

空气定向水平井钻进注气量试验研究

向军文^{1,2}, 刘 强^{1,2}, 隆 东²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:通过对空气正循环水平井的注气量进行实验研究, 得出实际注气量应是满足关键点处最小动能时, 将井底理论计算压力扩大 1.7 倍以后所对应的注气量, 这对实际钻井前的设计有很好的指导作用。

关键词:空气正循环钻井; 水平井钻进; 注气量; 井底压力

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)11-0007-03

Experimental Study on the Air Injection Volume of the Horizontal Well/XIANG Jun-wen^{1,2}, LIU Qiang^{1,2}, LONG Dong² (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: This article obtains that the actual air injection volume should be 1.7 times of the theoretical down hole pressure according to the smallest kinetic energy of the key points. The experimental study on the air injection volume of horizontal well has good instructions before designs on the actual well drilling.

Key words: air directional drilling; horizontal well drilling; air injection volume; bottom hole pressure

0 引言

空气定向钻井中注气量设计成功与否关系到工程的成败及工程费用等问题。理论计算中所设定的理想条件, 因实际工程中难以达到而产生至少 50% 以上的偏差。为较好地解决注气量的计算, 通过建立透明实验条件, 进行了模拟钻具组合空气循环管路压差测试; 混合颗粒气力输送沿环空压力测试; 不同钻速条件下群颗粒悬浮临界风速测试; 管路加载后性能测试及不同气量下固体质量流量测试等 5 种类型实验, 选用了 0.4、1.6 及 2 mm 三种颗粒, 模拟 6.5、13 和 30 m/h 三种不同钻速。通过实验分析, 实际井底需要的压力比理论计算的井底压力大 1.7 倍以上。因此, 最好是通过在满足造斜段变径处关键点最小动能情况下, 将理论计算井底压力扩大至少 1.7 倍以后的注气量作为实际需要注气量。该模型是解决空气定向钻井注气量较好的设计方法之一, 为工程现场设计提供一条实用计算方法。

1 实验装置

1.1 实验系统

实验系统主要由 L 型水平井钻进模拟装置(见图 1)、空气压缩机、管路系统、进料与收料装置、气量调节装置、测量与控制装置组成, 空气正循环水平

井钻进工艺模拟实验台架如图 2 所示。

1.2 实验装置系统精度分析

根据误差分析理论, 以管道阻力系数 λ 的误差为衡量标准, 对本实验装置的系统误差作出分析, 由 Darcy 公式:

$$\lambda = \frac{\pi^2 D^5 \Delta p}{8\rho L Q^2} \quad (1)$$

可得到其非线性关系下误差传递的公式:

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\sigma_{\Delta p}^2 + 25\sigma_D^2 + \sigma_L^2 + 4\sigma_Q^2} \quad (2)$$

其中, 压差变送器的精度为 0.5 级, 即相对误差为:

$$\sigma_{\Delta p} = \pm 0.5\%$$

涡轮流量计的精度为 1 级, 即相对误差为:

$$\sigma_Q = \pm 1\%$$

管径的测量采用最小分度为 0.02 mm 的游标卡尺, 对 $\varnothing 19$ mm 的管道来说其相对误差为:

$$\sigma_D = \pm (0.02/2)/19 = \pm 0.053\%$$

对管长的测量采用最小分度为 1 mm 的卷尺, 对 1.5 m 长的输送管道来说, 相对误差为:

$$\sigma_L = \pm (1/2)/1500 = \pm 0.033\%$$

将上述数据代入(2)式得到 λ 的相对误差为:

$$\sigma_\lambda = \pm 2.079\%$$

收稿日期: 2008-10-18

基金项目: 国土资源部“百人计划”项目支持

作者简介: 向军文(1967-), 男(汉族), 湖北黄梅人, 中国地质大学(北京)博士研究生在读, 中国地质科学院勘探技术研究所特钻中心主任、教授级高级工程师, 地质工程专业, 从事定向钻进技术研究及开发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号; 刘强(1963-), 男(汉族), 湖北恩施人, 中国地质大学(北京)博士研究生在读, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师, 地质工程专业, 从事地质钻探技术研究及开发工作。

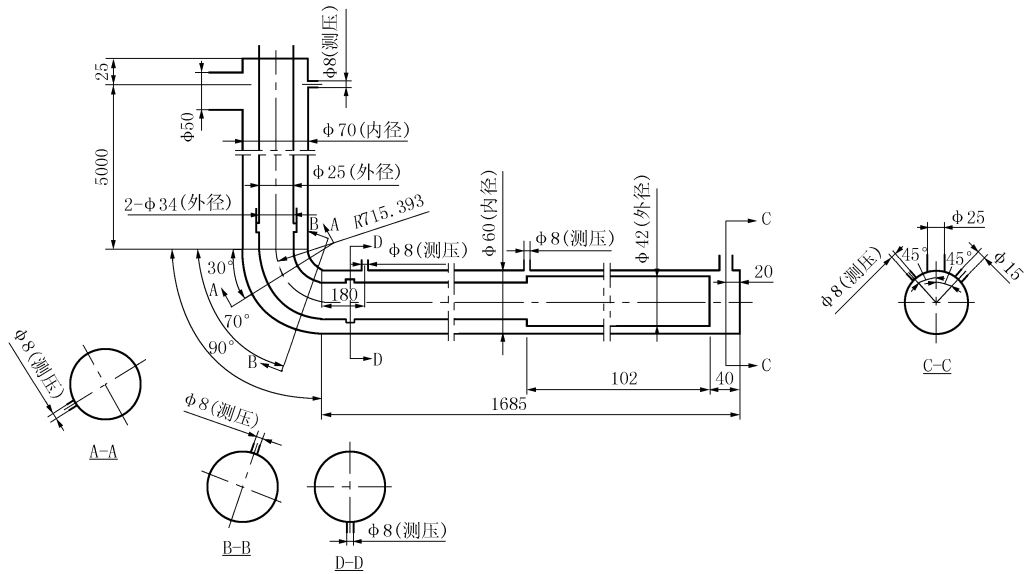


图 1 水平井钻进模拟装置

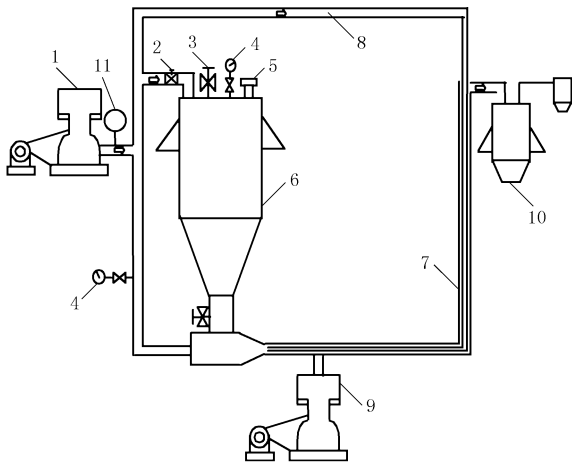


图 2 实验系统示意图

1—空气压缩机;2—进气调节阀;3—进料阀;4—压力传感器;5—料位计;6—发送仓;7—水平井钻进模拟装置;8—环空进气;9—加负载;10—收料仓;11—气体流量计

即采用本试验装置进行管道输送阻力系数 λ 实验时,系统固有误差为 2.079%。

2 数据结果及分析

2.1 实验数据处理

实验测量数据见表 1,实验实际井底压力与理论计算压力数据见表 2。

通过表 2 可以得到:相同的注气量下,实际需要的井底压力是理论计算井底压力的 1.7 倍。因此,地面注气量实际应是通过在满足造斜段变径处关键点最小动能情况下,先计算出井底理论计算压力,然后将理论计算井底压力扩大至少 1.7 倍,再倒推而得到的注气量即为实际需要注气量。

2.2 实验规律应用

应用上述实验得出的规律,即可采用以下的流

表 1 气固两相流沿环空实验测量数据表

钻速 $/(m \cdot h^{-1})$	压差/kPa					实验注入压力 /kPa	实验注入气量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$
	孔底到水平 段变截面段	变截面到弯 曲段 90°段	90°到 70°段	70°到 30°段	30°到直 井段顶端		
6.5	1.0398	1.7762	-2.2759	-1.4602	15.5973	375	3.47
13	1.07	4.0136	-3.0216	-1.7091	25.682	385	4.17
30	1.1983	6.1393	-2.6244	-1.046	37.5487	370	4.93

表 2 理论计算井底压力、实验实际井底压力及实验测量井底压力数据对比表

注气量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	实验实际孔 底压力/kPa	理论计算孔 底压力/kPa	实验测得孔 底压力/kPa	实际值与测量 值相差倍数	测量值与计算 值相差倍数	实际值与计算 值相差倍数
3.47	375	101.623	116.002	3.233	1.141	
4.17	385	101.876	127.360	3.023	1.250	
4.93	370	102.328	142.541	2.596	1.393	
平均值				2.950	1.262	1.689

程设计和修正空气定向钻井,为合理选择空压机提供依据(见图3)。

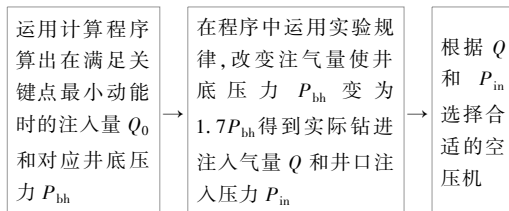


图3 空气钻进计算程序流程图

3 算例

以下面的实际工程为例,进一步说明本实验得出的规律对实际钻井设计的指导意义。

井深为 2460 m(大斜度井),造斜点井深为 1240 m,增斜井段为 1240 ~ 1846 m,造斜半径 641 m,稳斜段 1846 ~ 2460 m,稳斜段井斜角 71° ,技术套管下深为 1846 m,套管内径为 0.16861 m;钻杆内径为 0.0661 m,钻杆外径为 0.0889 m,钻铤内径为 0.0508 m,钻铤外径为 0.12065 m,钻头外径为 0.15244 m,3 个水眼,内径为 0.0089 m,钻速为 0.00181 m/s;在钻头与钻铤连接处安装 2 个单流阀,在方钻杆与钻杆连接处安装一个单流阀;环境温度 288 K,井口温度为 285.5 K,地温梯度为 0.03 $^\circ\text{C}/\text{m}$,当地大气压力为 97850.58 Pa,标准状态下空气的密度 1.293 kg/m^3 ,沉积岩岩屑密度为 2800 kg/m^3 。

根据钻井经验得出:若对泥页岩、泥质胶结低强度砂岩,扩大 1.3 ~ 1.5;若对碳酸盐岩、变质岩、火成岩等硬脆地层,扩大 1.7 ~ 2,作为水平井所需最小注气量。由于此模型假设的是钻进沉积岩,所以把计算结果乘以 1.7 ~ 2,得到的值作为钻进此水平井所需最小注气量。

利用 William C. Lyons、Boyun Guo 和 Frank A.

Seidel 建立的模型,算出在满足关键点最小动能的前提下,理论最小注气量为 0.39475 m^3/s 。

根据上述钻井经验可以得到实际钻井时:

$$\begin{aligned} \text{空气的注入量} &= 0.39475 \times 2 \\ &= 0.7895 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 47.37 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

根据本实验得的模型而得到的结果:

$$\begin{aligned} \text{空气的注入量} &= 0.75869 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 45.52 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

此时对应的井口注入压力 $P_{in} = 3.5 \text{ MPa}$

由计算结果可以看出,用本实验得出规律对理论模型计算值进行修正后得到的注入气量跟实际钻井时的注入气量误差范围为 4.063%,而系统固有误差为 2.079%,可见实验得出的规律算出的空气注入量与实际符合得很好。

4 结论

(1) 本论文设计建立了功能较为完善的模拟空气正循环水平井钻进实验台架;

(2) 相同的注气量下,实际井底压力是理论计算井底压力的 1.7 倍;

(3) 通过实际工程中理论与本模型修正前后的注气量比较得出:本实验得到的规律在对理论计算的注气量进行修正后与实际钻井时的情况符合得较好,说明本实验模型对空气定向钻井设计有较好的指导作用。

参考文献:

- [1] 袁兆广,等.气体钻大斜度水平井最小注入气量计算方法研究[J].天然气工业,2007,27(4):65-68.
- [2] 孟英峰,练章华,等.气体钻水平井的携岩研究及在白浅 111H 井的应用[J].天然气工业,2005,25(8):50-53.
- [3] Lyons C. Air and Gas Drilling Manual[M]. Gulf Publishing Co. 1983.

XD-5 型全液压动力头式岩心钻机 95 mm 口径在金矿钻探首破千米大关

本刊讯 由山东地质探矿机械厂设计生产的 XD-5 型全液压动力头式岩心钻机,在山东招远蚕庄金矿施工,采用 S95 绳索取心钻进工艺,钻孔深度突破 1000 m。该孔是由山东省第三地质矿产勘查院 308 机施工的 ZK101 孔,开孔口径 110 mm,钻深 20 m 后下入 $\text{O}108 \text{ mm}$ 套管,然后换 S95 绳索取心钻进至终孔,终孔孔深 1000.18 m,台月效率达 599 m。施工过程中,严格按照《全液压动力头式岩心钻机金刚石钻探工艺技术规程》(DK/T 001-2006)等规范操作,确保了工程质量满足了地质设计要求。

该金矿区地层复杂,断裂构造发育,地层破碎严重。除此之外,矿区地层闪长岩、煌斑岩、石英脉等穿插其间,给钻探施工带来较大难度。

XD-5 型全液压动力头式岩心钻机设计施工能力为 95 mm 口径、孔深 800 m,实际施工孔深突破 1000 m,大大超出了其设计能力。这也是该型号钻机继在河北滦县铁矿施工 75 mm 口径、孔深达到 1406.1 m 之后的又一突破。实践证明该钻机的施工潜力仍可延伸。

(张敏 供稿)