

基于 FLUENT 的变径防气抽油泵性能数值模拟及研究

叶卫东¹, 张岩¹, 侯宇², 李大齐¹, 魏雪彤¹

(1. 东北石油大学 机械科学与工程学院, 黑龙江 大庆 163318;

2. 大庆油田有限责任公司 采油工程研究院, 黑龙江 大庆 163453)

摘 要:对变径防气抽油泵原理进行了简单的介绍,利用 FLUENT 软件对气液两相流场进行仿真模拟,研究抽油泵上下冲程不同时刻泵筒内流场的流动状态,分析防气抽油泵泵筒的大直径区对整个流场的影响及其结构的优缺点。由仿真结果可知,上冲程时当防气抽油泵柱塞到达泵筒的大直径区后,油管中的液体会迅速流入泵筒内,泵筒内的压力会突然增大,同时破坏泵筒内气液两相流的段塞流流型;下冲程时含气率降低,冲程损失为零。

关键词:变径防气抽油泵;气液两相流;性能;数值模拟

中图分类号:TE933 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)04-0133-03

Fluent-Based Numerical Simulation and Study of Performance of Variable Diameter Anti-gas Pump

YE Weidong¹, ZHANG Yan¹, HOU Yu², LI Daqi¹, WEI Xuetong¹

(1. College of Mechanical Science and Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;

2. Daqing Oilfield Co., Ltd. Oil Production Engineering Research Institute, Daqing 163453, China)

Abstract: In this paper, the principle of the variable diameter anti-gas pump is briefly introduced, and the gas-liquid two-phase flow field is simulated by FLUENT software. The flow behavior of the flow field in the pump cylinder at different times of the up and down stroke of the pump is studied. The influence of the large diameter zone of the anti-gas pumping pump on the whole flow field and the advantages and disadvantages of its structure are analyzed. According to the simulation results, when the anti-gas pump plunger reaches the large diameter zone of the pump cylinder, the liquid in the oil pipe quickly flows into the pump cylinder, and the pressure inside the pump cylinder suddenly increases, and slug flow pattern of gas-liquid two-phase flow in the pump cylinder is destroyed. The downstroke gas content is reduced and the stroke loss is zero.

Keywords: variable diameter anti-gas pump; gas-liquid flow; performance; numerical simulation

0 引言

目前国内油田为了提高采收率应用了 CO₂ 驱油技术,虽提高了原油采收率,但大大增加了原油中气体的含量,使抽油泵泵效降低,严重时会发生“气锁”现象^[1]。防气抽油泵可以避免这种问题的出现,提高泵效^[2-3]。

本文利用 FLUENT 软件对变径防气抽油泵气液两相流场进行了仿真模拟研究,分析防气抽油泵泵筒的大直径区对整个流场的影响及这种防气抽油泵结构的优缺点,为以后防气抽油泵的结构优化提供了理论基础^[4-5]。

1 计算模型的建立

1.1 几何模型的建立

如图 1(a) 所示,变径防气抽油泵与普通抽油泵不同之处在防气抽油泵泵筒的上端有一段锥形的大直径段。

当柱塞上行至接近上死点时,进入泵筒大直径段。

根据变径防气抽油泵的工作原理和结构,建立了简化的流体数值模拟计算模型如图 1(b) 所示。把游动阀和固定阀进行简化,通过边界条件的设置来模拟阀门的启闭。

1.2 物理模型的选择

本文研究对象为气液两相介质在抽油泵中的流动特性,因此选择 VOF 多相流模型。VOF 模型是建立在固定欧拉网格下的表面跟踪方法,适合于求解分层和追踪自由表面的问题,符合本文的研究。

1.3 基本方程

1) 体积分数方程

相与相之间界面的跟踪是通过对多个相体积分数的连续性方程解来实现的。对于 q^h 相,该方程具有以下形式:

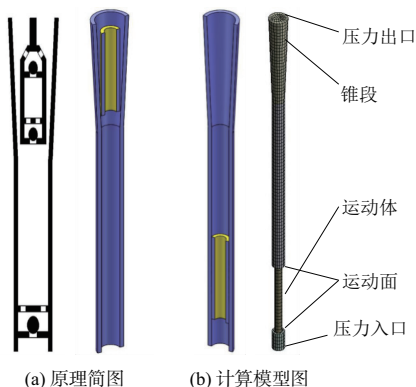


图1 变径防气抽油泵模型图

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \mathbf{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (1)$$

式中: $\dot{m}_{qp}$ 是从相 q 到相 p 的质量传递; $\dot{m}_{pq}$ 是从相 p 到相 q 的质量传递; S_{α_q} 为质量源。

2) 动量方程

通过求解整个区域内单一的动量方程,得到的速度场是由各相共享的。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla P + \nabla [\mu (\nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T)] + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

该动量方程取决于通过密度 ρ 和黏度 μ 所有相的体积分数。

3) 能量方程

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla [\rho (\mathbf{v} E + p)] = \nabla (k_{\text{eff}} \nabla T + S_h) \quad (3)$$

VOF 模型将能量 E 与温度 T 视为质量平均变量:

$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q} \quad (4)$$

式中: E_q 为每个相的能量,根据该相的比热和共享温度得到; ρ 为密度; k_{eff} 为有效热导率。

ρ 和 k_{eff} 由各个相共享。源项 S_h 包括来自辐射以及任何其他体积的热源。

1.4 动网格设置

本文涉及到抽油泵柱塞的往复运动,即内部流场的边界发生了往复运动,因此对游动阀及其中间的柱塞段运用动网格技术。采用 In.cylinder 模型模拟抽油泵的运动规律。

1.5 初始条件的设置

柱塞处于下死点位置,设置泵筒内初始压力为 8 MPa,初始含气量为 60%,设置抽油泵冲次为 6 次/min,防冲距 0.6 m,冲程为 1.8 m。

1.6 边界条件的设置

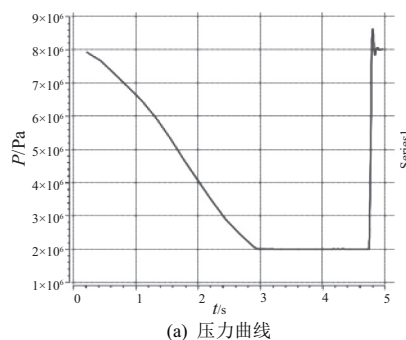
当固定阀关闭时,把固定阀所处的平面设置为壁面 wall,固定阀开启时设为压力入口 pressure-inlet,入口压力为井下压力 2 MPa。当游动阀关闭时把游动阀所处的平面设置为壁面 wall,当游动阀开启式设置为接触表面

interface,与上部大锥段连通。把大直径段上表面设置为压力出口 pressure-outlet,出口压力为 8 MPa。

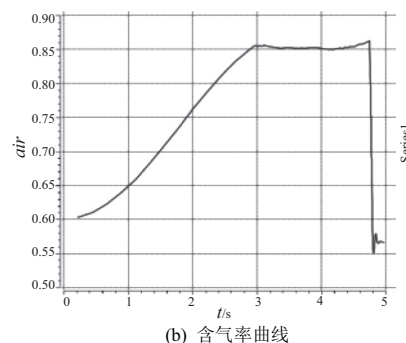
2 仿真模拟结果分析

2.1 上冲程阶段

图 2(a) 为防气抽油泵泵筒内压力随时间变化曲线,图 2(b) 为防气抽油泵泵筒内含气率变化曲线。由模拟结果可知,在上冲程前期随着柱塞的上移,泵筒内气体膨胀,含气率升高,压力下降。当泵筒压力降低到固定阀开启的压力后,固定阀开启,井下液体进入泵筒内,泵筒内压力稳定为井下压力。



(a) 压力曲线



(b) 含气率曲线

图2 上冲程泵筒内压力和含气率曲线

如图 2(a) 中所示的 4.74 s 之后,柱塞进入锥段。柱塞进入锥段后泵筒内压力变化云图如图 3 所示。当柱塞进入锥段后,在压差作用下,油管底部分离的液体迅速流入泵筒,泵筒内压力快速上升到 8 MPa,使固定阀迅速关闭,同时使柱塞上下压差迅速从 6 MPa 下降到 0 MPa。由于柱塞上下压差的突变,使抽油杆柱载荷发生突变,造成地面抽油机冲击振动。

由于泵筒内压力迅速上升到 8 MPa,有利于下冲程游动阀快速开启,更重要的是油管中的液体进入泵筒后会使得泵筒内含气量明显降低,同时破坏泵筒内气液两相流的段塞流型,柱塞进入锥段后泵筒内含气率变化云图如图 4 所示。

2.2 下冲程阶段

下冲程泵筒内压力和含气率变化曲线如图 5 所示。泵筒内压力等于油管中的压力,游动阀打开,泵内压力保持稳定。泵筒内介质由于气液分离,泵筒上部含气量高,

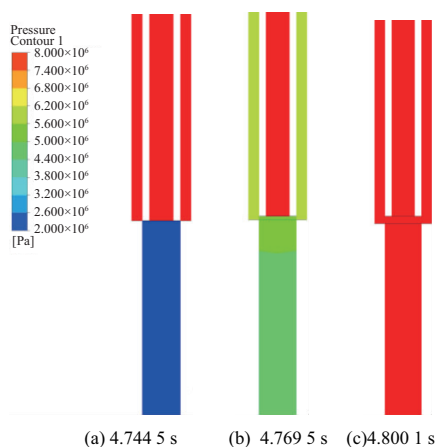


图3 柱塞进入锥段泵筒内压力变化云图

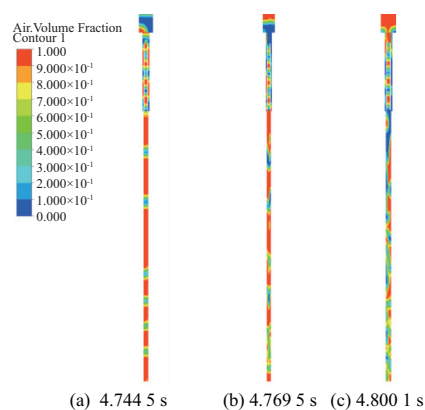


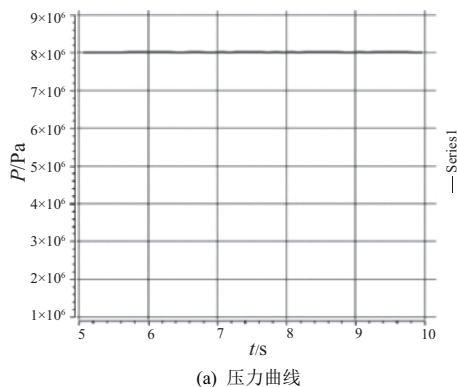
图4 柱塞进入锥段泵筒内含气率变化云图

从游动阀排出泵筒后,泵筒内含气率降低。由于柱塞在进入下冲程阶段之前泵筒内的压力就到了游动阀开启的压力,所以防气抽油泵在下冲程无冲程损失。

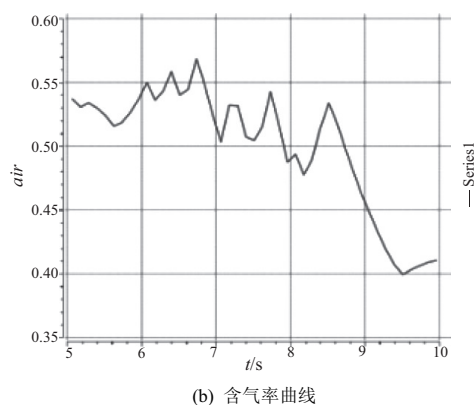
2.3 运行过程分析

图6为防气抽油泵5个周期运行过程的压力和含气率随时间变化曲线。选择防气抽油泵运行平稳的第5个周期进行分析。

防气抽油泵从柱塞下死点40s开始到42.137s后固定阀打开,到44.548s时固定阀关闭。上冲程损失时间2.589s,损失冲程0.471m,上冲程有效冲程1.329m。



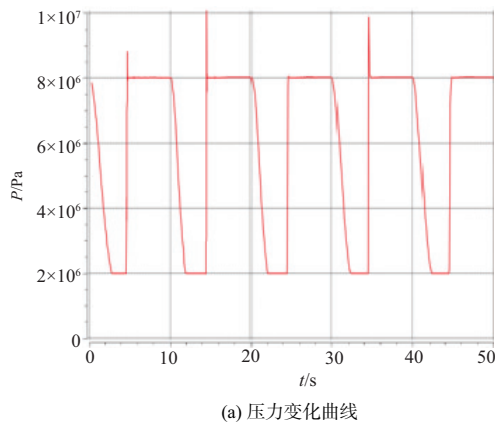
(a) 压力曲线



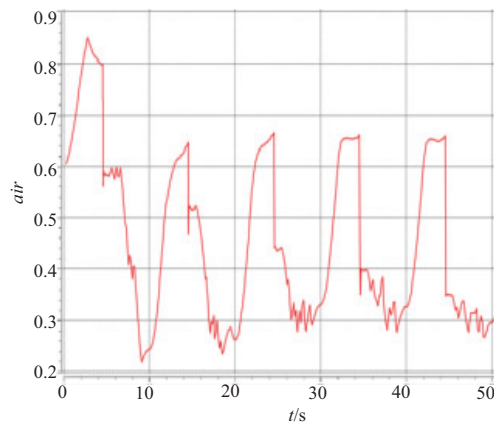
(b) 含气率曲线

图5 下冲程泵筒内压力和含气率变化曲线

通过对整个运行过程的分析可知,变径防气抽油泵的优势在于下冲程无冲程损失,最大的缺点就是在柱塞进入上冲程末端随即进入泵筒大直径段后,泵筒内的压力会突然增大而造成抽油机载荷的突然变化,会对抽油机产生冲击振动。



(a) 压力变化曲线



(b) 含气率变化曲线

图6 防气抽油泵5个周期内运行过程曲线

3 结语

1) 变径防气抽油泵柱塞在上冲程末段进入大直径段后,油管中的液体会迅速进入泵筒内,使泵筒内压力升高,

(下转第144页)

建了输分料预应力损失模型,根据该模型计算环境温度对测距值带来误差,得到精确的物料厚度。分析预应力板底摩阻力并设计了预应力板底摩阻力控制结构,通过该控制结构均匀分配摊铺机运行过程中摩擦阻力,消除整体控制过程中摩阻力对板底位移带来影响。与上述控制系统相比较,此系统随着承载力变化也能够稳定控制摊铺机,并且不会出现控制断代,有效地保证了摊铺机的运行。

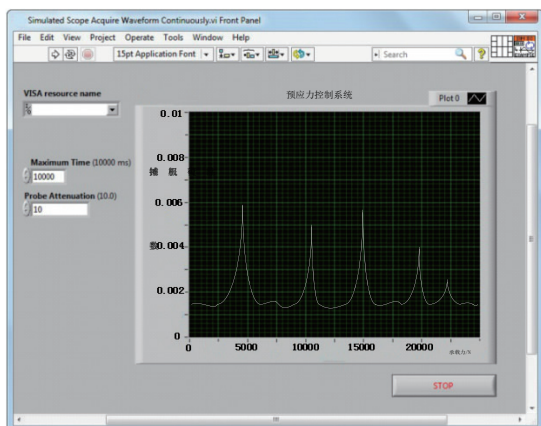


图8 预应力控制系统实验结果

4 结语

基于预应力计算的沥青混凝土路面摊铺机控制系统设计是一种新型智能化控制系统,其中包括铺路机输分料控制器与中央控制器。本系统在工作过程中自动计算路面预应力,提高了整体路面服役结构可靠度和整体沥青混凝土路面摊铺机管理水平。实验结果表明,在承载力不断增加过程中摊铺机服役可靠性参数发生了间歇式的循环,且最高峰值平稳在 0.006,能够有效保证摊铺机稳定、可靠地运行。

参考文献:

- [1] 殷保方,许鹏. 试析高速公路桥梁预应力检测及控制技术[J]. 价值工程,2019,38(28):259-260.
- [2] 王建强,吕忠达,赵卓,等. 预应力混凝土连续箱梁顶板早期裂缝控制研究[J]. 铁道工程学报,2019,36(9):43-48.
- [3] 吴金红,祝靖,曹建,等. 摊铺机行走监控系统研制[J]. 现代制造工程,2011(7):27-31.
- [4] 朱涛,李宏伟,杨军民,等. 基于模糊自适应 PID 的摊铺机行驶控制系统研究[J]. 制造业自动化,2014(3):69-72.
- [5] 高飞. 大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术[J]. 科技创新导报,2017,14(35):11-12.
- [6] 王磊. 试论预应力混凝土连续梁张拉端施工质量控制措施[J]. 四川建材,2019,45(5):144-145.
- [7] 李鹏鹏. 预应力混凝土连续梁桥线形监控及施工质量控制研究[J]. 安徽建筑,2019,26(4):129-132.
- [8] 李勇,杨超,张涛. 早强型高强度预应力水工钢筋混凝土温度裂缝控制预防措施研究[J]. 水利建设与管理,2019,39(3):17-23,10.
- [9] 代广伟,王金铜,胡天智,等. 超大截面预应力梁大体积混凝土低温浇筑质量控制[J]. 施工技术,2018,47(24):102-105.
- [10] 宋壬霖. 双塔三跨式预应力混凝土斜拉桥施工控制方法研究[J]. 公路工程,2018,43(6):203-206.
- [11] 焦安亮,张伟,袁涛. 预应力混凝土结构施工中应注意的 3 个问题[J]. 施工技术,2018,47(16):94-96.
- [12] 羌建军. 预应力技术在路桥工程中的应用及控制要点[J]. 建筑技术开发,2018,45(12):96-97.
- [13] 唐光荣. 改扩建公路中高边坡预应力锚索防护工程的质量控制与管理初探[J]. 黑龙江交通科技,2018,41(4):19-20.
- [14] 王建堰,王鹏程,赵凯. 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁外观质量控制[J]. 山西建筑,2017,43(21):204-207.
- [15] 马延忠. 预应力混凝土框架结构设计[J]. 甘肃科技,2019,35(7):97-100,114.

收稿日期:2019-12-18

(上接第 135 页)

含气量明显降低,同时破坏泵筒内气液两相流的段塞流流型,从而避免了“气锁”现象的发生。

2) 由于变径防气抽油泵柱塞进入大直径段后泵筒内压力会突然增大到油管中的压力,致使抽油杆柱载荷突变,造成地面抽油机冲击振动。

3) 变径防气抽油泵下冲程时,由于在上冲程末端泵筒内的压力就达到了游动阀开启的压力,所以防气抽油泵在下冲程时游动阀会迅速开启,致使下冲程无冲程损失,有助于提高泵效。

参考文献:

- [1] 张宏录,谭均龙,易成高,等. 草舍油田 CO₂ 驱高气油比井举

升新技术[J]. 石油钻探技术,2017,45(2):87-91.

- [2] 高宇. 二氧化碳驱防气抽油泵研制及结构优化设计[J]. 石油矿场机械,2016,45(4):56-59.
- [3] RAHUL Dinesh Gala, KUH Priyamvada. Preventing gas locking in sucker rod pumps using an actuated traveling solenoid valve[J]. SPE,2012,165:39-42.
- [4] 万国强,李法军,孙冰,等. 基于 FLUENT 的液气混抽泵动态模拟与现场应用分析[J]. 石油机械,2017,45(2):106-111,115.
- [5] 周章根,马德毅. 基于 Fluent 的高压喷嘴射流的数值模拟[J]. 机械制造与自动化,2010,39(1):61-62,130.

收稿日期:2019-04-09