

大锥段注气对旋流器流场影响的数值模拟

柴冬梅^{1,2} 丁康玉³ 王学^{1,2}

1 大庆油田技术培训中心; 2 大庆技师学院 3 大庆油田井下作业分公司压裂大队

摘要: 为对比不同旋流器的流场分布, 探究注气对分离性能的影响, 采用 CFD 软件对大锥段微孔注气和普通旋流器进行数值模拟。数值模拟用的普通旋流器为双锥形水力旋流器。分析两种旋流器的压力场、速度场可以得出: 大锥段注气使旋流器的流场产生很大改变, 对分离既有不利影响又有有利影响。从旋流器各部分来说, 注气对旋流腔流场影响不是太大; 对大锥段的影响很大, 压力梯度减小对分离不利, 切向速度减小对分离有利。小锥段的分离能力因大锥段注气而减弱, 因为注气, 压力梯度变得非常小, 对分离不利; 切向速度也变得非常小, 变化平缓, 在横截面上看轴向速度变化不大。

关键词: 旋流器; 注气; 数值模拟; 压力; 分离

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.016

由于三次采油技术的广泛应用, 在提高原油采收率的同时, 采油污水的处理难度也增加^[1]。因普通水力旋流器处理含油含聚污水效果不理想, 有学者进行了液液旋流分离机理的研究^[2], 提出一些新结构的旋流处理设备^[3], 但处理效果还是不够理想。因此考虑以微孔管向旋流器内加注大量微小气泡, 以提高旋流器对含聚污水的处理效果, 这就是注气式水力旋流器。有关文献对注气式水力旋流器的分离机理进行了研究, 文献[4]采用试验及测试手段对旋流器内部流场、旋流器内压力分布、矿化气泡运行行为、旋流器内颗粒的受力与运动进行了研究。但对于注气对旋流器内部流场产生的影响都不太明确, 为对比不同旋流器的流场分布, 探究注气对分离性能的影响, 采用 CFD 软件对大锥段微孔注气和普通旋流器进行数值模拟。

1 参数与数值模拟的初始条件

数值模拟用的普通旋流器为双锥形水力旋流器, 双入口结构, 如图 1 所示。计算的初始条件为: 入口流量 4.5 m³/h, 入口油相体积占总体积 2%; 主相液体为水, 两个入口的压力为 0.46 MPa, 溢流管处的出口压力为 0.09 MPa, 尾管处的出口压力 0.12 MPa, 密度为 1 000 kg/m³, 黏度为 3.003 × 10⁻³ kg/(m·s); 次相液体为油, 密度为 889 kg/m³, 黏度为 3.06 kg/(m·s)。

大锥段注气旋流器的内部尺寸、结构和普通旋流器相同, 只是大锥段壁面由微孔管代替, 处理污水时经微孔管向旋流器内部注气。大锥段注气旋流器的网格模型如图 2 所示。大锥段外加了一层网格

作为微孔注气段, 厚度为 3 mm。在大锥段的网格中, 采用多孔介质模型来模拟气体通过微孔管, 大锥段的外表面为注气入口, 而大锥段的原壁面为内部面。主相和次相的参数和普通旋流器相同, 增加第三相空气相, 其密度为 1.279 kg/m³。水和油的入口流量为 4.5 m³/h, 水的质量流量在每个进口为 0.623 75 kg/s, 油质量流量在每个进口为 0.012 475 kg/s。气体质量入口压力为 0.55 MPa, 注气量为 0.000 54 kg/s。大锥段注气面积 0.010 632 m², 惯性阻力系数 1.77 × 10⁵, 黏性阻力系数 4.92 × 10⁻¹⁰, 孔隙率 0.5。为分析内部流场, 在两种旋流器中分别选择图 1 所示的截面 I、II、III、IV、V 上的速度场和压力场进行研究, 截面 I、II、III、IV、V 距旋流器顶部的距离分别为 60、100、200、400、550 mm。

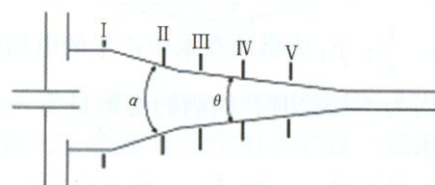


图1 模型结构示意图

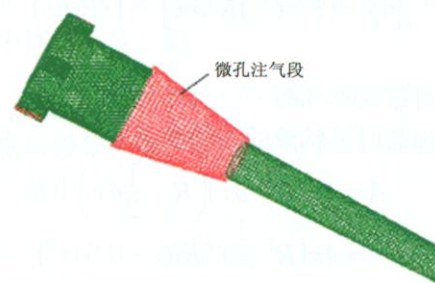


图2 大锥段微孔旋流器注气网格模型



2 压力场分布对比

2.1 轴向截面压力分布对比

从普通旋流器和注气旋流器轴向截面压力等值线图可看出：不注气状态下，旋流器轴向截面压力分布很规律，从器壁到轴心，随半径的减小等压线按层和轴心线大致平行，尤其是轴心线附近的等压线，一直延伸到小锥段；而大锥段注气后，轴心线旁的等压线被破坏，大锥段压力大幅度升高，小锥段以后径向的压力梯度基本丧失。

2.2 径向压力分布对比

径向压力是指垂直于旋流器中心轴线平面上的压力。从普通旋流器和大锥段注气旋流器压力沿径向的分布规律曲线可看出：两种旋流器中径向压力都呈轴对称分布；在相同的轴向位置上，压力随着半径的减小而减小，轴心处最小；在壁面附近，压力变化平缓，由器壁到内旋流区变化梯度较大，内旋流区变化梯度又变的平缓。对比发现，在大锥段注气后，旋流腔的径向压力分布和不注气旋流器基本相同，而大锥段的压力曲线变得平缓，即压力梯度变小了，小锥段的径向压力几乎丧失。另外，大锥段注气后整个流场压力升高，轴心附近尤其明显。一定的径向压力梯度是油水分离的必要条件，由于大锥段注气后，旋流器大锥段、小锥段径向压力梯度减小，必然会导致旋流器的分离性能降低。因此从大锥段注气对压力场的影响来看，注气对旋流器油水分离不利。

3 旋流器速度场分布对比

3.1 切向速度场对比

从普通旋流器与大锥段注气旋流器的切向速度曲线可看出：两种旋流器切向速度的变化规律基本一样，呈周向对称；从器壁开始，随半径的减小切向速度增大，到达某一个点获得最大切向速度值；从该点开始，当半径继续减小时，切向速度反而减小，到中心点处降至最低。两种旋流器流体切向速度的区别在于，大锥段外因注气微孔介质的存在，这一区域流体切向速度为0。另外，对比普通旋流器流体切向速度分布曲线，大锥段注气使得大锥段、小锥段的切向速度值变小，速度梯度变小，这将减小悬浮液滴的离心力，有利于分离的进行。

3.2 轴向速度

从普通旋流器与大锥段注气旋流器流体的轴向速度变化曲线可看出：轴向速度都呈轴对称分布；轴向速度大于零的，液流流向尾管，轴向速度小于

零的，液流流向溢流管。

在旋流腔，对应 $z=0.06\text{ m}$ 曲线，从器壁开始，先是轴向速度值随半径的减小而增大，到达一个最大值点后开始减小，在某一点降为零；随着半径继续减小，轴向速度持续减小，在中轴线附近达到极小值。在大锥段，对应 $z=0.1\text{ m}$ 曲线，轴向速度分布不一样。从器壁开始，轴向速度随着半径的减小而增大，到达一个最大值后轴向速度反而减小，在某一点降为零；随着半径继续减小，轴向速度也减小，普通旋流器流体轴向速度到达一个最小值后速度值又开始上升，而注气旋流器到中心轴线附近取得极小值。在小锥段 $z=0.2、0.4、0.55\text{ m}$ 处的3个截面上，注气旋流器从器壁开始向轴心看，流体轴向速度增大，到一个比较大的值后变得平稳，在轴心处取得极大值，越靠近尾管，轴心上的轴向速度就越大。而普通旋流器随着半径的减小流体轴向速度到一个大值后反而变小，这一区域的流体还有向溢流口运动的趋势。由此可知，大锥段注气后，小锥段的分离性能降低，分离过程仅发生在旋流腔和大锥段。

4 结论

分析两种旋流器的压力场、速度场可以得出：大锥段注气使旋流器的流场产生很大改变，对分离既有不利影响又有有利影响。从旋流器各部分来说，注气对旋流腔流场影响不是太大；对大锥段的影响很大，压力梯度减小对分离不利，切向速度减小对分离有利。小锥段的分离能力因大锥段注气而减弱，因为注气，压力梯度变得非常小，对分离不利；切向速度也变得非常小，变化平缓，在横截面上看轴向速度变化不大。

参考文献

- [1] 李绍文, 吴卫霞, 汪小宇. 聚合物驱含油污水絮凝剂筛选[J]. 断块油气田, 2006, 13 (4): 79-80.
 - [2] 嵇月平, 尹鑫. 液-液水力旋流器中液滴的径向受力分析[J]. 油气田地面工程, 2003, 22 (8): 19-20.
 - [3] 蒋明虎, 李剑石, 李枫, 等. 复合旋流器与静态旋流器性能对比试验[J]. 油气田地面工程, 2007, 26 (1): 19-20.
 - [4] 褚良银, 罗茜, 余仁焕. 充气水力旋流器内流场的研究[J]. 化工矿物与加工, 1994 (3): 30.
- [第一作者简介] 柴冬梅：讲师，1997年毕业于哈尔滨师范大学计算机教育专业，现任职于大庆技师学院机电工程系机械教研室。(0459) 8187699

(栏目主持 杨 军)

