

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2023.0341

局部淤堵排水管道水力冲击特性的 CFD 模拟研究

王天赐¹, 黄标^{1*}, 杨志¹, 王春凌²

(1. 宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211; 2. 台州学院 建筑工程学院, 浙江 台州 318000)

摘要: 在市政排水管道中, 长时间运行会导致排水管道发生局部淤堵, 降低过流能力, 对排水管道正常运行产生影响. 本文针对存在局部淤堵的圆形截面排水管道构建了水汽两相流数值模型, 利用 CFD 手段模拟研究了非恒定入流边界下的局部淤堵排水管道水力特性, 量化分析了不同初始条件下淤积或障碍物的受力情况. 结果分析表明: 在干管初始条件下, 冲击瞬间障碍物受力达到最大值, 该冲击力可用射流公式近似计算, 相对误差小于 10%; 而在湿管条件下, 水流对于障碍物的冲击力相较于干管有显著下降. 此外在湿管条件下, 障碍物受水流冲击的强度还与初始条件下障碍物的淹没条件密切相关.

关键词: 排水系统; 管道淤积; 管道固体障碍物; 水流冲击力; 受力变化

中图分类号: TU992.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2024) 02-0065-07

近年来, 全球气候变暖和极端降水的增加导致城市内涝事件频发, 而排水系统过流能力不足也是导致城市内涝发生的重要原因之一^[1]. 排水管道内固体废物的淤积改变了过水断面的几何边界, 导致排水管道排水能力下降, 其淤塞的有机物还可能诱导管道腐蚀^[2]. 国内外许多管道目前都存在由沉积物造成的较为严重的堵塞现象^[3-4]. 尽管针对管道中的水流已经提出了很多自净模型^[5-7], 但重力排水管道中沉积物始终存在, 并最终都易形成障碍物.

近几十年来已有较多实验结合数值方法的水力学问题研究, 如对具有自由液面不可压缩黏性流体运动进行精细化计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)模拟^[8-9], 其中, 紊流的非恒定流模拟则主要基于有限体积法或有限单元法^[10-11]. Qian 等^[12]基于 CFD 模型对管道水汽两相非恒定流研究, 发现其具有良好可靠性. 此外, 有研究表明管道中障碍物及沉积床会对过流能力产生影响^[13-15], 而流速会影响管道中沉积物的冲刷强度^[16]. 对于市政雨水管道, 入口边界条件通常为

非恒定条件, 而水流在非恒定条件下会产生冲击压力, 此时可利用冲击方法对固体沉积物进行冲刷与运输^[17]. 溃坝流对三角形底坎冲击实验、水流对于河道中孤立障碍物的冲击模拟及海啸对于海岸冲击力的研究都表明水流对于固体所产生的二次冲击总是小于第一次撞击等级^[18-22].

目前国内对于排水管网的设计是基于恒定流假设, 对于复杂条件下排水管道的非恒定流模拟仍有待深入研究. 针对以上研究现状, 本文结合目前对于非恒定流模拟与管道中存在障碍物水流的常用方法来研究障碍物受力的峰值与流量变化的响应关系, 利用有限体积法(Volume of Fluid, VOF)方法进行 CFD 模拟, 并通过实验结果与数值模拟的比较, 验证该方法的有效性. 基于该模型, 本文还研究了圆形管道中存在障碍物情况下非恒定水流对障碍物的冲击情况.

1 几何与数值模型

1.1 几何模型

排水管道及障碍物模型主要由以下部分组成:

收稿日期: 2023-03-28.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY21E090003); 浙江省省属高校基本科研专项(SJLZ2021004).

第一作者: 王天赐, 硕士研究生, 主要研究方向: 市政排水管道淤积. E-mail: wabgtian123456@163.com

*通信作者: 黄标, 博士/副教授, 主要研究方向: 城市水力学、市政管网模拟与监测. E-mail: huangbiao@nbu.edu.cn

(1)管道(l)长度 8 m, 直径(D)180 mm, 坡度 S_0 根据工况设定取不同数值; (2)通气管距上游入口 1 m 处, 长度 0.5 m, 直径 5 cm; (3)距上游入口 4 m 处设置障碍物, 障碍物长度 l_s 取 0.12 m, 高度 h_s 根据工况取不同数值; (4)下游自由出流, 三维模型中设置水箱, 以使流动充分发展。

对障碍物以及管道边壁分别布置 5 个监测点以及 2 个监测面, 用于监测水流以及水流对障碍物的作用。 P_1 位于障碍物上游处, 可监测障碍物上游均匀水流以及可能出现的壅水过程。 P_2 、 P_3 、 P_4 为障碍物局部监测点, 以监测水流变化较为剧烈的部分。 P_5 位于障碍物下游 1 m 处, 大量模拟数据表明, 下游 1 m 处障碍物对水流的影响近似可忽略, 使下游能形成充分的发展水流。

1.2 控制方程与湍流模型

本文采用 VOF 多相流模型, 该方法引入变量 α 来描述每个控制体中各相的体积分数。当 $\alpha = 1$ 时, 表示该单元体充满第一相流体。当 $\alpha = 0$ 时, 表示单元体充满第二相流体。相体积分数的输运方程为:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + u_i \frac{\partial \alpha}{\partial x_i} = 0, \quad (1)$$

式中: α 为相体积分数; t 为时间; u_i 为各方向上的流速 ($i = 1, 2, 3$); x_i 为笛卡尔坐标系下坐标 ($i = 1, 2, 3$)。本文模拟湍流计算采用雷诺平均模型^[23]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_{ij}} \left[(\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right], \quad (3)$$

式中: ρ 为流体密度; p 为压强; μ 为动力黏度; μ_T 为涡黏性系数。

选取基于压力求解器和有限体积法的控制方程离散化方法。由于排水管道障碍物局部水流情形复杂, 且多呈湍流状态, 故采用 SST $k-\omega$ 湍流模型, 该模型中 k 与 ω 的输运方程分别为:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho k \omega, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \omega}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] = \frac{\gamma}{\nu_T} \tau_{ij} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + 2\rho(1 - F_1) \frac{\sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, \quad (5)$$

式中: k 为湍流动能; ω 为比湍流动能耗散率; τ_{ij} 为雷诺应力; $\nu_T = \mu_T / \rho$ 为紊动黏性系数; σ_k 、 β^* 、 σ_ω 、 γ 、 β 、 $\sigma_{\omega 2}$ 为模型系数; F_1 为混合函数^[24]。

$$k = \frac{1}{2} u'_i u'_i, \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\varepsilon}{k \beta^*}, \quad (7)$$

式中: ε 为湍流动能消散率。

$$\varepsilon = \nu \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}, \quad (8)$$

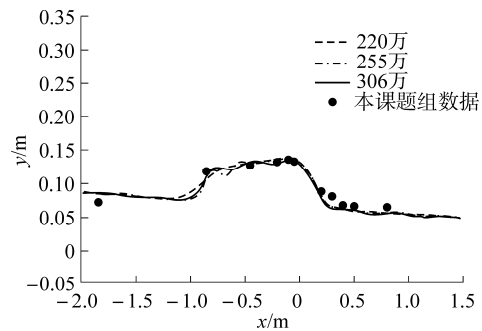
$$\tau_{ij} = \mu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \delta_{ij}, \quad (9)$$

式中: δ_{ij} 为克罗内克函数; ν 为运动黏度。

1.3 网格划分与误差分析

本文经模拟结果对比及无量纲壁面距离计算, 确定内部采用六面体结构化网格。近壁边界层采用蜂窝状网格以适应壁面条件, 首层厚度为 2 mm, 增长率为 1.2。对障碍物局部网格进行加密, 以提升障碍物附近水流变化剧烈区域的计算精度。

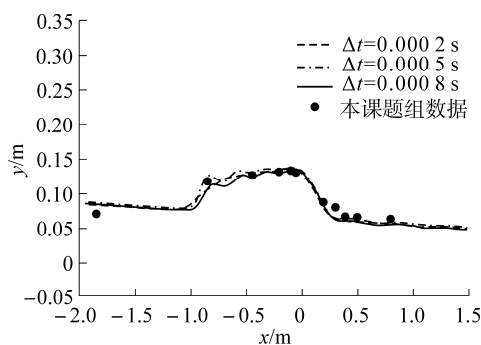
通过与物理模型试验数据对比, 进行网格独立性检验与时间步长敏感性分析。网格数量以 1.2 倍递增, 网格数量分别为 220 万、255 万、306 万。取 3 个时间步长, 分别为 0.000 2、0.000 5、0.000 8 s, 平均相对误差分别为 7.79%、8.70%、8.33%。图 1 的实验数据与模拟结果对比表明, 流动特征变量在所取网格数量与时间步长范围内变化几乎可忽略。因此, 综合计算效率与计算精度, 最终采取 255 万网格及时间步长为 0.000 8 s 的模拟方案。



(a) 网格独立性检验

表1 工况设置

组别	初始水位/mm	基础流量/(L·s ⁻¹)	入流增量/(L·s ⁻¹)	障碍物高度/mm	坡度/%	管径/mm
A	0	0	1~18	30, 45, 60	1.00, 0.05, 0.03	180
B	0~30	0	10	30	1.00, 0.05, 0.03	180
C	淹没	1~10	6~25	30	1.00, 0.05, 0.03	180
D	满管	25	5~15	30	1.00, 0.05, 0.03	180



(b) 时间步长敏感性分析

图1 网格独立性与时间步长敏感性分析

1.4 工况安排

本文采用表1工况进行模拟实验, 共分为4组. A组模拟管道内干管状态(即无积水), 边界条件为恒定流量入口, 以研究恒定入流演进过程及其对障碍物的冲击作用. B组模拟管道内存在积水, 积水高度为 0~30 mm, 设置边界条件为恒定流量入口, 以研究水流对障碍物的影响. C组模拟具有基础流量的管道, 初始流量为 1~10 L·s⁻¹ 不等, 设置入口边界条件为非恒定流量入口, 以研究水流对障碍物的影响. 另外, 设置满管工况的基础流量(D组), 监测满管工况下水流对障碍物的冲击作用.

2 计算结果及理论分析

2.1 干管条件下水流冲击障碍物受力分析

当管道中初始状态为无水状态时(即干管条件下), 恒定流量流入管道, 水流推进并最终达到稳定状态. 当入流流量为 8 L·s⁻¹, 其入口、出口流量监测结果如图 2(a)所示, 各监测点压强变化过程如图 2(b)所示. 当模拟流动时间到达 35 s 时, 出口流量已不发生显著变化, 即管道水流已趋稳定状态. 障碍物上下游监测点位压强数据表明, 监测点 P₃ 所受冲击力最大, 压强变化最为剧烈(图 2(b)).

图3为不同工况下, 水流推进过程中的障碍物上、下游截面所受冲击力随时间的变化规律. 由图

可见, 当水流接触障碍物瞬间, 障碍物受到的力瞬间增加, 随后回落, 并随着水流的稳定, 受力曲线逐渐稳定. 该受力曲线的最大值即为障碍物所受最

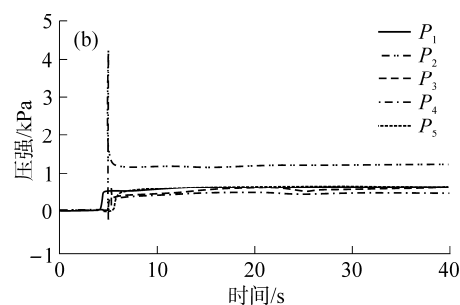
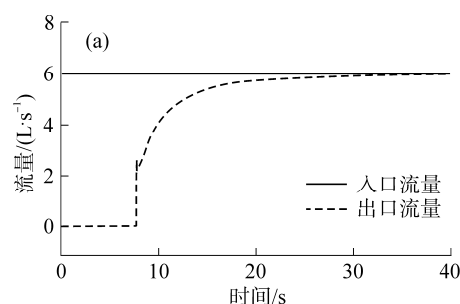
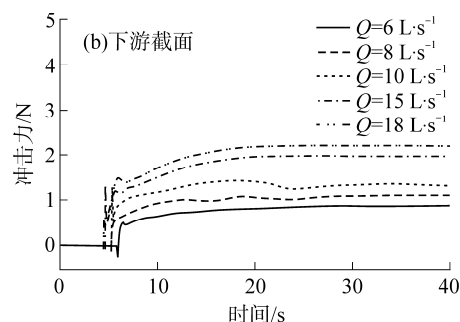
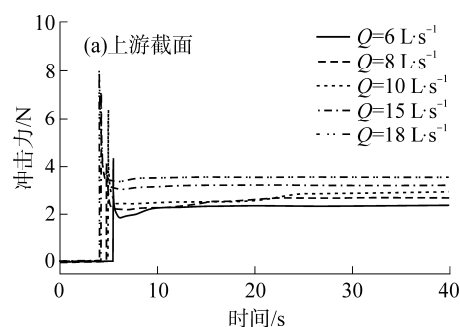


图2 初始干管条件下的参数随时间变化曲线



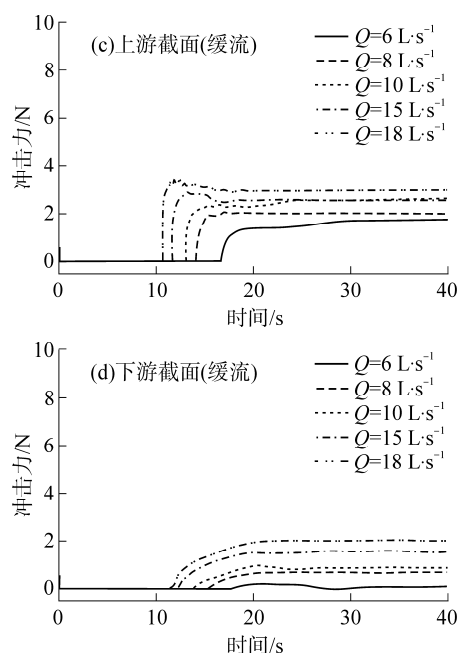


图3 障碍物上、下游截面的受力变化

大冲击力。模拟结果表明,障碍物上游截面所受冲击力极值与流量存在正相关关系。

在流量为 $8 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ 工况下,水流冲击障碍物上游截面不同时刻的压强分布如图4所示。由图可见,障碍物上部中心以及底部受到压力达到 900 Pa ,相较于障碍物两侧边缘较大。由此可以推断当淤积物为泥沙或淤泥时,压强较大部分可能最先受到冲刷,且冲刷最为严重。

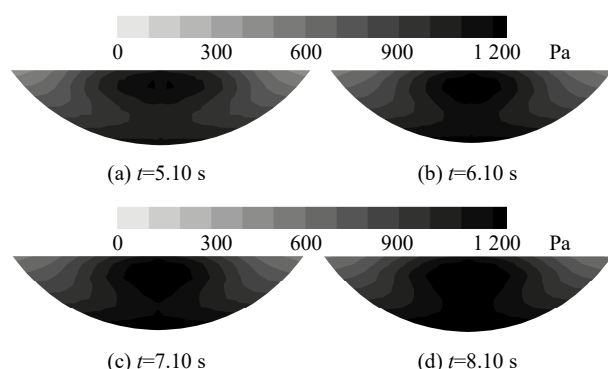


图4 不同时刻水流冲击障碍物时压强分布情况

水流与障碍物相互作用过程近似可看作射流冲击,可基于上述假设进行受力计算分析。根据谢才-曼宁公式与均匀射流计算公式^[25-26],可以计算出不同流量下,水流对于障碍物的最大冲击力。

$$F = K\rho Av^2, \quad (10)$$

式中: F 为水流冲击力; K 为修正系数; ρ 为水的密

度; A 为受力面积; v 为流速。水流在管道中的流动形态、速度分布与射流有所区别,且由于水流波前形状的原因,冲击障碍物上游表面时,并非完全充分地均匀接触。此时可通过引入修正系数(K)对动能修正系数、水流形态、冲击方式等进行修正。当流量较小时,上游来流水深小于障碍物高度时,冲击力与接触面积直接相关;当流量增加至一定程度时,障碍物与水流接触面积为障碍物截面面积,此时的冲击力主要取决于来流速度。

在同一流量及坡度不同时,水流流态、水流形态、冲击方式等一系列因素均会发生变化,并导致水流冲击障碍物时,障碍物受力发生变化。在流量、管道粗糙度等因素相同时,则坡度会成为影响水流速度等因素的主要参数。从图5结果可以看出,在对结果进行修正时,不同坡度对应观测值采取了不同修正系数。坡度 $i=1.50\%$,管内水流为急流,此时修正系数 $K=2.2$,理论预测值与模拟计算结果吻合较好;坡度 $i=1.00\%$,管内水流为急流,当修正系数 $K=1.3$ 时,理论预测值与模拟计算结果吻合较好,平均相对误差均小于 10% ;坡度 $i=0.05\%$ 和 $i=0.03\%$,管内水流为缓流,当修正系数 $K=0.5$ 时,

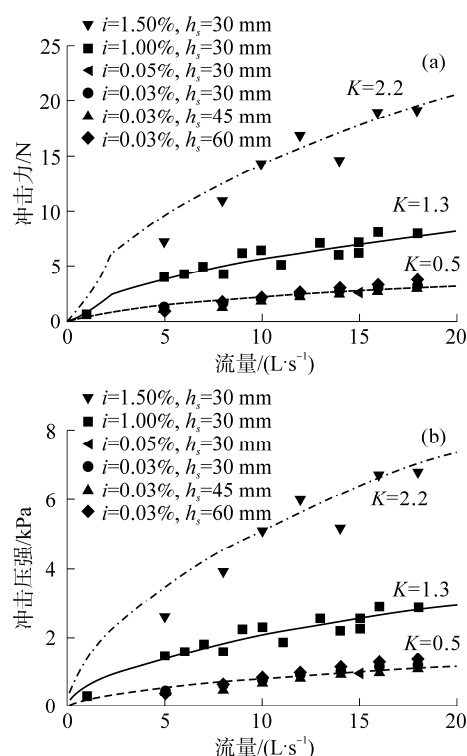


图5 不同坡度下,水流对障碍物冲击力(a)及压强(b)的影响

理论预测值与模拟计算结果吻合较好, 平均相对误差仅为 5%.

由以上分析可以得出, 管道处于陡坡与缓坡状态时, 拟合修正系数 K 存在差异. 由于急流状态坡度变化范围较大, 难以统一; 而缓流工况下的归一性较好, 此时修正系数 $K=0.5$. 此外, 从图 5 中可以看出, 急流所对应的曲线拟合平均相对误差相比于缓流工况下较大, 此现象可能是由于坡度与流速增大, 导致水流条件不稳定; 修正系数随急坡大小变化较为显著, 坡度增加, 则 K 值增加.

2.2 湿管条件下水流冲击障碍物过程分析

2.2.1 初始状态存在积水情况

当管道存在一定水位流量(即湿管条件下), 障碍物受到水流冲击力与露出水面高度呈现线性变化. 裸露高度越小, 所受水流瞬间冲击力越小; 反之, 裸露高度越大, 受到冲击力也越大(图 6). 结合障碍物初始淹没深度, 可对流量增大时的障碍物所受冲击力进行预测. 在管道处于干管状态时, 水流对于障碍物的瞬间冲击力达到最大. 本文发现障碍物裸露高度与湿管条件下冲击力的函数关系近似满足如下方程:

$$\Delta F = 12.85\Delta h + 0.6894, \quad (11)$$

式中: ΔF 为受力增加值; Δh 为障碍物裸露高度. 由此可通过式(11)对存在积水情况下湿管条件的冲击力进行预测.

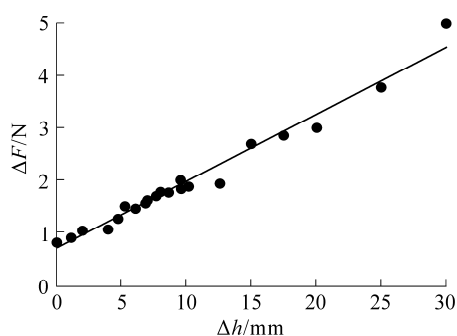


图 6 积水条件下受力变化情况

2.2.2 障碍物完全淹没初始状态

当管道中存在一定基础流量时, 上游入流变化对障碍物的冲击如图 7 所示(ΔQ 为流量增量). 图中数据表明, 流量增量引起的冲击力变化显著小于干管条件下的冲击力; 在流量增量均为 $17 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 干管冲击力可达湿管工况的 8 倍; 并随着流量变化增大, 相应冲击力增加. 存在基础流量的初始

条件下, 冲击力变化与基础流量、流量改变值呈正相关关系. 此外, 模拟结果还表明即使存在明满流过渡流态时, 冲击力也并无显著变化.

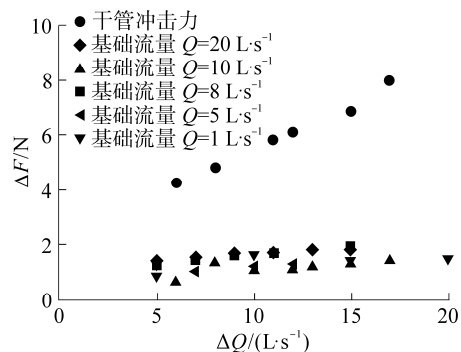


图 7 初始完全淹没条件下的障碍物受力情况

2.3 障碍物表面切应力

在入流变化过程中, 管底沉积物或障碍物上表面受水流剪切作用力, 可能导致沉积物再悬浮等状况. 图 8(a) 为障碍物高度为 30、45、60 mm 时, 各流量下沿程方向切应力的合力. 图 8(b) 为切应力合力所占沿程方向水压力的占比率, 可见在沿程方向的受力中, 切应力占比较小, 均小于 2%.

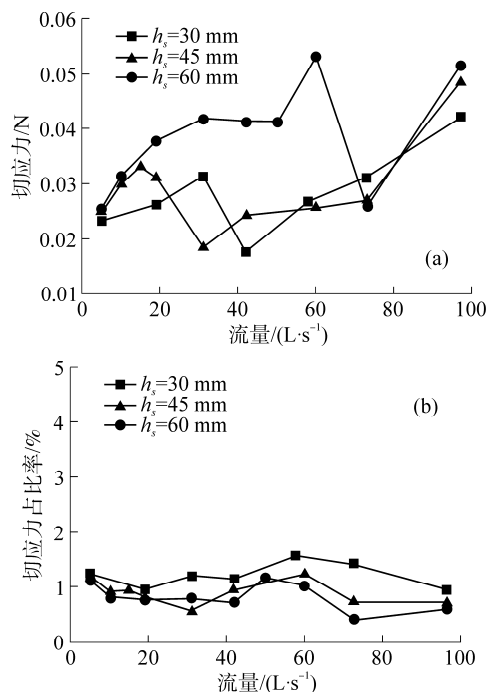


图 8 不同工况下切应力分析

3 讨论

文中障碍物典型高度 h_s 为 0.03 m , 长度 l_s 为 0.12 m , 体积为 $3.36 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, 若以混凝土密度估算

(取 $1950 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), 障碍物质量约 0.672 kg , 重力约 6.7 N . 假设管道与混凝土间摩擦因数为 $0.5^{[27]}$, 则障碍物在管道中运动受到的摩擦力约 3 N . 因此在干管水流冲击下, 当流量大于 $4 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 沉积物将随水流运动; 湿管情况下, 流量变化小于 $20 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 障碍物所受冲击力难以克服摩擦力启动.

上述结果说明在干管条件下, 较小水流同样可以获得较大冲击力. 因此, 在对障碍物进行水力清除前, 最好通过排空积水方式排空管段内所存积水, 使水流在冲击障碍物时获得足够大冲击力, 使管道畅通. 管道定期的清洗与冲洗也是保持管道畅通, 不至于造成淤堵的关键. 此外, 树木根系可能会破坏排水管道, 导致漏水和堵塞. 定期修剪树木根系或者移除管道附近植物可有效防止此种情况发生. 此外, 水流对于障碍物表面冲击力分布存在不均匀性, 障碍物底部以及中部偏上的位置所受冲击力往往较大, 该冲击力分布说明当冲刷发生在管道中且淤积物为淤泥或泥沙时, 底部与中部偏上位置是最先可能受到冲刷的位置.

4 结论

通过构建三维数值模型研究了圆管内非恒定水流对障碍物瞬时冲击问题. 研究表明, 水流冲击力可近似为射流冲击过程, 在急流工况下坡度范围变化较大, 难以形成统一; 缓流工况修正系数为 0.5 时, 该预测值与模拟计算结果相对误差小于 10% ; 在湿管条件下, 水流冲击力与障碍物淹没深度或裸露高度存在线性关系; 在障碍物完全淹没初始条件下, 水流对障碍物的冲击力显著小于干管工况, 且基础流量与入流流量的变化对冲击力影响较小. 本研究相关结论可为市政排水管网清淤与运行维护提供理论支撑.

参考文献:

- [1] WANG K, WU Y, FAN Q D. Construction of rainstorm security pattern based on waterlogging prevention and control: a case study on Zhengzhou City[J]. Alexandria Engineering Journal, 2022, 61(11):8911-8918.
- [2] JIANG W W, YU J. Impact of rainstorm patterns on the urban flood process superimposed by flash floods and urban waterlogging based on a coupled hydrologic-hydraulic model: a case study in a coastal mountainous river basin within southeastern China[J]. Natural Hazards, 2022, 112(1):301-326.
- [3] 李华飞. 大管径排水管道水力清淤技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [4] CHEBBO G, BACHOC A, LAPLACE D, et al. The transfer of solids in combined sewer networks[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(7):95-105.
- [5] SAFARI M J S, MOHAMMADI M, AB GHANI A. Experimental studies of self-cleansing drainage system design: a review[J]. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 2018, 9(4):04018017.
- [6] CARRERA F C, LA M E J. Graphical design tools to determine the minimum self-cleansing slope in small diameter sanitary sewers[J]. Ingenieria Del Agua, 2020, 24(1):49-63.
- [7] SAFARI M J S, AKSOY H. Experimental analysis for self-cleansing open channel design[J]. Journal of Hydraulic Research, 2021, 59(3):500-511.
- [8] OEHY C D, SCHLEISS A J. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133(6):637-648.
- [9] PARKER G. Conditions for the ignition of catastrophically erosive turbidity currents[J]. Marine Geology, 1982, 46(3/4):307-327.
- [10] CHOI S U. Layer-averaged modeling of two-dimensional turbidity currents with a dissipative-Galerkin finite element method part II: sensitivity analysis and experimental verification[J]. Journal of Hydraulic Research, 1999, 37(2):257-271.
- [11] BRADFORD S F, KATOPODES N D. Hydrodynamics of turbid underflows. I: formulation and numerical analysis[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(10):1006-1015.
- [12] QIAN Y, ZHU D Z. Impact pressure on an orifice plate by a rising water column driven by an air pocket in a vertical riser[J]. Water Science and Technology: Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2020, 81(5):1029-1038.
- [13] 吴永妍. 输水明渠的无压隧洞及进口过渡段水动力性能研究[D]. 北京: 清华大学, 2017.
- [14] 卢渊博. 排水管道淤积过流特性与点源污染扩散规律研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [15] 张亚琦. 综合管廊排水管道堵塞识别理论与试验研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- [16] 桑浪涛, 石烜, 张彤, 等. 城市污水管网中污染物冲刷与沉积规律[J]. 环境科学, 2017, 38(5):1965-1971.
- [17] GOORMANS T, ENGELEN D, BOUTELIGIER R, et al.

- Design of self-cleansing sanitary sewer systems with the use of flushing devices[J]. *Water Science and Technology: Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2009, 60(4):901-908.
- [18] SOARES-FRAZÃO S. Experiments of dam-break wave over a triangular bottom sill[J]. *Journal of Hydraulic Research*, 2007, 45(Suppl.1):19-26.
- [19] SOARES-FRAZÃO S, ZECH Y. Experimental study of dam-break flow against an isolated obstacle[J]. *Journal of Hydraulic Research*, 2007, 45(Suppl.1):27-36.
- [20] BUKREEV V I. Force action of discontinuous waves on a vertical wall[J]. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2009, 50(2):278-283.
- [21] BUKREEV V I, ZYKOV V V. Bore impact on a vertical plate[J]. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2008, 49(6):926-933.
- [22] NOURI Y, NISTOR I, PALERMO D, et al. Experimental investigation of tsunami impact on free standing structures[J]. *Coastal Engineering Journal*, 2010, 52(1): 43-70.
- [23] 张健, 方杰, 范波芹. VOF 方法理论与应用综述[J]. *水利水电科技进展*, 2005, 25(2):67-70.
- [24] ROULUND A, SUMER B M, FREDSE J, et al. Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile[J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 2005, 534:351-401.
- [25] BELTAOS S. Oblique impingement of plane turbulent jets[J]. *Journal of the Hydraulics Division*, 1976, 102(9): 1177-1192.
- [26] 董淑芳, 何同溪. 曼宁公式在管道水头损失计算中适用性的讨论[J]. *山东建筑工程学院学报*, 1998(1):100-103.
- [27] PAN Y F, ZHANG Y L, ZHANG D K, et al. Effect of polymer and conventional molds on the aesthetical surface quality of concretes[J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 302:124375.

CFD simulation study on hydraulic impact characteristics of partially silted drainage pipelines

WANG Tianci¹, HUANG Biao¹, YANG Zhi¹, WANG Chunling²

(1.School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.School of Civil Engineering and Architecture, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: In municipal drainage pipelines, long term operation can cause local blockage, reduce the flow capacity, and affect the normal operation of drainage pipelines. This study presents a numerical model of two-phase air-water flow for circular cross-section drainage pipes with localized clogging, the hydraulic characteristics of drainage pipes with localized clogging under non-steady inflow boundaries were simulated using CFD methods, and the force exerted on sedimentation or obstacles under different operating conditions was quantitatively analyzed. The results analysis showed that under dry-pipe initial conditions, the maximum force on the obstacle occurs during the impact moment, and this impact force can be approximated using the jet impinging with a relative error of less than 10%. On the other hand, under wet-pipe conditions (with base flow initially), the impact force of water flow on obstacles is significantly lower than that of dry-pipe conditions. In addition, under wet-pipe conditions, the intensity of the impact of increased flow on obstacles is closely related to the initial submerged conditions.

Key words: drainage system; pipeline sedimentation; solid obstacles in pipelines; water flow impact pressure; force variation

(责任编辑 章践立)