

海底管线周围流场分析

叶智慧¹, 宁禹强¹, 陈冬¹, 张佳亮¹

1. 石油工程学院, 中国石油大学北京, 北京市, 昌平

简介 海洋石油开采过程中, 水流通过海底管线发生流场变化, 从而影响管线周边的受力状态。本文应用k-ε湍流模型, 改变流速, 管线位置以及底床粗糙度, 研究不同情况下的管线周边绕流情况, 为工程实践提供参考作用。

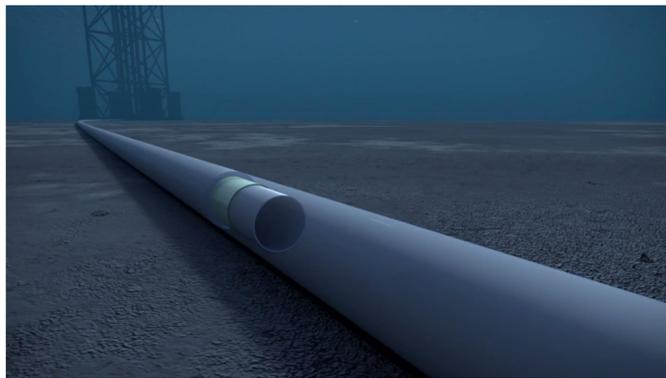


图1. 海底管线示意图
(http://subseaworldnews.com)

研究方法 本研究中使用k-ε方程, 对不同条件下的海底管线周围流场情况进行分析。瞬态情况下的控制方程为:

k方程:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_1)}{\partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

ε方程:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_1)}{\partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

$$G_k = \mu_1 S^2$$

$$S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

边界处的流入速度为:

$$U = \frac{u^*}{k} \ln \frac{y}{z_0}$$

上式中: u*为流体摩擦速度
k为冯·卡门常数, 取0.40
z₀为床面粗糙度

表1 基准模型相关参数列表

| | |
|----------|----------|
| 管线直径 | 0.1m |
| 管线与海底间距 | 0.45m |
| 摩擦速度 | 0.026m/s |
| 底床颗粒中值粒径 | 0.345mm |

本研究在基准模型的基础上改变相关参数, 观察不同情况下形成的流场之间的差异。

几何模型 采用二维绘图中的“矩形”绘制特定区域、将海底管线简化成“圆形”, 管道直径为0.1m, 选定的区域宽为2m, 高1m。几何模型如图2所示。

网格: 物理场控制网格。

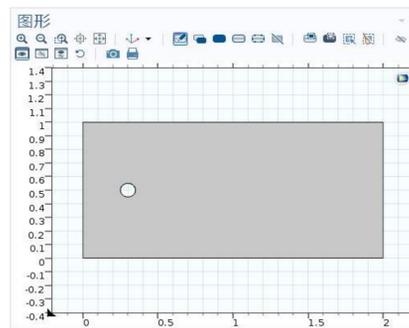
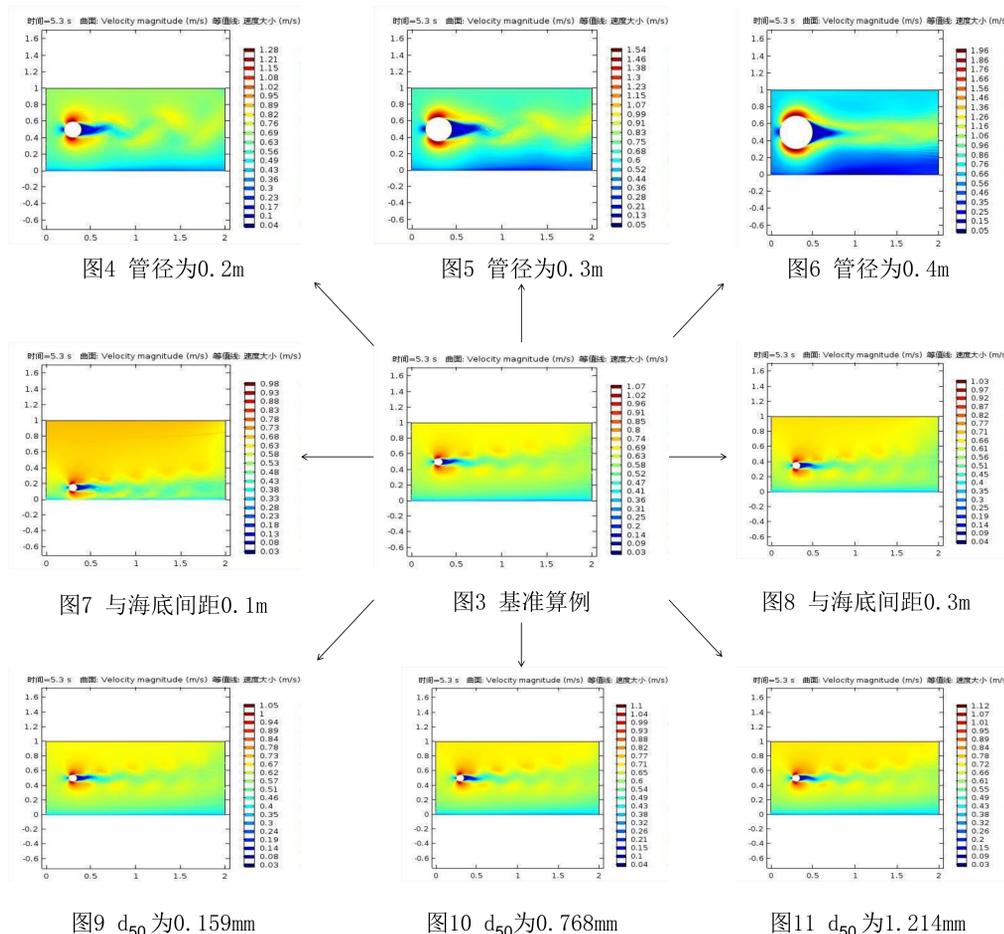


图2. 海底管线几何模型

流场模拟结果



改变砂粒的粒径, 分别选取管前0.05m处和管后0.65m处4s时的速度分布, 速度分布情况如下:

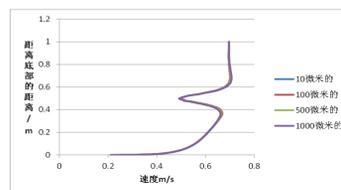


图12 管前0.05m处速度的分布

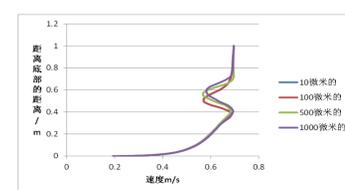


图13 管后0.65m处速度的分布

结论

1. 同一位置处, 当管径增大时, 管汇附近的流速会变小, 流场趋于稳定。
2. 改变管线与海底间距时对底部流速的影响较大, 管线周围会出现紊流。
3. 不同海底粗糙度对流经管线前的水流速度影响不大, 流经管线后在管线附近的同一高度处床面粗糙程度越大速度越大, 但对上部水流的流速影响很小。