

# Numerical Simulation of Gas-Liquid Two-Phase Flow in Throttling Process

Desheng Liu

The Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC (PERRIS), Beijing  
Email: lds1121@126.com

Received: Jul. 14<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jan. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In this paper, a simplified physical model at the throttle choke is established based on the Fluent Software. The flow properties of gas-liquid two-phase flow at the throttle nozzle are studied. As a result, the pressure and the temperature at the entrance of the throttle nozzle decrease sharply and then achieve a balance through the energy attenuation. The total variation trend is reduced. It provides a theoretical foundation to prevent the hydrate formation.

## Keywords

Gas-Liquid Two-Phase Flow, Restriction, CFD Simulation, Gas Hydrate

---

# 气液两相节流数值模拟

刘德生

中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京  
Email: lds1121@126.com

收稿日期: 2015年7月14日; 录用日期: 2016年1月26日; 发布日期: 2016年1月29日

---

## 摘要

本文研究气液两相流在节流嘴处的流动规律, 利用Fluent计算流体动力学软件, 对节流嘴附近的流体流动状况进行数值模拟。分析结果表明, 流体的压力、温度在节流嘴入口处急剧减小, 再经过能量衰减逐

渐达到平衡，总的变化趋势是减小的，为现场预防水合物的生成提供参考依据。

## 关键词

气液两相流，节流，CFD模拟，水合物

## 1. 引言

水合物的生成问题是油气生产中一个十分重要的工程问题。产出混合液在井筒和地面管线中节流流动时，其压力、温度会发生突变，压力、温度的变化是导致水合物生成的重要原因。生产过程中水合物的形成给油井生产带来严重的危害，而且给油井的科学管理也带来许多困难。研究产出混合液在节流嘴处的流动规律，对于指导生产有重要的实际意义。

## 2. 气液两相节流预测数学模型

对于气液两相节流模型，Ashford 和 sachdeva 等分别提出了相应的数学模型，这些模型主要针对气井的气嘴节流问题[1]-[6]。针对含有伴生气的油井，可将油气作为复合流体，然后考虑复合流体的两相节流，得出用于含伴生气节流计算模型[7]-[9]。

### 2.1. 复合流体参数

含伴生气油井的产出物包括从分离器分离出的原油和溶解气，忽略溶解气逃逸。由于大多数油井的气体含量很低，可以把溶解气折算成油相作为总量的一部分，称为复合流体。因此须对流量、相对密度等参数作相应的修正。

1) 复合流体流量的修正

$$q_T = q_{SO} + q_G q_{EO} \quad (1)$$

式中： $q_T$  为修正后的总流量， $m^3/d$ ； $q_{SO}$  为经分离器得到的油相产量， $m^3/d$ ； $q_G$  为气相产量， $m^3/d$ ； $q_{EO}$  为气相的相当油相体积， $m^3/m^3$ 。

$$q_{EO} = 24.04 \left( \frac{1000\gamma_g}{M_g} \right) \quad (2)$$

式中： $\gamma_g$  为气相相对密度； $M_g$  为气相分子量。

2) 复合流体相对密度

$$\gamma_w = \frac{R_g \gamma_o + 830\gamma_g}{R_g + 24040\gamma_g/M_g} \quad (3)$$

式中： $\gamma_w$  为复合流体相对密度； $R_g$  为地面总生产气油比， $m^3/m^3$ ； $\gamma_o$  为分离器的油相相对密度。

### 2.2. 复合流体 - 水混合物参数

由于这类油井的气液两相混合较为均匀，可视为均匀的单相流，在两相流动过程中，微小气泡悬浮于油相中，油相是气泡的载体，油相是连续相，气泡是分散相。油气水三相间无相对运动，即无滑脱现象。

在气液两相节流稳定流动能量方程中，主要包含复合流体 - 水混合物的密度和速度两个参数，只要

确定出这两个参数，问题就得到解决。

1) 复合流体 - 水混合物的密度

根据两相流密度计算公式：

$$\rho_m = \rho_o(1-\varepsilon) + \rho_w\varepsilon \quad (4)$$

式中： $\rho_m$  为复合流体 - 水混合物的密度， $\text{kg/m}^3$ ； $\rho_w$  为水密度， $\text{kg/m}^3$ ； $\varepsilon$  为持液率。

气液两相间的相对速度可视为零，持液率可用无滑脱持液率计算。

$$\varepsilon = \frac{q_w}{q_o + q_w} \approx \frac{q_w}{q_o} \quad (5)$$

式中： $q_w$  为水流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ； $q_o$  为复合流体流量， $\text{m}^3/\text{s}$ 。

将式(5)代入式(4)得复合流体 - 水混合物的密度：

$$\rho_m = \rho_o(1-\varepsilon) + p_w\varepsilon = F_w\rho_o \quad (6)$$

$$F_w = 1 + \frac{W_w}{W_o} \quad (7)$$

式中： $F_w$  为含水校正系数。

2) 复合流体 - 水混合物的速度

同理可得复合流体 - 水混合物的速度：

$$u_m = u_o \quad (8)$$

### 2.3. 气液两相节流稳定流动能量方程

气液两相节流预测模型可以根据流体稳定流动能量方程推导出来。流体混合物流过节流嘴等节流元件时可以假设：忽略位能，且不对外做功，摩阻能损耗在总能量消耗的结构中很小，可以忽略不计，流体流动中各相速度相同。气液两相流体节流过程的稳定流动能量方程为：

$$\frac{dp}{\rho_m} + u_m du_m = 0 \quad (9)$$

式(9)在任何状态下都成立。前面已确定出产水凝析气井的  $\rho_m$ 、 $u_m$ 。将式(6)和(8)代入式(9)，并引入节流绝热等熵过程和单位换算，可推得：

$$q_{sc} = \frac{1352C_d A_c p_1}{\sqrt{F_w \gamma_w Z_1 T_1}} \sqrt{2g \frac{K}{K-1} \left[ R^{\frac{2}{K}} - R^{\frac{K+1}{K}} \right]} \quad (10)$$

式中： $q_{sc}$  为通过节流嘴流量， $\text{m}^3/\text{d}$ ； $C_d$  为节流嘴流量系数； $p_1$  为节流嘴上游压力，MPa； $A_c$  为节流嘴面积，mm； $T_1$  为节流嘴上游温度，K； $Z_1$  为节流嘴上游气体偏差系数； $K$  为气体绝热指数，对天然气可取 1.299； $R$  为节流嘴上下游压力比， $R = p_2/p_1$ 。

## 3. 井下节流过程的 CFD 数值模拟

利用现在国际上比较流行的 CFD 软件——Fluent 软件对所研究的节流嘴进行数值模拟分析。

### 3.1. 模型

#### 3.1.1. 数学模型

在节流嘴的研究中，将节流嘴及其两端管道的几何形状简化为二维轴对称圆柱形，流动状态按可压

缩理想气体紊流流动状态进行研究, 通过数值求解二维 Navier-Stokes 方程得出节流嘴的流场数值模拟分析结果。

### 3.1.2. 结构几何模型

对于安装在石油管道、节流管汇上的节流嘴而言, 根据其结构形式, 分为固定式和可调式两种形式。对问题进行简化, 在这里采用的是结构形式最简单的固定式节流嘴进行分析的, 如图 1 所示(剖面图)。

如图 1 所示的剖面图, 该固定式节流阀是一个二维圆形直管段, 它由三段组成, 其  $D = 60 \text{ mm}$ ,  $d = 5.0 \text{ mm}$ , 比值  $d/D = 0.08$ 。沿着流动方向,  $L_1 = 100 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 40 \text{ mm}$ ,  $L_3 = 200 \text{ mm}$ 。网格划分是结构性网格与非结构性网格组成。

## 3.2. 计算结果及分析

根据相关的物理模型和参数进行模拟分析。对节流过程进行了数值模拟, 并得到很好收敛效果。得到了流体的流速、压力、温度在节流过程中的二维变化情况, 具体见以下分析。

### 3.2.1. 速度变化情况

速度的变化情况如图 2、图 3 所示, 从图中可以看出, 速度总的变化趋势是在节流嘴入口处, 截面积急剧减小, 流速急剧增大。在节流嘴出口处, 由于出口处压强大于反压, 因此, 流体要继续膨胀, 速度会进一步增大, 然后经过一系列的膨胀、压缩, 再膨胀、再压缩的周期性变化过程, 能量逐渐衰减, 最后与周围流体相混合达到平衡。

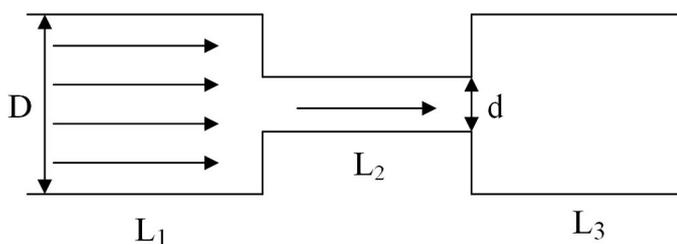


Figure 1. Schematic diagram of throttle nozzle

图 1. 节流嘴流道示意图

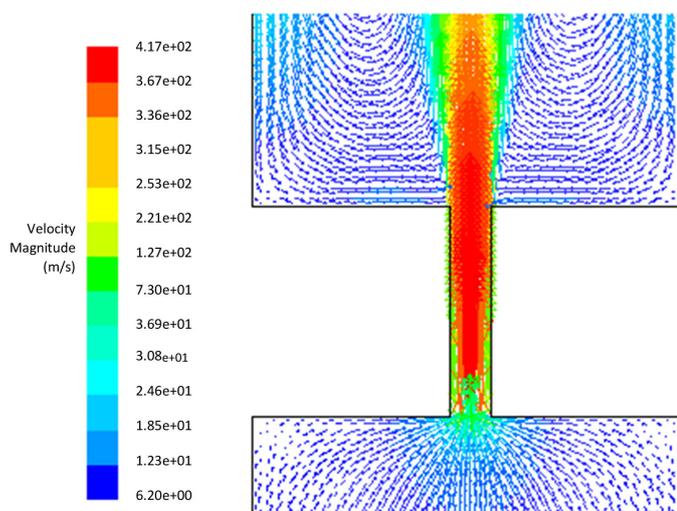


Figure 2. Velocity vector diagram

图 2. 速度矢量图

### 3.2.2. 压力变化情况

压力的变化情况如图 4、图 5 所示，从图中可以看出，经过节流嘴后压力降低了 34 MPa。在节流嘴入口处，截面积急剧减小，此时流体压力也急剧减小。在节流嘴出口处，由于出口压力大于反压，因此

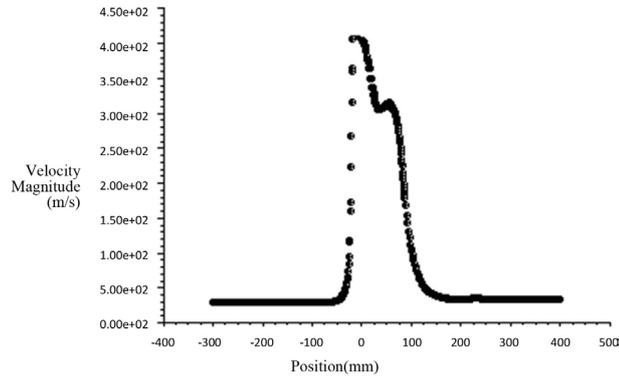


Figure 3. Distribution of velocity on the axis  
图 3. 轴线上速度分布图

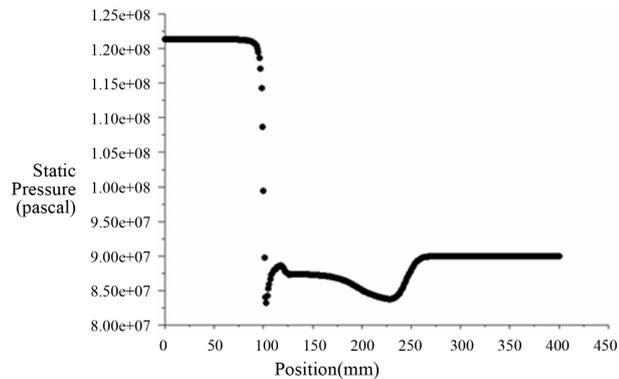


Figure 4. Distribution of pressure on the axis  
图 4. 轴线上压力分布图

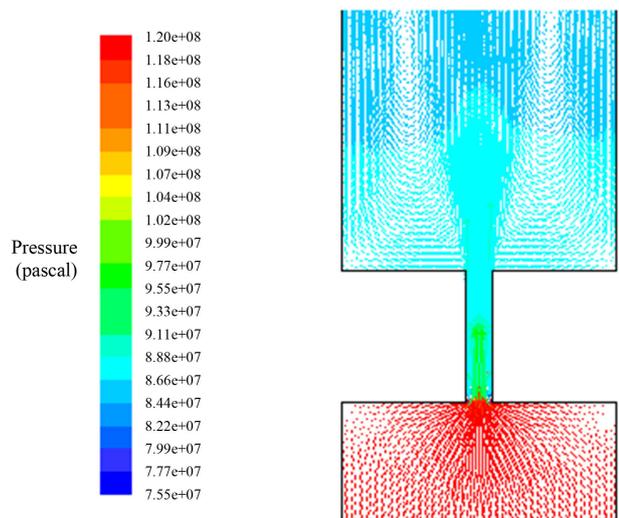


Figure 5. Equal pressure line chart  
图 5. 等压力线图

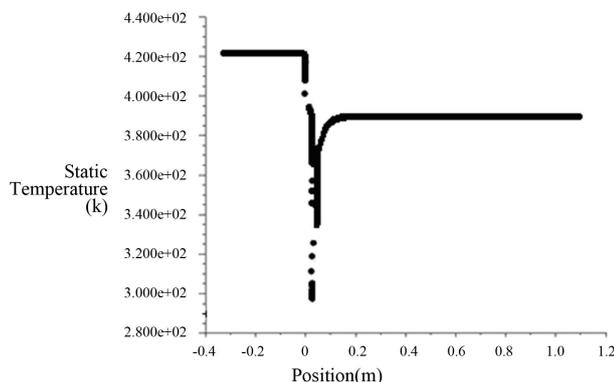


Figure 6. Static temperature curve diagram on the axis  
图 6. 轴线上静态温度曲线图

流体继续膨胀，压力也不断下降，在经过不断衰减的激波系的作用下，流体压力也逐渐衰减到与反压相等。

### 3.2.3. 温度变化情况

压力的变化情况见图 6，从图中可以看出，经过节流嘴后温度降低了 24.5℃。当流体进入节流嘴时，截面积急剧减小，此时温度也急剧减小，当流体流出节流嘴时，在逐渐衰减的膨胀波与压缩波波系的作用下，流体的动能逐渐转变为热能，流体温度总的变化趋势是逐渐降低的。

## 4. 结论

根据相关的物理模型和参数进行模拟分析。对节流过程进行了数值模拟，得到了流体的流速、压力、温度在节流过程中的二维变化情况：

- 1) 速度总的变化趋势是在节流嘴入口处，截面积急剧减小，流速急剧增大。再经过一系列的膨胀、压缩，再膨胀、再压缩的周期性变化过程，能量逐渐衰减，最后与周围流体相混合达到平衡。
- 2) 压力总的变化趋势是在节流嘴入口处急剧减小，在节流嘴出口处，压力不断下降，再经过不断衰减的激波系的作用下，流体压力也逐渐衰减到与反压相等。
- 3) 流体温度总的变化趋势是逐渐降低的。

## 参考文献 (References)

- [1] Ashford, F.E. and Pierce, P.E. (1975) Determining Multiphase Pressure Drop and Flow Capacities in Down-Hole Safety Valves. *Journal of Petroleum Technology*, **9**, 1145-1152. <http://dx.doi.org/10.2118/5161-PA>
- [2] Sachdeva, R., et al. (1986) Two-Phase Flow through Chokes. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, 5-8 October 1986, 12 p. <http://dx.doi.org/10.2118/15657-MS>
- [3] Bloys, J.B. (2000) Hydrate Engineering. The Society of Petroleum Engineers Inc., Richardson.
- [4] Hasan, A.R. and Kabir, C.S. (1991) Heat Transfer during Two-Phase Flow in Well Bores; Part I—Wellbore Fluid Temperature. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, 6-9 October 1991, 695-708. <http://dx.doi.org/10.2118/22866-MS>
- [5] Fluent, Inc. (1998) Fluent 6.0. User's Guide.
- [6] 陈家琅. 石油气液两相管流[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [7] 刘建仪, 李颖川, 杜志敏. 高气液比气井气液两相节流预测数学模型[J]. 天然气工业, 2005, 25(8): 85-87.
- [8] 刘鸿文, 刘德平. 井下油嘴节流机理研究及应用[J]. 天然气工业, 1990, 10(5): 57-62.
- [9] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 9.