

自激振荡腔室流场的数值模拟研究*

钱声华¹ 熊继有¹ 王仕水² 严仁俊² 李福德² 唐嘉贵³ 李烈明²

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2. 四川石油管理局 3. 中国石化滇黔桂石油勘探局)

钱声华等. 自激振荡腔室流场的数值模拟研究. 天然气工业, 2004; 24(6): 64~65

摘要 自激振荡腔室是产生自激振荡脉冲射流的重要条件, 振荡腔室的结构参数、流体流动参数、有效反馈条件及流场特性直接影响脉冲射流的瞬时冲击力。文章在理论与实验研究的基础上, 采用标准的 $K-\epsilon$ 模型, 应用有限元软件 ANSYS 进行了腔室内三维流场的数值模拟, 并根据结果作出了流场速度分布图及压力与各影响因素的关系图。模拟结果与室内台架实验对比表明, 数值模拟能很好的反映流场的分布及腔室压力与各影响因素之间的关系, 对进一步研究有指导意义。

主题词 自激振荡 脉冲射流 腔室流场 数值模拟

根据赫尔姆兹振荡腔室物理模型, 研制开发了一种新产品, 自激振荡脉冲射流喷嘴, 取得了很好的应用成果。对于自激振荡腔, 西南石油学院喷射钻井实验室对自激振荡腔进行了频谱特性的研究^[1], 随后还通过引入环空流量, 进行了它激振荡腔的研究^[2]。由于自激振荡腔室中的流动, 是一种轴对称的射流问题, 应用计算流体动力学的有限元软件计算了轴对称射流问题^[3]。本文采用标准的 $K-\epsilon$ 模型, 应用有限元软件 ANSYS 首次进行腔室内三维流场的数值模拟, 探求腔室内流场的分布及各可变因素对腔室压力的影响, 达到对腔室进行优化设计的目的。

建模及边界条件处理

1. 物理模型

采用三维的实体模型(图1), D 为腔室直径, L 为腔室长度, d_1 为上喷嘴直径, d_2 为下喷嘴直径, Q 为射入腔室的流体流量。在模拟过程中采用的流体介质是水, 取其密度为 1000 kg/m^3 , 粘度为 $0.001 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ 。不考虑重力的影响。

2. 数学模型

采用标准的紊流 $K-\epsilon$ 模型进行三维的模拟计算, 通用流动控制方程^[4]为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \Phi) + \text{div}(\rho u \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi) + S$$

* 本文系国家自然科学基金资助项目(90210022)。

作者简介: 钱声华, 1976年生, 西南石油学院油气井专业在读硕士研究生。地址: (610500) 四川省成都市新都区。电话: (028) 83032923。

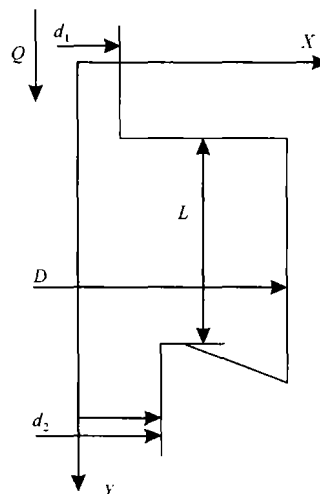


图1 模型的剖面图

式中: Φ 表示因变量, 如 $u, v, w, \rho, K, \epsilon$ 等; Γ 和 S 分别表示对应于 Φ 的变换系数和源。

在求解过程中, 为了保证压力方程的精确度, 采用半直接共轭方向法, 速度和湍流方程采用(三对角矩阵法)TDMA求解。

3. 边界条件

上喷嘴进口边界条件: $u=U_0$

下喷嘴出口边界条件: 相对压力 $p=0$

壁面边界条件: $u=0, v=0, w=0$

对称边界条件: xy 面, $w=0$; yz 面, $u=0$

数值模拟结果及分析

1. 流场描述

根据计算结果作的流速矢量图(图2),在自激振荡腔室中,存在明显的轴心主射流区域,涡漩(滞止)区域和流体反馈区域,与理论分析的结果完全吻合^[5]。

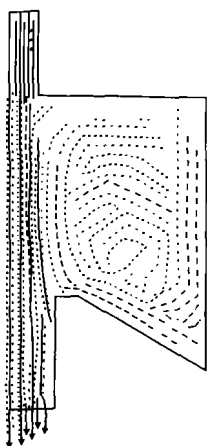


图2 流速矢量图

2. 计算结果

通过改变流量、喷嘴组合及腔室结构,找出腔室负压与各因素之间的关系。

(1) 腔室压力与流量的关系。图3为上喷嘴 $d_1=16$ mm,喷嘴直径比 $r=1.6$,腔室直径 $D=70$ mm,腔室长度 $L=35$ mm的腔室压力与流量变化的关系图。表明随着流量的增大,腔室负压明显增大。

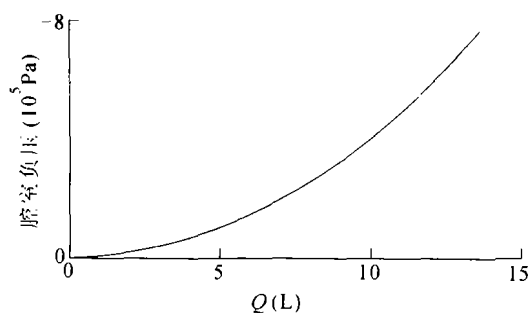


图3 腔室压力与流量的关系

(2) 腔室压力与喷嘴直径比的关系。图4为上喷嘴 $d_1=10$ mm,腔室直径 $D=70$ mm,腔室长度 $L=35$ mm,流量 $Q=3.12$ L/s的腔室压力与喷嘴直径比 r 的关系图。表明,腔室负压在 $r=1.6$ 时为最大, $r<1.2$ 时,腔室负压明显减小。

(3) 腔室压力与腔室长度的关系。图5为上喷

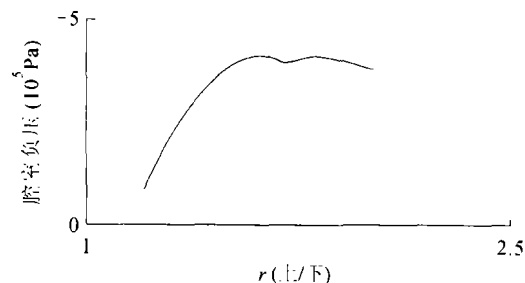


图4 腔室压力与喷嘴直径比的关系

嘴直径 $d_1=16$ mm,喷嘴直径比值 $r=1.2$,腔室直径 $D=70$ mm,流量 $Q=8.46$ L/s的腔室压力与腔室长度的关系图。表明腔室越长,腔室负压越小。

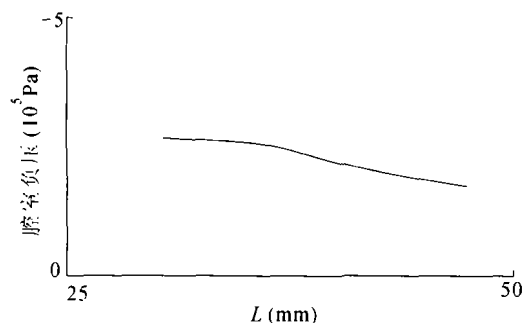


图5 腔室压力与腔室长度的关系

(4) 腔室压力与腔室直径的关系。图6为上喷嘴直径 $d_1=10$ mm,喷嘴直径比值 $r=1.6$,腔室长度 $L=35$ mm,流量 $Q=3.12$ L/s的腔室压力与腔室直径 D 的关系图。表明腔室压力受腔室直径的影响并不明显。

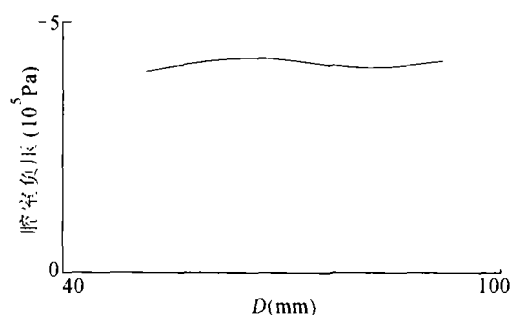


图6 腔室压力与腔室直径的关系

3. 结果分析

通过变换各因素进行的数值模拟的结果表明,在影响腔室流场特性的方面,腔室的流量和速度是最主要的影响因素,其次是上下喷嘴直径比值,而在现有模拟参数条件下腔室直径的影响很小。 (下转第76页)

导向与旋转导向工具连续导向”的组合。原因在于：①旋转导向工具的高额成本；②滑动导向钻具组合连续导向钻井技术的进一步成熟。原来，并不了解滑动导向钻具组合复合钻井时的导向力变化规律，因此在使用中出现了大量问题。而随着理论界和现场技术人员的共同努力，利用滑动导向钻具组合连续导向技术越来越普遍，技术越来越完善，产生的经济效益愈来愈明显^[5]。在这种情况下，完全可以在大位移井的较小位移井段和定向井、水平井中充分采用这种控制技术。而在位移较大井段则采用旋转导向工具进行轨迹控制。

结 论

(1)西江24-3油田4口大位移井井眼轨迹控制方式可归纳为“可调或不可调滑动导向钻具组合连续导向”和“旋转导向工具连续导向”。

(2)带双稳定器的不可调滑动导向钻具组合可以实现井眼轨迹的有效控制，关键在于掌握其导向力变化规律。

(3)PowerDrive系统具有很好的轨迹控制效果，但其高研制成本和使用成本决定了其使用范围。

(4)大位移井井眼轨迹控制技术的最优方案应是小位移井段的“滑动导向钻具组合连续导向”和大位移井段的“旋转导向工具连续导向”的结合。

(5)旋转导向工具的发展应加大力度，滑动导向钻具组合连续导向技术的深入研究和完善更是刻不容缓，其将是位移井小位移井段和定向井、水平井井眼轨迹控制技术的首选，并在产生巨大经济效益。

参 考 文 献

- 1 张武擎. 自动导向旋转钻具钻进南海8600 m大位移井. 石油钻采工艺, 2001; 1(23)
- 2 张明江, 彭新明. TRACS可变径稳定器的使用情况. 石油钻采工艺, 1998; (增刊)
- 3 彭新明. 完美的导向钻井系统. 石油钻采工艺, 1998; (增刊)
- 4 狄勤丰著. 旋转导向井下闭环钻井技术, 西安: 陕西科学技术出版社, 1998
- 5 狄勤丰. 滑动式导向钻具组合复合钻井时导向力计算分析. 石油钻采工艺, 2000; 22(1): 14~16

(修改回稿日期 2003-12-19 编辑 钟水清)

(上接第65页)

在做自激振荡腔的设计时要充分考虑流量的作用, 提高泵的排量, 能明显的提高腔室的负压力; 要优选喷嘴直径比值, 尽量在1.3~1.6之间。

结 论

(1)标准的 $K-\epsilon$ 模型适合于自激振荡腔的流场数值模拟, 可以用此模型进行自激振荡腔的优化设计。

(2)首次数值模拟结果表明: 自激振荡腔内存在明显的主射流区域和涡漩区域, 涡漩区域主要在腔室的下部区域。

(3)腔室压力受流量、喷嘴直径比值的影响比较明显。

(4)自激振荡腔的流场数值模拟结果, 是为引入

井下环空流量的它激振荡腔设计的基础研究工作。

参 考 文 献

- 1 汝大军等. 自激振荡腔频率特性及腔室设计研究. 西南石油学院学报, 1999, (4): 78~81
- 2 熊继有等. 井下水力自增流量装置研究. 天然气工业, 2001; (1): 66~68
- 3 张作龙等. 轴对称淹没水射流流场的数值模拟. 石油机械, 2000; (8): 1~3
- 4 沈忠厚. 水射流理论与技术. 山东东营: 石油大学出版社, 1998
- 5 廖荣庆等. 脉冲射流喷嘴振荡腔调制机理研究. 西南石油学院学报, 1997; (增刊): 122~125

(收稿日期 2003-12-04 编辑 钟水清)