

# 井下气液混合输送技术研究

王信鹏<sup>1,2</sup>, 王威尧<sup>2,3</sup>, 许晶禹<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> 山东科技大学矿业与安全工程学院, 青岛, 266590

<sup>2</sup> 中国科学院力学研究所, 北京 100190

<sup>3</sup> 中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

**摘要:** 为了确保油田开采过程中电潜泵在高含气油井的正常运行, 结合气液分离技术和引射技术, 运用 CFD 模拟软件 FLUENT 研究了一种高含气井下气液混合输送技术。该技术通过建立气体及液体分采通道, 利用引射原理将增压后的高压动力液携带富气流举升至地面, 以实现利用生产井自身流体实现自我举升。研究表明: 经过对比分析发现, 对于不同入口气体含量的工况, 由于射流泵引射器的引射比影响, 入口气体体积含量 40% 是一拐点, 当入口气体含量超过 40% 时, 引管内的气相含量以及流速基本达到一定值; 对于不同入口流量, 随着流量的增加, 气液分离效果亦逐渐变佳, 取管内的气相含量基本稳定在一定的范围, 而取气管内的流速则随着流量的增加而增大。该研究结果对提高电潜泵在油田开采高含气油井中的应用范围具有重要意义。

**关键词:** 高含气混合液; 电潜泵; 数值模拟; 气液分离

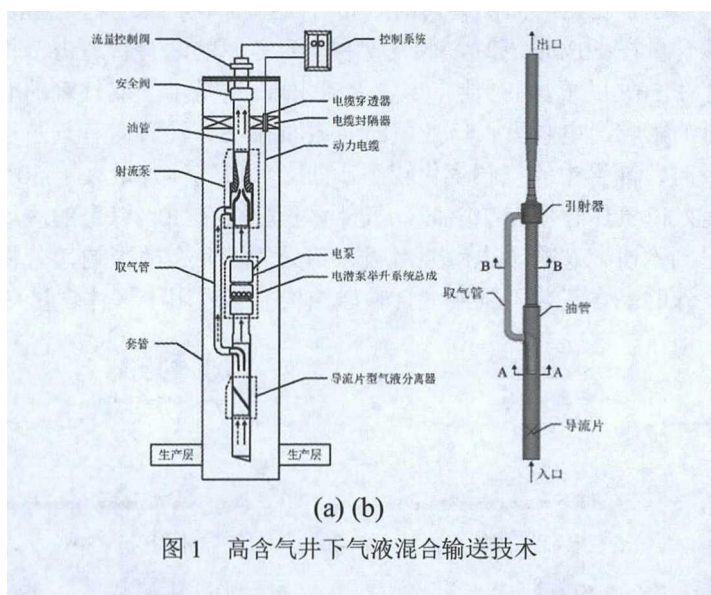
## 1 引言

电潜泵是油田采出液的主要举升设备, 但因其是通过离心作用对井液进行加压, 故对井液中的游离气比较敏感<sup>[1-2]</sup>。随着油田深入开发, 高含气油井不断增多<sup>[3]</sup>, 油田井下地层油液中所含的气体会使潜油离心泵的工作性能下降, 严重时会产生气锁, 造成泵的排量中断<sup>[4-5]</sup>。研究表明<sup>[2, 6]</sup>, 为保证常规潜油电泵的正常运行, 泵挂深度处吸入口气液比应小于 30%。为了减小井液中气体对电潜泵的影响、提高泵效, 多种防气技术已应用于抽油泵中, 其中气液分离器因其在防气方面效果显著成为实际工程中的首选<sup>[7-9]</sup>。实际生产过程中各个油田自然情况各异, 同时来液工况变化范围较大, 为了克服现有技术中的不足, 拓宽常规电潜泵在高含气油井中的应用范围, 本研究对一种高含气井下气液混合输送技术开展了研究, 并建立了数值模型, 借助数值模拟软件对其开展了计算分析。

## 2 数值计算

### 2.1 计算模型

高含气井下气液混合输送技术以常规的电潜泵采油技术为基础，并结合气液分离技术及引射技术<sup>[10]</sup>，以实现电潜泵在高气液比油井中的稳定运行，其结构形式如图 1(a)所示。气液混合液经导流片型气液分离器分离后，所产生的气芯由取气管引出，剩余富液流流经电泵增压后作为射流泵的高压动力液将取气管内的富气流引射至井口，实现利用生产井自身的流体自我举升的过程。其简化后的数值计算模型如图 1(b)所示，其中截面 A-A 位置为取气管入口，截面 B-B 位置为电潜泵吸入口处。模型入口管径为 DN70mm，出口管径为 DN50mm，取气管管径为 DN30mm，模型总长 1665mm。



### 2.2 计算设置

模型采用 ICEM 进行网格划分，考虑到相对尺寸问题，对导流片的壁厚予以了忽略。流域网格采用四面体非结构网格，总体网格数量为 1038240，网格最小正交质量为 0.51。利用 FLUENT 开展数值计算，由于流体在导流片、射流泵引射器附近的强瞬态效应，在稳态求解方法下模拟很难收敛，故采用 4ms 的时间步长进行瞬态求解。计算采用空气和水作为气液两相，多项流模型采用 Mixture 模型，同时，考虑到旋转分离器的流场特性，结合计算成本和精确度，湍流模型选用带旋流修正的 RNG  $k-\varepsilon$  湍流模型。

数值计算入口边界条件设置为速度入口，根据井下的环境特点和工况要求，设计研究了不同入口含气量和不同入口流量的几种不同来液工况；出口边界设置为 0.5MPa 的压力出口，管内壁采用静止、无滑移壁面边界。

### 3 模拟结果

对于不同入口含气量和不同入口流量的计算结果,分别截取了管道轴向、取气管入口处(截面 A-A)以及电潜泵吸入口处(截面 B-B)的油管和取气管内的气相含量分布云图(图 2 和图 4);同时绘制了不同工况下,电潜泵吸入口处(截面 B-B)油管内气相含量的最大值、取气管内气相含量及流体速度最大值的变化曲线(图 3 和图 5)。

#### 3.1 不同入口气体含量

经导流片起旋后,由于离心作用,密度较大的液相向油管管壁集中,而密度相对较小的气相向油管轴线位置集中形成气芯,如图 2 所示。综合图 2 和图 3,随着入口气体体积份数的增加,气芯逐渐增大,取气管内的气相含量也逐渐增加,由于射流泵引射器引射比的影响,入口气体体积份数 40%为一拐点,当入口气体体积份数达到 40%以后,取气管内的速度和气相含量趋于稳定,而油管内的气相含量则基本呈线性趋势逐渐增大。

当入口气体含量在 50%以下时,取气管与电泵之间的油管管道内气相分布大致相同,气体体积份数都在 30%以下,同时伴有少量涡流出现,这是由于取气管的非对称布置所致。同时,由于涡流的影响,电泵吸入口处截面(截面 B-B)油管内气芯出现,当入口气体含量在 50%以下时,油管中的气芯变化较小,而当入口气体含量大于 50%时,气芯变化较为明显,尤其是入口气体含量为 70%时,气体体积分数在 30%以上的区域明显较其他工况更为广泛。考虑到本研究忽略了电潜泵对吸入口处气相分布的影响,若将之计算在内,则可认为本文所设计的高含气井下气液混合输送结构能够适用于气体含量 70%的油井。

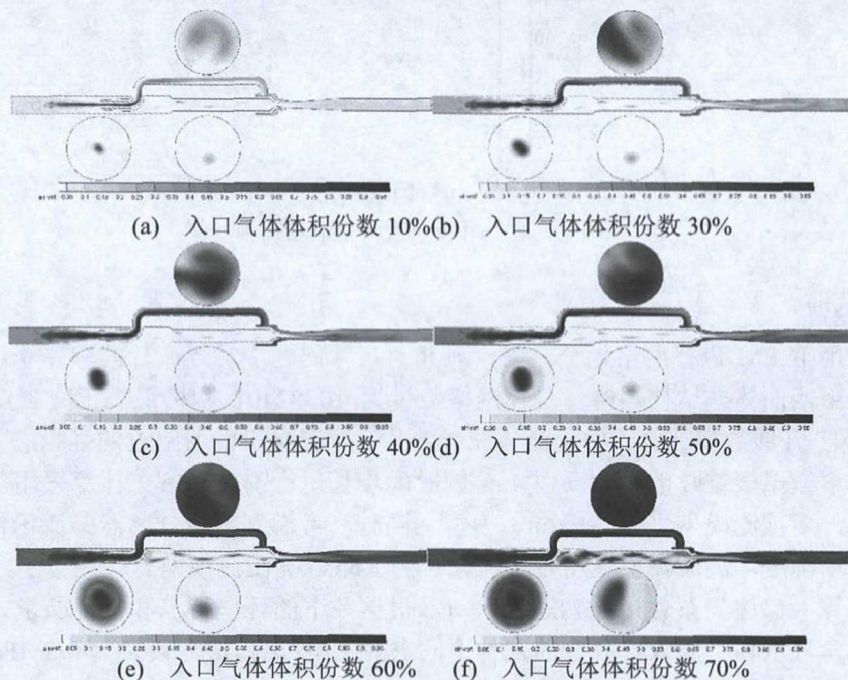


图 2 不同入口气体含量下的气相分布云图

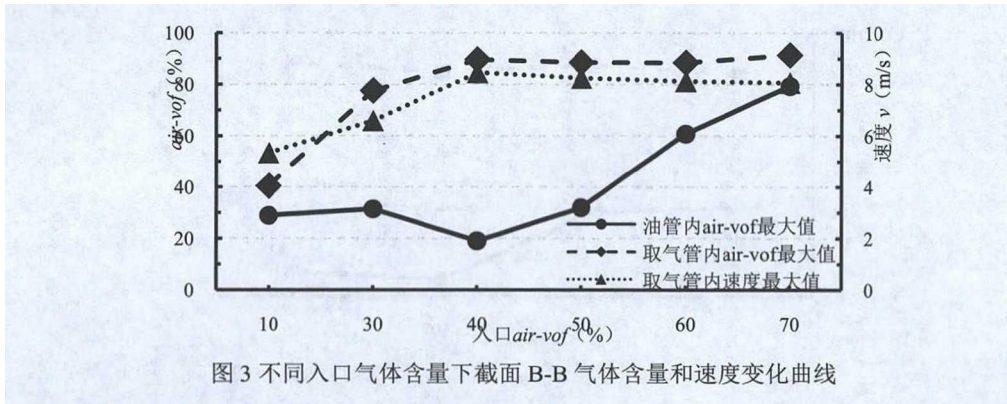


图3 不同入口气体含量下截面 B-B 气体含量和速度变化曲线

### 3.2 不同入口流量

对比图 4 的四种工况，随着入口流量的增大，流体流动速度逐渐增大，经导流片起旋后所产生的离心力也越大，气液分离效果逐渐变得更为理想，所产生的气芯亦更为明显。同时，从图 5 曲线变化可以看出，取气管内的气相含量在不同流速下的变化基本趋于稳定，而取气管内的流速则逐渐增加。

研究发现，当入口流量为  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  时，由于入口流量较小，导致流体流经导流片后无法产生足够的离心力进行气液分离，因而气液分离效果较其他几种工况稍差，气芯由取气管引出后仍有部分气体残余。虽然  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  时较其他工况分离效果相对较差，但综合图 4 和图 5 电泵吸入口的气相含量仍在可控范围内，当将电泵的影响考虑在内后，气相体积份数则可降到 30% 下，即本研究所介绍的结构能够适用  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  的工况，可以起到良好的气液分离、输送效果。

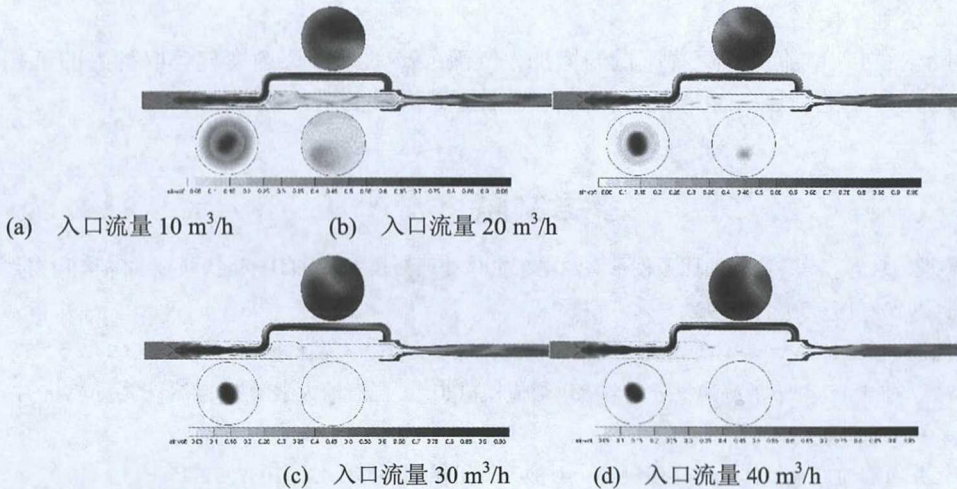


图4 不同入口流量下的气相分布云图



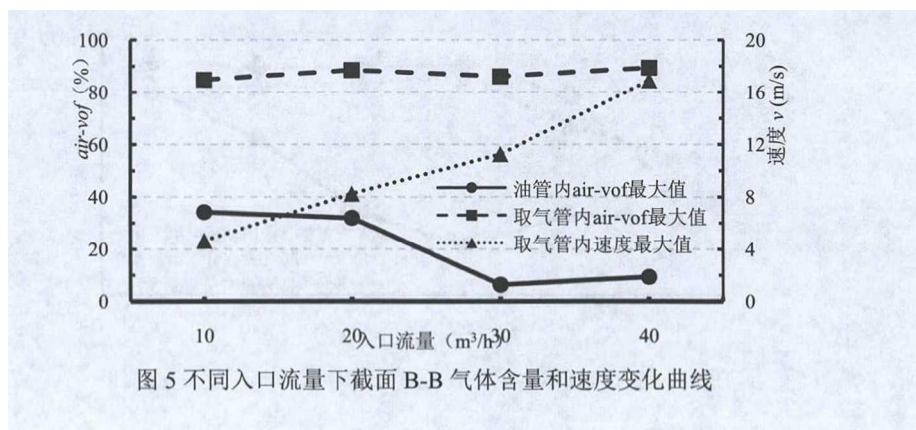


图5 不同入口流量下截面 B-B 气体含量和速度变化曲线

## 4 结论

研究了一种高含气井下气液混合输送技术，并建立了其数值模拟模型，同时对该模型予以了计算分析，模拟了管内气液两相在不同入口含气量和入口流量下的变化规律，得出了以下结论。

(1) 本文所介绍的高含气输送技术能够较好的解决油气开采过程中的高含气井输送问题，实现了常规电泵在高气液比油井中的应用，拓宽了常规电泵在高含气量油井井况中的应用范围。

(2) 经过对比分析发现，对于不同入口气体含量的工况，由于射流泵引射器的引射比影响，入口气体体积含量 40% 是一拐点，当入口气体含量超过 40% 时，引管内的气相含量以及流速基本达到一定值。

(3) 对于不同入口流量，随着流量的增加，气液分离效果亦逐渐变佳，取管内的气相含量基本稳定在一定的范围，而取气管内的流速则随着流量的增加而增大。

## 参考文献

- 1 吴绍伟, 万小进, 袁辉, 等. 高气油比条件下潜油电泵气体处理新技术研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2016, 18 (3) : 90-93.
- 2 张白茹, 颜廷俊, 李杰, 等. 新型高气液比混合器携气机理研究[J]. 石油机械, 2016, 44 (9): 52-57.
- 3 赵焕卿, 李增亮, 孙浩玉. 井下旋流油气分离器流场数值模拟[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31 (4) : 94-97.
- 4 刘恒. 高含气井用潜油电泵气体处理器研制[J]. 石油矿场机械, 2013, 42 (10): 72-75.
- 5 叶卫东, 仇亭亭, 陈静一, 等. 单双级重力式气液分离器结构优化及分离性能仿真[J]. 化工机械, 2017, 44 (3): 322-327.
- 6 王青华, 刘永辉, 张楠, 等. 电潜泵用两级涡流气液分离器串联数值模拟研究[J]. 辽宁石油化工大学学报

- 报, 2018, 38 (1): 1-4.
- 7 刘永辉, 史智慧, 王青华, 等. 潜油电泵井下气液分离器数值模拟[J]. 钻采工艺, 2016, 39 (5): 48-51.
- 8 CAI B W, Wang J J, SUN L C, et al. Experimental study and numerical optimization on a vane-type separator for bubble separation in TMSR[J]. Progress in Nuclear Energy, 2014, 74 (Supplement C): 1-13.
- 9 Liu S, Zhang D, Yang L, et al. Breakup and coalescence regularity of non-dilute oil drops in a vane-type swirling flow field[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2018, 129 (Supplement C): 35-54.
- 10 郑之初. 节能射流泵[J]. 力学与实践, 1985, (1): 46-50.

## Study on down-hole gas-liquid conveying technology

WANG Xin-peng<sup>1,2</sup>, WANG Wei-yao<sup>2,3</sup>, XU Jing-yu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Shandong University of Science and Technology College of Mining and Safety Engineering, Qingdao, 266590

<sup>2</sup>Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

<sup>3</sup>School of Engineering Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China 100049, China)

**Abstract:** In order to ensure the normal operation of the electric submersible pump in wells with high gas fraction during oil field exploitation. Combined with gas-liquid separation and ejection technologies, CFD simulation software FLUENT is used to study a new kind of downhole gas-liquid conveying technology with high gas fraction. Through the establishment of the gas and liquid separation channel, the pressurized high pressure fluid is lifted to the ground with a rich gas flow using the principle of ejection in order to realize self lifting by using the fluid of the production well. The results show that through comparative analysis, it is found that for different inlet gas content conditions, the inlet gas volume fraction of 40% is an inflection point due to the ejection ratio of ejectors. When the inlet gas content is over 40%, the gas content and flow rate of the inlet pipe basically reach a certain value. Furthermore, for different inlet flow rate, the gas-liquid separation efficiency is getting better with the increase of flow rate, and the gas content in the branch tube is basically stable in a certain range, while the flow rate in the run tube increases with the increase of flow rate. This study is of great significance to improve the application range of the electric submersible pump in the high gas fraction oil field.

**Key words:** High Gas Fraction; Electric Submersible Pump; Numerical Simulation; Gas-Liquid Separation