它的动能来衡量<sup>[7]</sup>,空气所具有动能的计算公式为:

$$E_g = \frac{1}{2} \rho_g v_g^2 \quad (1)$$

式中: $E_g$  为气体动能,J/m<sup>3</sup>;  $\rho_g$  为气体密度,kg/m<sup>3</sup>;  $v_g$  为气体速度,m/s。

在标准状态下,速度为15.24 m/s的空气其所具有的动能为142.26 J/m<sup>3</sup>,该动能值为空气有效携岩

收稿日期:2010-06-02;改回日期:2010-06-19

作者简介:肖新磊(1975—),男,山东博兴人,1995年毕业于胜利石油学校钻井专业,2006年取得中国石油大学(华东)本科学历,技术装备部副主任,工程师,主要从事现场技术管理工作。

联系方式:(0817)6366820,zj3xxl@126.com

所需的小动能。只要保证井眼任意位置的空气所具有的动能大于最小动能,就能确保空气钻井的正常进行。钻铤顶部是空气能量最小的部位,也是岩屑易于积聚的部位,必须保证该部位空气的动能大于最小动能。由此可推导出最小气体流量的计算公式<sup>[8]</sup>。

地温梯度模型为:

$$\frac{R\rho_{gs}(T_s + Gh)q_{gs}^2}{3600v_{go}^2A_a^2} = \sqrt{\left(p_s^2 - \frac{abT_s^2}{G-a}\right)\left(\frac{T_s + Gh}{T_s}\right)^{\frac{2a}{G}} + \frac{ab(T_s + Gh)^2}{G-a}} \quad (2)$$

平均温度模型为:

$$\frac{R\rho_{gs}(T_s + Gh)q_{gs}^2}{3600v_{go}^2A_a^2} = \sqrt{(p_s^2 + bT_{av}^2)e^{2ah/T_{av}} - bT_{av}^2} \quad (3)$$

其中

$$a = \frac{g}{R} \left[ 1 + \frac{\frac{\pi}{4}d_b^2\rho_s R_p + (\rho_l q_l + \rho_w q_w + \rho_o q_o)}{60q_{gs}\rho_{gs}} \right] \quad (4)$$

$$b = \frac{fq_{gs}^2\rho_{gs}^2R^2}{7200gA_a^2d_H} \quad (5)$$

式中: $p_s$  为套压,Pa; $T_s$  为地面温度,K; $G$  为地温梯度,K/m; $h$  为井深,m; $T_{av}$  为平均绝对温度,K; $\rho_s$ 、 $\rho_l$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_o$  分别为岩屑、注入液、地层产出水和油的密度,kg/m<sup>3</sup>; $\rho_{gs}$  为气体在标准状态下的密度,空气为1.2258 kg/m<sup>3</sup>,氮气为1.2520 kg/m<sup>3</sup>; $q_{gs}$  为标准状态下的气体循环流量,m<sup>3</sup>/min; $q_l$ 、 $q_w$ 、 $q_o$  分别为注入液、产出水和产出油的流量,m<sup>3</sup>/h; $R_p$  为机械钻速,m/h。 $d_b$  为钻头直径,m; $d_H$  为水力直径,m; $A_a$  为环空截面积,m<sup>2</sup>; $f$  为摩阻因数; $R$  为气体常数,对于空气, $R=287.06\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ ,对于氮气, $R=297.00\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ ; $g$  为重力加速度,m/s<sup>2</sup>; $v_{go}$  为大气条件下的最小环空速度,m/s。

Boyuan Guo 等<sup>[9]</sup>采用 von Karman 经验公式计算摩阻因数,von Karman 经验公式为:

$$f = \left[ 2\lg\left(\frac{d_b - d_p}{e}\right) + 1.14 \right]^{-2} \quad (6)$$

式中: $d_b$  为井眼直径,m; $d_p$  为钻杆直径,m; $e$  为绝对表面粗糙度,m。

气体钻井中难以预计绝对粗糙度,但根据下式可以计算环空的平均粗糙度:

$$e = \frac{[e_p H_c + (e_p d_i + e_b d_b)(H - H_c)/(d_i + d_b)]}{H} \quad (7)$$

式中: $d_i$  为环空内径(钻杆外径),m; $e_p$  为钻杆和套管的

粗糙度,m;如果不考虑钻杆接头, $e_p = 0.000\ 045\ 7\text{ m}$ ; $e_b$  为裸眼段井壁的粗糙度,m; $H_c$  为套管鞋深度,m。

式(3)适用于气体、雾化和不稳定泡沫钻井。式(2)和式(3)为隐函数,需采用迭代法求解。

这里需要说明的是,所谓标准状态指国际标准大气海平面状态,即压力0.101 325 MPa,温度15℃。

利用上述公式计算出的气体流量为标准状态下的空气流量,而实际地面条件下的空气流量还需要校正,校正公式为:

$$q_{ga} = \frac{R\rho_{gs} T_{at}}{p_{at}} q_{gs} \quad (8)$$

式中: $T_{at}$  为实际大气温度,K; $p_{at}$  为实际大气压力,Pa; $q_{ga}$  为实际干空气流量,m<sup>3</sup>/min。

国际标准大气压力和温度随海拔高度变化的计算式为:

$$T = 288.15 - 0.0065 H \quad (9)$$

$$p_H = p_0 \left( \frac{288.15 - 0.0065 H}{288.15} \right)^{5.255\ 88} \quad (10)$$

式中: $T$  为不同海拔高度的大气温度,K; $H$  为海拔高度,m, $p_H$  为不同海拔高度的大气压力,Pa; $p_0$  为海平面的大气压力,Pa。

湿度校正公式:

$$q_{gh} = \frac{p_{at}}{p_{at} - f_w \phi p_w} q_{ga} \quad (11)$$

式中: $q_{gh}$  为湿空气流量,m<sup>3</sup>/min; $f_w$  为水分离效率,无量纲; $\phi$  为相对湿度,无量纲; $p_w$  为饱和水汽压, $p_w = 610.8e^{\frac{17.27t}{t+237.3}}$ ,Pa; $t$  为气温,℃。

## 2 气体钻井钻头和钻具组合优选

### 2.1 钻头选型

元坝地区一开空气钻井推荐采用φ444.5 mm牙轮钻头,ST537GK型和SKH517CGK型牙轮钻头均有不错的效果,单只钻头进尺最高超过2 000 m(元坝10井)。其中SKH517CGK型牙轮钻头带有中心喷嘴,更有利清除井底岩屑。该地区曾试用过空气锤,但效果均不理想,出现了空气锤停止工作的现象:元坝123井采用四川京石产的空气锤钻进189 m后,空气锤停止工作。因此,建议该地区一开使用牙轮钻头钻进,一般2只牙轮钻头就能钻至设计井深。

### 2.2 钻具组合

推荐使用以φ279.4、φ228.6 和φ203.2 mm 钻

铤为主的塔式钻具组合,钻头上安装回压凡尔,在接单根放气速度慢后,可以在钻具内接入回压凡尔。由元坝地区已钻井各层系倾角、倾向统计结果可知,地层倾角为 $0.20^\circ \sim 7.58^\circ$ ,总体看地层较为平缓。因此,在进行空气钻井时只要控制好钻压、转速,使用塔式钻具组合就能够较好地控制井眼轨迹。为了避免发生井下故障,钻具组合中推荐加入随钻震击器。

### 3 复杂情况处理

#### 3.1 地层出水

空气钻井时,如果地层出水易引起卡钻,甚至会造成井下着火。但元坝地区一开井段出水的概率比较小,个别井有出水现象,但并不是特别严重,元坝124井在钻至井深780 m时,出现出水现象,加大气量进行循环,井下情况有所好转,空气钻井得以继续。钻进过程中如出现出水现象,一定要加大气量循环,切勿停气观察,否则易造成井下故障。大气量循环如能克服地层少量出水就可以继续进行空气钻井,否则就应转换钻井方式。

#### 3.2 断钻具

由于空气钻井对钻具损害比较大,因此,一定确保入井钻具的质量。一开 $\phi 444.5\text{ mm}$ 井眼塔式钻具组合中的 $\phi 228.6$ 和 $\phi 203.2\text{ mm}$ 钻铤易出现疲劳断裂, $\phi 203.2\text{ mm}$ 钻铤尤为突出。因此,在开钻前必须对钻铤进行探伤,起钻换钻头后也要对钻具进行探伤,避免出现断钻具故障。

#### 3.3 井斜

虽然元坝地区地层倾角较小(一般 $8^\circ$ 以内),不易发生井斜,但空气钻井过程中仍存在井斜问题,如元坝16井最大井斜角达到 $8^\circ$ ,元坝271井最大井斜角也达到了 $7^\circ$ 。接单根或立柱前要充分划眼,检测到发生井斜后,一般采用小钻压吊打方式纠斜。由于井斜会给后续的施工带来隐患,因此,要通过控制钻压、转速等参数避免井斜的发生。

#### 3.4 井壁垮塌

元坝地区空气钻井过程中,上沙溪庙组地层下部出现了不同程度的垮塌现象。该地区井壁垮塌的具体表现是:循环压力高;停气接单根后钻具不能活动,必须开气循环一定时间,气压正常后钻具才能活动;接单根后不能放至井底,井底沉砂现象严重;钻进时

扭矩偏大,容易憋停顶驱或转盘;上提钻具阻卡严重,必须开气循环甚至倒划眼。已钻井空气钻井结束一般都是由于井壁垮塌导致的。由于井壁垮塌,扭矩增大,钻压一般控制在100 kN左右,转速50~60 r/min。出现井壁垮塌现象后,给钻井带来很大的风险,若地面设备出现故障,非常容易引起卡钻,造成严重损失。因此,建议井深超过3 000 m后,可以根据井下情况、设备能力确定是否终止空气钻井。

### 4 结论与建议

1) 元坝地区 $\phi 444.5\text{ mm}$ 井眼空气钻井按照最小动能准则计算最小空气流量是切实可行的,可以利用理论计算值配套相应的空气压缩机和增压机,根据井深、井眼尺寸、携岩效果确定最优气体排量。另外,考虑到地层出水、垮塌等因素,空气压缩机应多配套1~2台,增加井下安全保障能力。

2) 元坝地区由于下沙溪庙组底部地层容易垮塌,部分井还有出水情况发生,建议要依据井下情况、设备能力、人员素质等因素合理确定空气钻井完钻井深。

3) 建议开展 $\phi 444.5\text{ mm}$ 空气锤研究,若能利用一只空气锤钻至一开设计井深,可以大幅提高机械钻速,缩短钻井周期。另外,空气锤钻进需要的钻压小,有利于控制井身质量和避免断钻具故障。

4) 加强空气钻井结束后钻井液转换的研究,避免钻井液转换后出现井下复杂情况。

### 参 考 文 献

- [1] 陈济峰,燕修良,高航献.川东北地区气体钻井实践与认识[J].石油钻探技术,2009,37(4):39~42.
- [2] 李伟廷.元坝1井超深井钻井技术[J].石油钻探技术,2009,37(2):94~99.
- [3] 张克勤.元坝地区钻井难题分析与技术对策探讨[J].石油钻探技术,2010,38(3):27~31.
- [4] 陈济峰,李根生,万立夫.川东北地区钻井难点与对策[J].石油钻探技术,2009,37(6):48~52.
- [5] 侯树刚,刘新义,杨玉坤.气体钻井技术在川东北地区的应用[J].石油钻探技术,2008,36(3):24~28.
- [6] 王光磊,侯健,于承朋,等.元坝1井钻井设计与施工[J].石油钻探技术,2008,36(3):41~45.
- [7] John McLennan, Richard S Carden, David Curry, et al. Underbalanced drilling manual[M]. Chicago: Chicago Gas Research Institute, 1997:2~15.
- [8] William C Lyons, Boyun Guo, Frank A Seidel. Air and gas drilling manual[M]. New York: McGraw-Hill, 2001:6~21.
- [9] Boyun Guo, Ali Ghalambor. Gas volume requirements for underbalanced drilling[M]. Tulsa: Pennwell Corporation, 2002:46~65.