

固定节流阀特性研究^{*}

张祥来^{1,2}

(1.西南石油大学 2.四川石油管理局技术检测中心)

张祥来.固定节流阀特性研究.天然气工业,2007,27(5):63-65.

摘要 钻井过程中为了平衡地层压力,需要井控节流阀向井底提供回压。但对于高压地层,靠一级节流阀不可能提供足够的回压来平衡地层压力,这就需要采用二级节流甚至多级节流来提供足够大的回压。在实际应用中可采用一级固定节流阀和一级可调节流阀相结合的方式提供回压。固定节流阀主要是采用细长孔来实现降压,使得流入可调节流阀的液体压力低于 50 MPa 来保证可调节流阀在安全可靠的情况下调节对井底回压,实现成功压井。为此,应用流体力学理论和先进的流体分析软件 ANSYS,对井控装置中用于多级节流的固定节流阀的孔径以及长度大小对降压的影响进行了数值计算分析。结果表明,理论上得到的结论与数值计算结果基本一致。

关键词 钻井 完井 节流阀 压力平衡 计算方法 研究

管路限流是提高回压的主要手段之一,限流的关键在于增大这个循环系统中的压力损失。管路中的流动内摩擦是造成压力损失的一个原因,但由此造成的压力损失一般都不大,与压井所需的压力损失相比大约低两个量级,甚至更小,完全可忽略不计。因此,增大管路中的压力损失,在很大程度上,依赖节流阀^[1]。由于采用单级可调式节流阀,承载压力太大,操作起来存在较大困难。所以采用增加固定式节流阀的方法,分担可调式节流阀的两端压力降,增大管路上的压力损失。为提高节流阀的功效,我们从了解节流阀周围的流动形态入手,分析流体流经节流阀时,产生压力损失的物理机制。

一、模型建立

流体流过一个典型的固定式节流阀,流动总是经过一个先收缩后膨胀的过程,所以压力损失的差异只能是由于节流阀具体形状不同造成的。若节流阀的前后分别是逐渐收缩和逐渐扩张的如图 1 所示。流体在收缩和扩张过程中都能紧贴壁面,则在此节流阀上不产生压力损失。若节流阀的前缘是逐渐收缩而后缘是突然扩张的如图 2 所示,则在阀后缘处,流体以速度(v_1)形成射流。由于在阀后缘处,射流的周围存在静止的流体,此射流就要和周围的流体掺混,并且在混合后以几乎均匀的速度(v_2)流

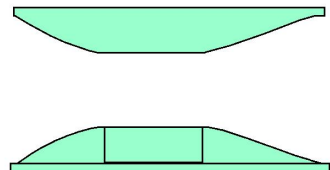


图 1 收缩和扩张型节流阀图

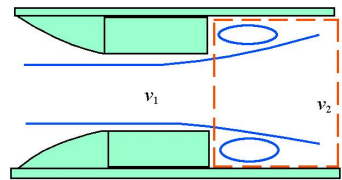


图 2 逐渐收缩和突然扩张型节流阀图

动,利用动量定理可不必追究掺混过程的细节。控制体如图 2 中虚线所示,根据上述的讨论可知,粗管中围绕此射流的初始段是静止流体,其压力等于射流的静压。利用动量定理和流体力学^[2]的知识可以得到:

$$p^1 - p^2 = \rho(v_1 - v_2) \quad (1)$$

式中: p 为流体压力; ρ 为流体密度;下标“1”表示阀后缘处的物理量,下标“2”表示均匀掺混后的物理量。

如果粗细管之间是逐渐扩大过度的如图 1 所示,则满足流体力学中的 Bernoulli 定理:

$$p^2_B - p^1 = \rho(v_1^2 - v_2^2)/2 \quad (2)$$

^{*} 本文系中国石油塔里木油田公司攻关项目研究成果。

作者简介:张祥来,1964年生,博士研究生,高级工程师;从事井控装备研究及检测工作。地址:(618300)四川省广汉市中山大道南二段。电话:(0838)5151196。E-mail:zxljzkz@yahoo.com.cn

式中： p^{2B} 为逐渐扩大过度后的压力；下标“1”、“2”的表示意义同上。

由式(1)和式(2)可知：

$$p^{2B} - p^2 = \rho(v_1 - v_2)^2 / 2 \quad (3)$$

由于式(3)右边恒大于0,可知 p^{2B} 大于 p^2 , 也就是说流体流进突然扩大的直管比流进逐渐扩大过度的直管的压降大。这个压降增大的部分就是压力损失。由式(3)还可知道,想要增大压力损失,必须增大速度差 $v_1 - v_2$ 。当然减小固定阀的孔径是一种方法,但这里我们想要探讨的是在孔径一定的条件下,提高速度差 $v_1 - v_2$ 的方法。我们考察突然收缩和突然扩张型节流阀如图3所示。对这种前缘是锐缘的情况,由于管路里的流体本来是沿径向流向孔口

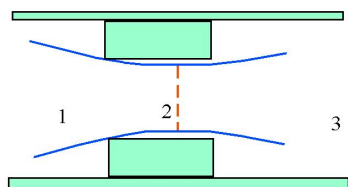


图3 突然收缩和突然扩张型节流阀图

的,在其到达孔边时,不能立即从径向转到射流的轴向。因此,射流的截面积一般小于节流阀前缘孔口的截面积,即锐缘射流会出现所谓收缩现象。根据实验,这种锐缘射流的最小面积是孔面积的0.61~0.64。我们把射流的最小面积与节流阀前缘孔口截面积的比率,叫做收缩系数,记为 α ;把射流的最小面积处称收缩喉部(如图3)。若前缘是逐渐收缩的节流阀,它的收缩系数(α)几乎等于1。这样一来,根据不可压缩的动量守恒原理,由于突然收缩节流阀的收缩喉部面积是逐渐收缩节流阀孔口面积的 α 倍,故突然收缩节流阀收缩喉部的速度是逐渐收缩节流阀孔口速度的 $1/\alpha$ 倍。在流量不变的条件下,速度差得以提高,进而增大了节流阀的压力损失。现在我们来进一步研究一下突然收缩和突然扩张型节流阀产生压力损失的机理。根据上面的讨论,已经知道在流体流经这种节流阀时,先是流体的截面发生收缩;然后射流重又扩大,同时与其周围的静止流体相掺混。收缩阶段是流体的加速阶段,实验表明,在这个阶段^[3],采用Bernoulli定理是足够精确。扩张阶段根据固定阀的长度有两种情况:①固定阀不是太长,射流由收缩喉部直接扩张到管道中;②固定阀足够长,射流由收缩喉部首先扩张到阀体上,在阀体上充分掺混后,再扩张到管道中如图4所示。加长的固定阀与未加长的固定阀相比较,虽然增加了

壁面对高速流动的黏性阻力,提高了节流阀两端的压降;但减小了流体射进管路的速度,由上面分析知道,又降低了节流阀两端的压降。因此,通过增加固定阀的长度是否能够提高阀两端的压降还是个问题,至少效果不会明显。

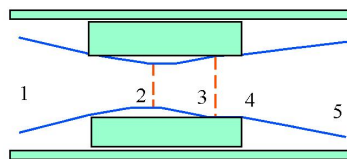


图4 加长型的突然收缩和突然扩张型节流阀图

二、数值研究

1. 计算模型建立

在这里借助ANSYS软件的CFD模块,对固定节流阀孔径和长度与压降的关系进行研究。由于固定节流阀是轴对称的,依据模型简化原理可以简化为平面模型进行研究如图5所示。其中四边形框住的部分就是固定节流阀,左右两端接的是管子。固定节流阀的网格划分采用映射网格,在壁面等流体梯度大的地方网格适当加密,以便得到较精确的解。由于固定节流阀中流速大,流动处于湍流状态数值模拟时,必须采用湍流模型。由此得到如图6所示的有限元模型。

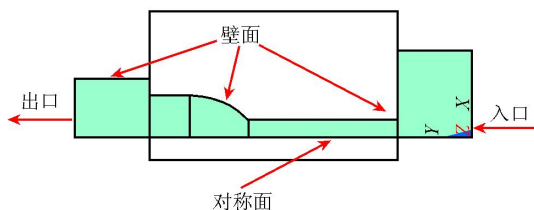


图5 平面计算模型图

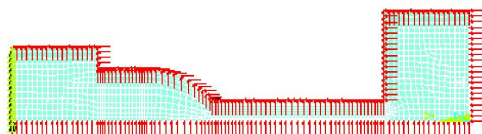


图6 有限元网格图

2. 计算情况及边界条件

根据现场情况设定入口流量为20 L/s,出口背压为0 MPa,流体密度为1800 kg/m³,动力黏度为0.02 Pa·s。壁面边界条件在X、Y两个方向流体速度为零;在对称面上指定垂直于对称面即Y方向的速度为零。

三、分析计算

(1) 研究固定节流阀节流孔孔径对压降的影响。在固定节流阀节流孔长度为 100 mm 的情况下,取孔直径为 12~22 mm 每增加 1 mm 进行计算,经过多次叠代,在结果收敛后读取入口的压力。由于出口压力设定为 0 MPa,入口压力就是流体经过

固定节流阀后所产生的压降。由此得到数据如表 1 所示。将数据经过处理得到如图 7 所示的孔径大小与压降关系曲线图。从图 7 可看出,在孔径较大的情况下,∅18~22 mm 固定节流阀孔径减小对压降的影响并不明显,此时的曲线比较平缓。但当孔径小到一定程度后,孔径的减小固定节流阀的压降作用越来越敏感。

表 1 孔径与压降数据表(孔长 100 mm)

孔径(mm)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δp (MPa)	45.77	28.31	23.60	17.50	13.20	9.84	7.50	6.43	5.14	4.17	3.44

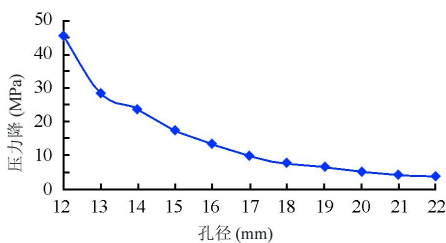


图 7 孔径与压降关系曲线图

(2) 研究固定节流阀节流孔长度对压降的影响。由于固定节流阀不可能太长,在这里把长度从 100 mm 增加到 150 mm 做研究,分析孔长增加对产生压降的影响。对孔径从 ∅12~22 mm 每增加 1 mm 的各种情况进行计算如表 2 所示。

由表 1、2 不难看出,无论 150 mm 的节流阀,还是 100 mm 的节流阀,固定节流阀孔径大小对压降

表 2 孔径与压降数据表(孔长 150 mm)

孔径(mm)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Δp (MPa)	46.58	32.31	24.40	18.72	13.71	9.93	7.82	6.56	5.27	4.28	3.53

的影响趋势是一致的。为明确固定节流阀长度对产生压降的作用,比较两种节流阀孔径大小与压降关系曲线可知,在节流阀的孔径较大和较小时节流阀的长度对节流阀两端的压力降影响不大,只有孔径从 ∅13~17 mm 这一段 150 mm 的节流阀的压降稍大于 100 mm 的节流阀。结果与理论分析相一致。

四、结论

从分析可知,孔长的增加对压降的影响随着孔径的减小而增大。孔长增加 50 mm 后压降变化并不明显。由节流阀中流道截面的变化引起的局部压力差损失主要是流体从节流阀流入管道时流道突然扩大所产生。特别是固定节流阀中的细长孔部分,根据帕努利方程和分析得出的压力场分布均可知该处的压力为最小,如果压降过大可能使此处的压力

小于流体在该温度下的空气分离压力,流体中的气体会分离出来产生大量气泡。当带有气泡的流体流到下游高压部位时,周围的高压使气泡绝热压缩,局部达到非常高的温度和冲击压力,使元件表面受到侵蚀、剥落或出现海绵状的小洞穴,发生所谓的气蚀现象。

参 考 文 献

- [1] 王德玉,等. 高压节流阀的失效与受力分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(6): 94-96.
- [2] 吴望一. 流体力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1982.
- [3] WHITE F M. Viscous Fluid Flow [M]. New York: McGRAW-HILL book company, 1974.

(收稿日期 2007-01-07 编辑 钟水清)