

# 基于ANSYS FLUENT的输水管道内贻贝附着模拟研究

张彬 张舒然 张晓雷

华北水利水电大学 水利学院 河南 郑州 450046

**[摘要]**淡水壳菜极易在管道内附着,对管道结构进行侵蚀,改变管道粗糙高度,降低输水效率,影响设备的正常工作。本文采用ANSYS软件对管道建模,分别研究坡度与进口流速变化对管道流体的改变,通过FLUENT软件探究管道内最容易附着的部位以及壳菜附着高度对管中心流速的影响,研究表明:在管道内部,淡水壳菜更易附着在管底5-10m处和存在坡度的管道。当进口流量一定的情况下,随着淡水壳菜附着高度越来越高,管中心流速逐步下降,并且最大流速所对应的位置逐步靠近管道进口1m处,能量损失越发严重。

**[关键词]**输水管道;淡水壳菜;管道清扫;仿真模拟

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.413

## 引言

输水管道内淡水壳菜附着一直是影响管道内结构安全、水体质量、输水效率问题的来源,因此研究输水管道内的水力特征具有重要的实践意义。近年来国内外对于管道内淡水壳菜研究较多如:王睿<sup>[1]</sup>研究了淡水壳菜对输水管道造成了水质恶化和生物淤积问题,郑航桅<sup>[2]</sup>主要针对淡水壳菜附着于输水管涵内壁,会侵蚀混凝土结构,增大管壁糙率,从而增加输水能耗和工程运行成本;主要研究了淡水壳菜对混凝土表面的侵蚀情况并提出用涂层的方法防护混凝土;蔡杰龙<sup>[3]</sup>研究淡水壳菜污损体系的代谢物、对水质影响与附着机理,并分析其对输水建筑物的侵蚀状况。研究表明过水混凝土面容易遭受淡水壳菜污损体系的侵蚀,导致砂浆流失、骨料外露,影响输水建筑物的结构与安全。冯文涛<sup>[4]</sup>从东深供水工程司马有压箱涵段运行监测数据出发,分析了淡水壳菜对司马有压箱涵糙率的影响,分析结果表明,司马有压箱涵的糙率随不间断供水时间的增长而显著增加。李榕<sup>[5]</sup>探究了贻贝对混凝土产生了侵蚀破坏作用,严重影响了混凝土构筑物的服役寿命;Bruesewitz等<sup>[6]</sup>研究了微生物对水流速率的影响等等。

虽然国内外的学者对贻贝附着后的后果进行了研究但是很少有学者对管道内结构和流态进行分析,探究管道内不同坡度下哪些位置更容易产生附着,和导致其产生更多附着的原因。同时,对于管道内淡水壳菜附着逐渐增多后,管中心流速的变化和程度也少有分析。本项目基于ANSYS、FLUENT等软件对管道进行模型建立与处理,分析相同流速不同坡度下的流态,相同坡度不同流速下的流态进行分析,研究管道内最容易附着淡水壳菜的部位,以及相同进口流速下,不同的附着高度所导致管中心流速的变化。本文运用模拟仿真对管

道进行了水力特性研究,为研究淡水壳菜的管道附着提供了参考。

## 1、输水管道的结构设计

引水工程具有横跨空间大,使用周期长等特点,南水北调引水管道在不同地区降雨与蒸发的程度均不一样,即使是同一地区,该地区常年的降雨与蒸发程度也不一致,故模拟不同流量下的管道并比对分析不同流量下的管道内部流场对淡水壳菜的生长影响是十分必要的。同时,考虑到真实施工环境以及大管径管道敷设的难度,实际敷设坡度应与设计坡度有误差。

为研究流量与坡度之间的关系,本次模拟管道为管径2.4m,管长10m,不考虑淡水壳菜的附着影响,管内壁糙率为0.014,入口设定1.4m/s,1.5m/s,1.6m/s三个流速,对于有压非金属管道,模拟管道坡度为0.000、0.003及0.005。

为了更好地研究淡水壳菜附着高度对管道内部水流的影响,本次模拟选用流速小于1.2m/s的有压混凝土管道,选用管径为2.2m,管长10m,管道进口流速采用南水北调辛庄口门的资料数据,取1.18m/s,本次模拟管道坡度均为0.000,用粗糙高度代替淡水壳菜附着高度。

## 2、数值模拟

本文采用计算流体力学方法(CFD),运用Fluent根据流体介质连续性方程和动量守恒方程(运动方程或Navier-Stokes方程)进行模拟,方程如下:

流体介质连续性方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2-1)$$

动量守恒方程也称运动方程或Navier-Stokes方程:

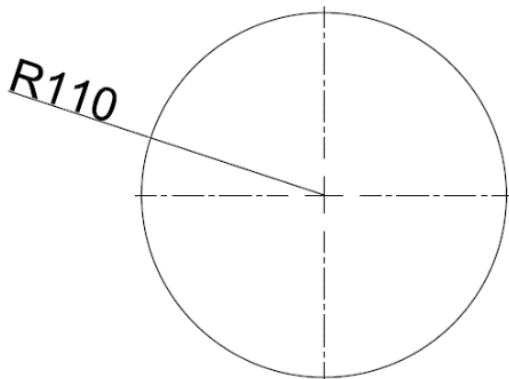


图 1.1 初始模拟管道半径

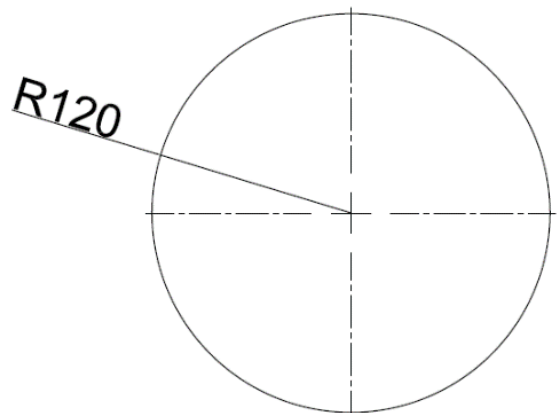


图 1.2 淡水壳菜附着模拟管道半径

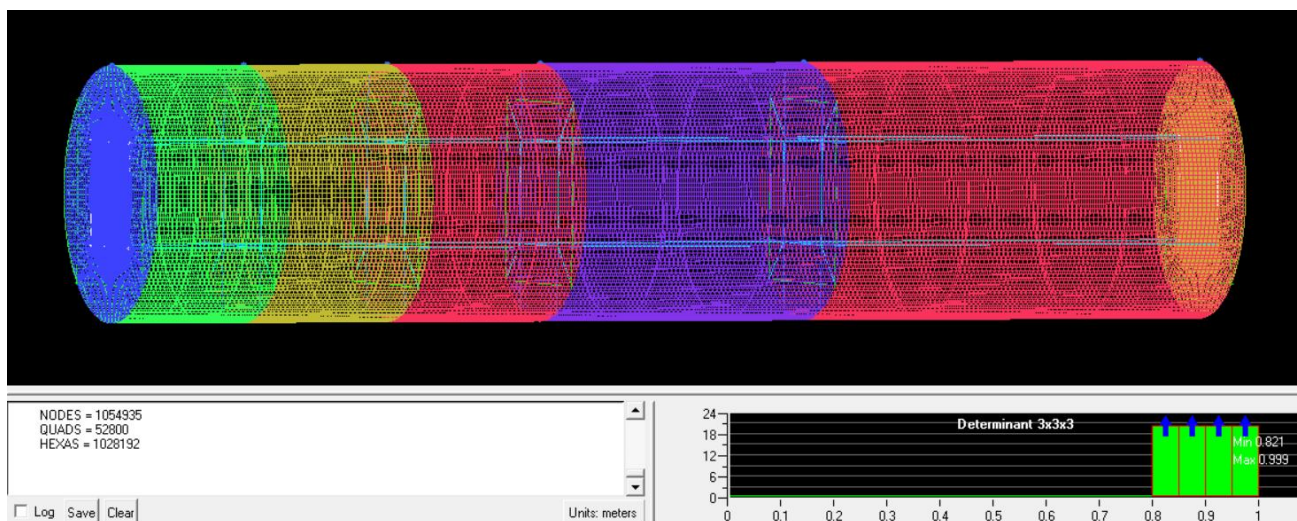


图 2.1 初始管道结构化网格

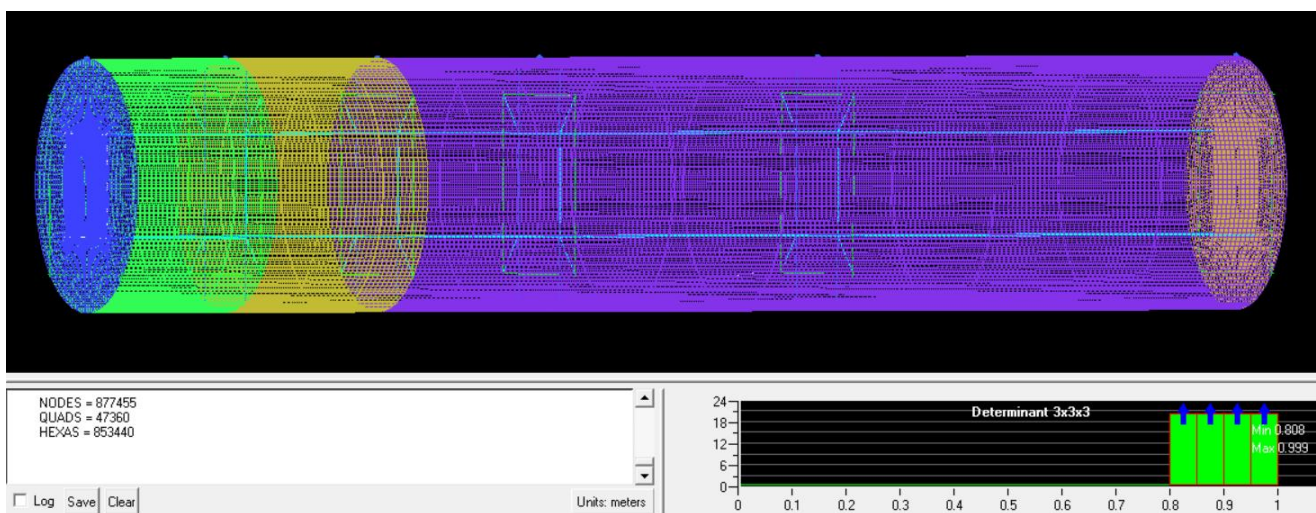


图 2.2 壳菜附着管道结构化网格

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w w)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_w \quad (2-4)$$

式中： $p$  是流体微元体上的压力； $S_u$ 、 $S_v$  和  $S_w$  是动量方程的广义源项一般来讲， $S_u$ 、 $S_v$  和  $S_w$  是小量，对于黏性不可压缩流体， $S_u = S_v = S_w = 0$ 。

采用Fluent商业软件模拟管道内部流场：设置了3个边界条件：入口边界，出口边界以及壁面边界。入口边界设定速度入口，出口边界设定为压力出口，壁面边界根据不同模拟情况设置粗糙高度。模拟求解器选用3d双精度，算法则采用SIMPLE算法，该算法提高了计算的收敛性，计算速度较快，初始管道网格个数约为103万，壳菜附着管道网格个数约为85万，网格质量均达到0.8以上，质量较好。

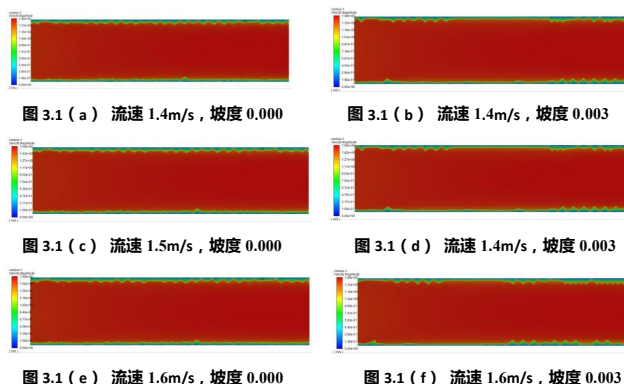
### 3、结果与分析

#### 3.1管道内流量与坡度对淡水壳菜附着的结果与分析

为了验证数值模拟计算结果的可靠性，本文基于模拟数据进行了对照验证。模拟坡度时考虑了0.000，0.003及0.005

三种情况，进口流速设定1.4m/s，1.5m/s，1.6m/s三个流速，出口设置压力出口。

管道横剖面流速分布见下图3.1：



从图3.1可以看出：管道内部水流由左向右出水，当管道内部水流稳定后，管道中心与管内壁出现明显的分层现象。当进口流速一定，坡度递增变化时，靠近管道出口5到10m处

出现了低流速范围扩大的现象，且当流速处于1.6m/s时低流速范围更明显。这是因为，在有压管道内，通过重力和压强的作用下，管道内壁的水流在有坡度的管道内，重力加速度在水平方向分解了一个矢量，故在管道出口处，坡度增加0.003，靠近管道出口处的管底低流速区域扩大一倍。正是由于坡度存在，一方面让壳菜幼体更加容易接触管道底部，另一方面由于低流速区域存在更利于壳菜的停留。

3.2、不同附着高度条件下有压管流模拟及成果分析

设计淡水壳菜附着高度为5cm和10cm的有压混凝土管道

将模拟管段管道半径减少5cm，共分5段，粗糙高度分别为：0.00709m，0.00521m，0.00411m，0.00319m，0.00411m。管道设计如图3.2(a)

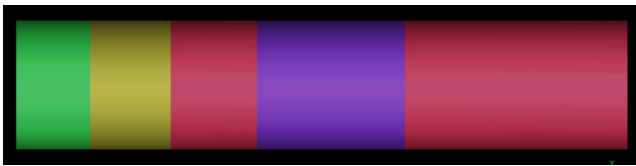


图3.2(a) 5cm附着高度模拟管道

同时将模拟管段管道半径再减少5cm，共分3段，粗糙高度分别为：0.00709m，0.00579m，0.00624m。管道设计如图3.2(b)。

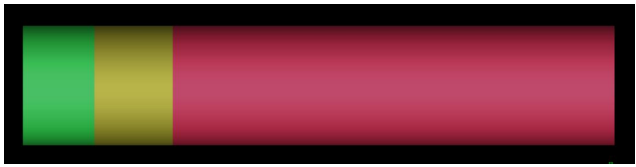


图3.2(b) 10cm附着高度模拟管道

绘制淡水壳菜附着高度为5cm和10cm的管道中心流速图。

由上图易知：

管长0~1.01m时流速小于等于1.2m/s，该处管段适合淡水壳菜生长，故该处的糙率较高，粗糙高度设为0.00709m；

管长1.01~3.23m时流速大于1.2m/s，该处管段不适合淡水壳菜生长，故该处糙率较低，粗糙高度设为0.00579m；

管长3.23~10m时流速小于1.2m/s，该处管段相对不适合淡水壳菜生长，故该处的糙率相对较低，粗糙高度设为0.00624m。

根据图3.2不难发现：管道内部管道中心流速随着管长先

增大后减小，管段出口段6到10m的管道中心流速有趋近于平稳。当管道内部淡水壳菜附着厚度越大，管道中心流速的峰值越靠近管道进口处1m作用，这是因为在有压管道内，管道进口处的压强较大，管道内部附着大量淡水壳菜，淡水壳菜糙率为0.0167，大于混凝土管道糙率，随着压强的降低，糙率成为影响管道中心流速的主要因素。值得研究的是10cm附着高度下，在管道5m处出现了较小的异常值接近1.2m/s，这是由于附着高度过大，使得管道内流体不稳定所导致的。

4、结语

采用ANSYS软件对输水管道进行有限元分析，通过FLUENT软件模拟了不同坡度下管道内流速分布情况；将粗糙高度代替淡水壳菜附着高度，研究了管中心流速变化情况，得到如下结论：①当流速一定，坡度分别为0.000、0.003、0.006时，由于存在一定倾斜角度，水流会被管道底部进行削弱，同时由于重力的作用，壳菜幼体处于管道中心向下抛落，将更容易附着在距离管道出口5-10m处，故更易生长繁殖在流速较小且存在坡度的管道内。②通过对淡水壳菜附着高度的研究发现，当进口流量一定的情况下，随着附着高度越来越高，管内中心流速逐步下降，在6—10m下降逐渐稳定，且最大流速所对应的位置逐步靠近管道进口1m处，能量损失越发严重。

参考文献

[1]王睿.长距离输水管线中淡水壳菜的氧化杀灭去除技术研究[D].哈尔滨工业大学,2011.  
 [2]郑航桅,潘志权.淡水壳菜防治涂料对输水管涵糙率的影响及效益评价[J].中国给水排水,2021,37(24):87-92.  
 [3]蔡杰龙,杨永民,潘志权,张君禄,蔡灿旭,王梓鑫.淡水壳菜污损体系及其对输水建筑物侵蚀现状分析[J].人民珠江,2019,40(06):111-116+129.  
 [4]淡水壳菜对东深供水工程司马有压箱涵糙率影响分析[J].冯文涛.甘肃水利水电技术,2016(04):10-13  
 [5]李榕.输水工程中以淡水壳菜为主的污损体系对混凝土的侵蚀及其防护研究[D].华南理工大学,2017.  
 [6]Bruesewitz, D. A., J. L. Tank & M. J. Bernot. Delineating the effects of Zebra Mussels (Dreissena polymorpha) on N transformation rates using laboratory mesocosms[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2008, 27: 236-251.

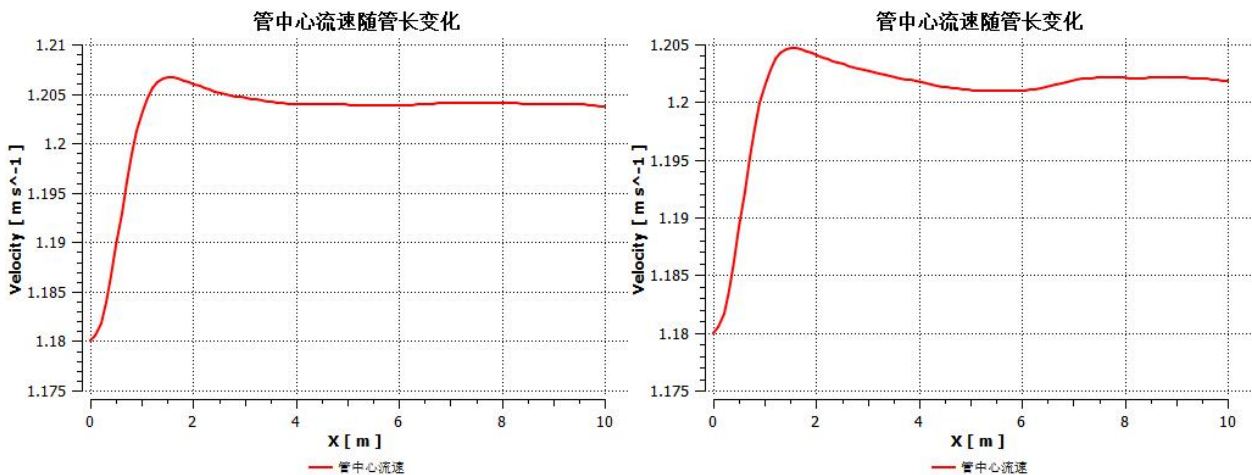


图3.2(c)分别为附着高度为5cm、10cm时的管道中心流速随管长变化图