



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110263404 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 21

(21) 申请号 201910507583.X

(22) 申请日 2019.06.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110263404 A

(43) 申请公布日 2019.09.20

(73) 专利权人 江苏大学  
地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路  
301号

(72) 发明人 王凯 罗光钊 张子旭 刘厚林  
夏瑞超 谈明高 王勇 董亮

(51) Int. Cl.  
G06F 30/20 (2020.01)

审查员 王文聪

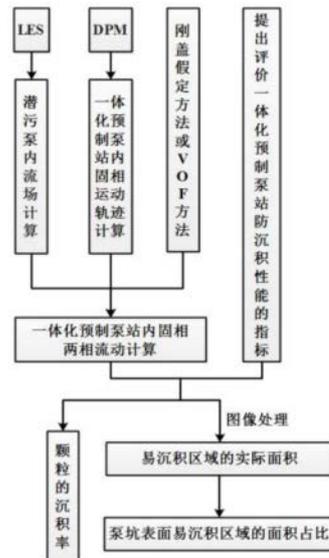
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法。本发明的过程为：采用LES计算一体化预制泵站中潜污泵的内部流场，并与试验验证；基于DPM模型计算一体化预制泵站内单颗粒运动轨迹，并与试验结果进行比较，验证离散相模型的适用性；提出评价预制泵站防沉积性能的两项指标：颗粒的沉积率以及泵坑表面易沉积区域的面积占比；采用刚盖假定或VOF方法对一体化预制泵站内固液两相流动进行数值计算；根据迭代结果计算出颗粒的沉积率；将泵坑表面的流速云图进行二元化及二值化处理，基于MATLAB与图像处理函数得出易沉积区域的实际面积。本发明提出了一体化预制泵站沉积特性计算方法，为研制防淤积型一体化预制泵站提供了理论依据。



1. 一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 采用大涡模拟LES方法计算一体化预制泵站中潜污泵的内部流场,并与试验结果进行比较,以验证液相流动计算模型;

基于离散相模型DPM计算一体化预制泵站泵坑表面单颗粒的运动,进行高速摄影试验拍摄粒子运动,提取单颗粒模拟与试验运动轨迹,并进行对比,验证DPM模型在一体化预制泵站固液两相模拟计算上的适用性和准确性;

(2) 基于验证所得LES方法、DPM离散相设置进行固液两相流计算,根据预制泵站内流场的数值模拟结果和DPM模型的迭代结果,提出评价预制泵站防沉积性能的两项指标:颗粒的沉积率DE以及泵坑表面易沉积区域的面积占比AR;

(3) 基于LES和DPM模型,采用刚盖假定方法或VOF方法对一体化预制泵站内固液两相流动进行数值计算;

(4) 根据DPM模型迭代计算结果可得出从进水口射入的粒子数N1、从出口处流出的粒子数N2、以及剩余的粒子沉积或悬浮在筒体内的粒子数N3,并计算出一体化预制泵站内颗粒的沉积率 $DE = \frac{N3}{N1}$ ;

(5) 将泵坑表面流速云图进行二值化处理,并通过阈值分割将二元速度图二值化,基于MATLAB与图像处理函数进行标定计算,最终得到易沉积区域的实际面积。

2. 根据权利要求1所述的一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,其特征在于:步骤(1)中,由于从进水管进入的单颗粒的运动范围较大,难以控制准确的初始位置和速度,因此不能通过可视化试验获得完整的运动轨迹,因此选择分布在泵坑表面不同位置、初始速度为0m/s的颗粒进行计算,并与试验结果进行对比,以验证DPM模型在一体化预制泵站固液两相模拟计算上的准确性。

3. 根据权利要求1所述的一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,其特征在于:步骤(3)中,所述的一体化预制泵站内固液两相流动数值计算时,忽略壁面对固体颗粒的粘着力,只考虑颗粒由于碰撞与运动导致失速的情况下造成的沉积。

4. 根据权利要求1所述的一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,其特征在于:步骤(4)中,为了准确判断颗粒是否处于沉积状态,将长度标尺设置为10mm,最大计算步数设置为10000,即允许颗粒运动最大为100m的路程;若颗粒在一体化预制泵站筒体内运动100m还不能逃逸出筒体,则认定颗粒处于悬浮或在漩涡中打转的状态。

5. 根据权利要求1所述的一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,其特征在于:步骤(5)中,所述的易沉积区域的实际面积计算方法如下:

(1) 根据固液两相流理论中的Govier理论,计算颗粒的沉降速度:

$$u_t = \sqrt{\frac{8}{3} d_s g \left( \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l} \right)}$$

式中: $d_s$ 为颗粒的平均直径; $\rho_l$ 为流体的密度; $\rho_s$ 为固体颗粒的密度;

(2) 计算能带动颗粒运动的临界流体速度,即混合流体流速 $u_m, u_m = 3u_t$ ;

(3) 通过混合流体速度将泵坑表面的流速云图进行二值化处理,流体速度小于 $u_m$ 的区域即为易沉积区域,通过MATLAB图像处理函数rgb2gray和im2bw,将二元流速分布图进行二值

化,并通过size、length和find函数计算易沉积面积,通过imdistline函数对泵坑表面进行标定,最终得到易沉积区域的实际面积 $A_d$ 和泵坑表面面积 $A_a$ ,则易沉积区域面积占比计算公式为:

$$AR = \frac{A_d}{A_a}。$$

## 一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于流体机械设计领域,特指涉及一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法。

### 背景技术

[0002] 一体化预制泵站是一种集潜污泵、泵站设备、除污格栅设备、控制系统及远程监控系统集成的一体化的产品。其特点为机动灵活,建设周期极短,安装简便,可以实现无人值守,远程监控的功能,适合应用在城市污水处理中。不过由于预制泵站高度集成化和自动化的特点,人工清理周期通常以月计,泥沙和杂物一旦沉积,很长时间内将得不到有效清理,这会极大影响预制泵站内部的流态,缩小有效容积,从而减小排污输水的效率。

[0003] 由于外接清洗装置操作复杂且需要额外供能。因此改进泵坑结构以实现一体化预制泵站的自清洗是目前的研究方向,具有节能以及普适的优点。如申请号为201510281280.2的发明专利在圆筒泵坑底板中心区域设置圆锥面为凹曲面的防淤椎体,减少了在潜污泵进口底部的沉积。申请号为201510281190.3的发明专利在曲面筒底内设置了8-12个逆时针圆弧肋条,逆时针圆弧肋条围绕曲面筒体中心均匀分布。申请号为201520558637.2的实用新型专利设计了一种弧形的进水加速通道,水流自弧形通道进入圆柱形内腔时在腔中可以形成旋转水流,以此使水流的流速增加。

[0004] 虽然目前自清洗防沉积设计方案众多,但尚未有简单高效的方法来证实其设计的有效性。随着计算流体力学的发展,数值模拟被广泛运用在水力机械的结构设计中,而目前一体化预制泵站内固液两相研究还未见公开报道,因此提出适用于一体化预制泵站内部沉积特性模拟的计算方法对防沉积泵坑设计具有极大的指导意义,可以从而降低设计的试错沉没成本。

### 发明内容

[0005] 本发明旨在提供一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性计算方法,通过结合固液两流计算、试验测量和图像处理技术来计算一体化预制泵站内颗粒的沉积率以及泵坑表面易沉积区域的面积占比。

[0006] 为达到以上目的,采用如下技术方案:

[0007] 一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性的计算方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 采用大涡模拟LES (Large Eddy Simulation) 方法计算一体化预制泵站中潜污泵的内部流场,并与试验结果进行比较,以验证液相流动计算模型;

[0009] 基于离散相模型DPM (Discrete Phase Model) 计算一体化预制泵站泵坑表面单颗粒的运动,进行高速摄影试验拍摄粒子运动,提取单颗粒模拟与试验运动轨迹,并进行对比,验证DPM模型在一体化预制泵站固液两相模拟计算上的适用性和准确性;

[0010] (2) 基于验证所得LES方法、DPM离散相设置进行固液两相流计算,根据预制泵站内流场的数值模拟结果和DPM模型的迭代结果,提出评价预制泵站防沉积性能的两项指标:颗

粒的沉积率 (DE) 以及泵坑表面易沉积区域的面积占比 (AR)；

[0011] (3) 基于LES和DPM模型,采用刚盖假定方法或VOF(volume of fluid)方法对一体化预制泵站内固液两相流动进行数值计算;

[0012] (4) 根据DPM模型迭代计算结果可得出从进水口射入的粒子数 $N_1$ 、从出口处流出的粒子数 $N_2$ 、以及剩余的粒子沉积或悬浮在筒体内的粒子 $N_3$ ,并计算出一体化预制泵站内颗粒的沉积率 $DE = \frac{N_3}{N_1}$ ;

[0013] (5) 将泵坑表面流速云图进行二值化处理,并通过阈值分割将二元速度图二值化,基于MATLAB与图像处理函数进行标定计算,最终得到易沉积区域的实际面积。

[0014] 其具体步骤如下:

[0015] (1) 采用LES方法计算一体化预制泵站中潜污泵的内部流场,并与试验结果进行比较,以验证液相流动计算模型。

[0016] 由于从进水管进入的单颗粒的运动范围较大,难以控制准确的初始位置和速度,因此不能通过可视化试验获得完整的运动轨迹。所以选择分布在泵坑表面不同位置、初始速度为0m/s的颗粒进行计算,并与试验结果进行对比,以验证DPM模型在一体化预制泵站固液两相模拟计算上的准确性。

[0017] (2) 提出评价预制泵站防沉积性能的两项指标:颗粒的沉积率 (DE) 以及泵坑表面易沉积区域的面积占比 (AR)。

[0018] (3) 忽略壁面对固体颗粒的粘着力,只考虑颗粒由于碰撞与运动导致失速的情况下造成的沉积。基于LES和DPM模型,采用刚盖假定方法或VOF方法对一体化预制泵站内固液两相流动进行数值计算。

[0019] (4) 为了准确判断颗粒是否处于沉积状态,将长度标尺设置为10mm,最大计算步数设置为10000,即允许颗粒运动最大为100m的路程;若颗粒在一体化预制泵站筒体内运动100m还不能逃逸出筒体,则认定颗粒处于悬浮或在漩涡中打转的状态。

[0020] 根据计算结果可得出射入的粒子数 $N_1$ 、从出口处流出的粒子数 $N_2$ 、以及剩余的粒子沉积或悬浮在筒体内的粒子 $N_3$ ,并计算出一体化预制泵站内颗粒的沉积率 $DE = \frac{N_3}{N_1}$ 。

[0021] (5) 根据固液两相流理论中的Govier理论,计算颗粒的沉降速度。

$$[0022] \quad u_t = \sqrt{\frac{8}{3} d_s g \left( \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l} \right)}$$

[0023] 式中: $d_s$ 为颗粒的平均直径; $\rho_l$ 为流体的密度; $\rho_s$ 为固体颗粒的密度。

[0024] 计算能带动颗粒运动的临界流体速度,即混合流体流速 $u_m$ , $u_m = 3u_t$ 。

[0025] 通过混合流体速度将泵坑表面的流速云图进行二值化处理,流体速度小于 $u_m$ 的区域即为易沉积区域。通过MATLAB图像处理函数`rgb2gray`和`im2bw`,将二元流速分布图进行二值化,并通过`size`、`length`和`find`函数计算易沉积面积,通过`imdistline`函数对泵坑表面进行标定,最终得到易沉积区域的实际面积 $A_d$ 和泵坑表面面积 $A_a$ ,则易沉积区域面积占比计算

$$\text{公式为: } AR = \frac{A_d}{A_a}。$$

[0026] 本发明的优点在于:

[0027] (1) 提出评价一体化预制泵站防沉积性能的两项指标：颗粒的沉积率以及泵坑表面易沉积区域的面积占比。

[0028] (2) 采用固液两流计算、试验测量和图像处理技术相结合的方法来计算一体化预制泵站颗粒的沉积率以及泵坑表面易沉积区域的面积占比，为研制防淤积型一体化预制泵站提供了理论依据。

### 附图说明

[0029] 图1为一种基于DPM模型的一体化预制泵站沉积特性计算方法的流程图；

[0030] 图2为本发明专利中具体实施例的潜污泵a和一体化预制泵站b的三维建模；

[0031] 图3为本发明专利中具体实施例的潜污泵的数值计算与试验外特性曲线；

[0032] 图4为本发明专利中具体实施例的单颗粒的固相运动轨迹的数值计算与试验结果；

[0033] 图5为本发明专利中具体实施例的多颗粒运动轨迹；

[0034] 图6为本发明专利中具体实施例的流速云图；

[0035] 图7为本发明专利中具体实施例的二值化结果。

### 具体实施方式

[0036] 下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明，但本发明的保护范围并不限于此。

[0037] 实施例：

[0038] 一体化预制泵站为圆筒式，其主要参数为：筒体直径为1200mm，进水管直径为100mm，进水管高度为820mm，运行液位为1200mm，泵站设计流量为 $84\text{m}^3/\text{h}$ ，采用潜污泵2台，单泵设计流量为 $42\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程为10m、转速为1480r/min。

[0039] (1) 对潜污泵和一体化预制泵站进行三维建模(图2)，并网格划分。

[0040] 采用LES方法计算一体化预制泵站中潜污泵的内部流场，并与试验结果进行比较，以验证液相流动计算模型。图3给出了该潜污泵的数值计算与试验外特性曲线。从图中可以看出，各个工况下扬程的计算结果和试验结果之间的误差均小于5%。所以，该潜污泵的数值计算方法是可行的。

[0041] 由于从进水管进入的单颗粒的运动范围较大，难以控制准确的初始位置和速度，因此不能通过可视化试验获得完整的运动轨迹。所以选择分布在泵坑表面不同位置、初始速度为0m/s的颗粒进行计算，并与试验结果进行对比，以验证DPM模型在一体化预制泵站固液两相模拟计算上的准确性。

[0042] 分别对泵坑表面三个位置的颗粒进行试验和数值计算，三个颗粒位置分别为 $N_1(500, 0, 0)$ 、 $N_2(500, 100, 0)$ 和 $N_3(500, -100, 0)$ ，图4给出了一体化预制泵站单颗粒运动轨迹的数值计算与试验结果。从图中可以看出：由于两台泵的运转方向一致，所以颗粒的运动轨迹并不完全对称，但单颗粒运动的试验与模拟的结果大致相似，可以证明DPM模型在预制泵站固液两相模拟上的适用性。

[0043] (2) 提出评价预制泵站防沉积性能的两项指标：颗粒的沉积率(DE)以及泵坑表面易沉积区域的面积占比(AR)。

[0044] (3) 忽略壁面对固体颗粒的粘着力,只考虑颗粒由于碰撞与运动导致失速的情况下造成的沉积。基于LES和DPM模型,采用刚盖假定方法或VOF方法对一体化预制泵站内固液两相流动进行数值计算。

[0045] (4) 为了准确判断颗粒是否处于沉积状态,将长度标尺设置为10mm,最大计算步数设置为10000,即允许颗粒运动最大为100m的路程;若颗粒在一体化预制泵站筒体内运动100m还不能逃逸出筒体,则认定颗粒处于悬浮或在漩涡中打转的状态。

[0046] 根据计算结果可得出射入的粒子数 $N_1$ 、从出口处流出的粒子数 $N_2$ 、以及剩余的粒子沉积或悬浮在筒体内的粒子 $N_3$ ,并计算出一体化预制泵站颗粒的沉积率 $DE = \frac{N_3}{N_1}$ 。

[0047] 射入粒子数为2342,逃逸粒子数为532,则颗粒的沉积率DE为77.3%。为了便于显示,选择其中80个粒子探究多颗粒运动轨迹,如图5所示。

[0048] (5) 根据固液两相流理论中的Govier理论,计算颗粒的沉降速度。

$$[0049] \quad u_t = \sqrt{\frac{8}{3} d_s g \left( \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l} \right)}$$

[0050] 式中: $d_s$ 为颗粒的平均直径; $\rho_l$ 为流体的密度; $\rho_s$ 为固体颗粒的密度。

[0051] 计算能带动颗粒运动的临界流体速度,即混合流体流速 $u_m$ , $u_m = 3u_t$ 。

[0052] 通过混合流体速度将泵坑表面的流速云图(图6)进行二元化处理(图7),流体速度小于 $u_m$ 的区域即为易沉积区域。通过MATLAB图像处理函数`rgb2gray`和`im2bw`,将二元流速分布图进行二值化,并通过`size`、`length`和`find`函数计算易沉积面积,通过`imdistline`函数对泵坑表面进行标定,最终得到易沉积区域的实际面积 $A_d$ 和泵坑表面面积 $A_a$ ,则易沉积区域面积占比计算公式为:

$$AR = \frac{A_d}{A_a} = 12.8\%$$

[0053] 所述实施例为本发明的优选的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的情况下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

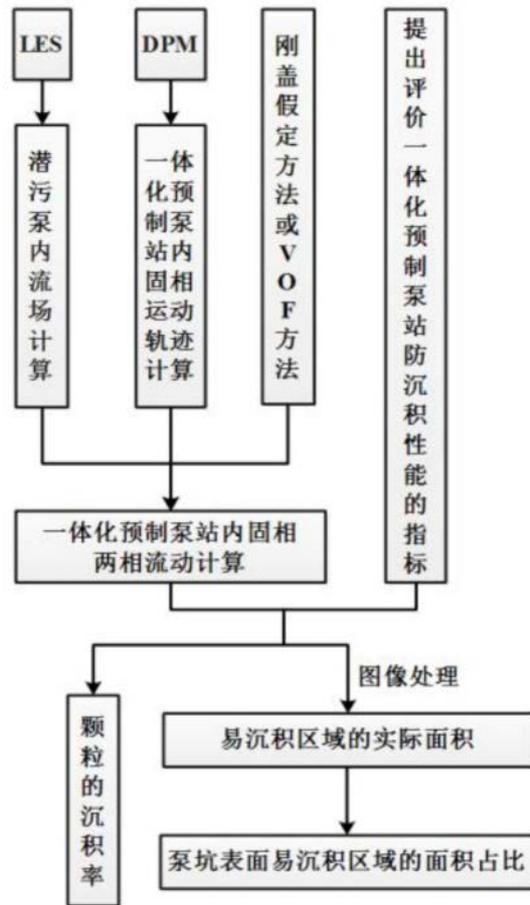


图1

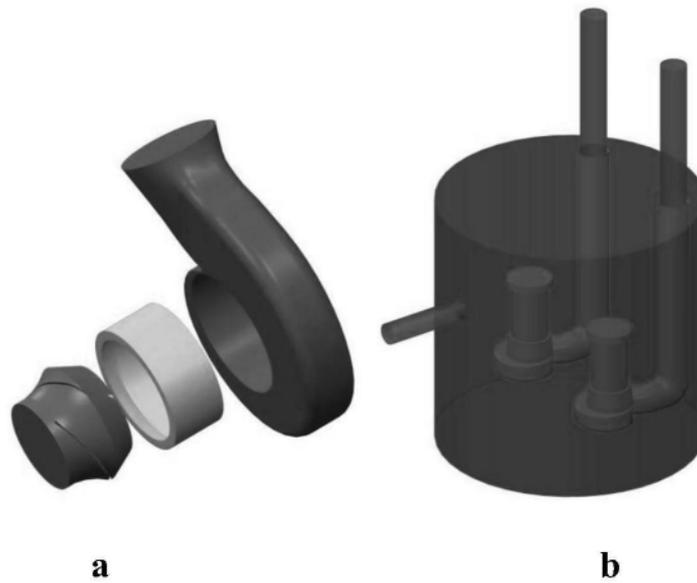


图2

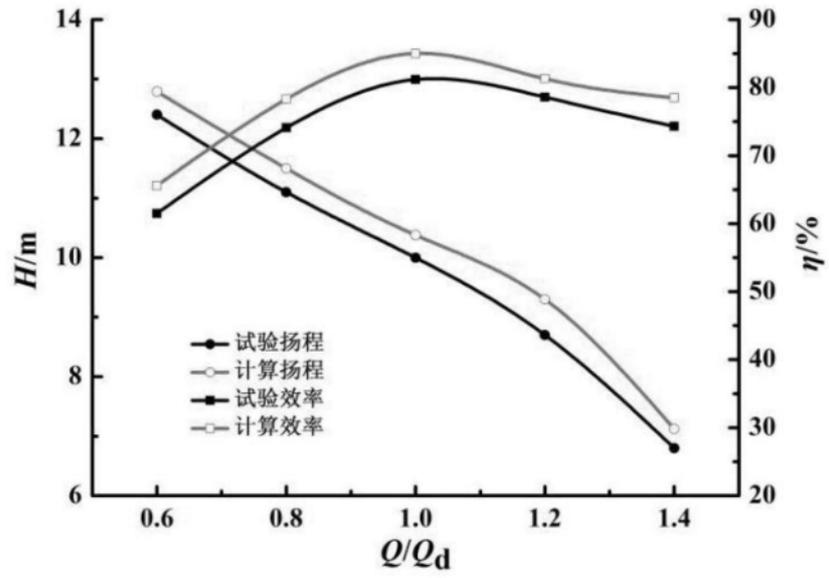


图3

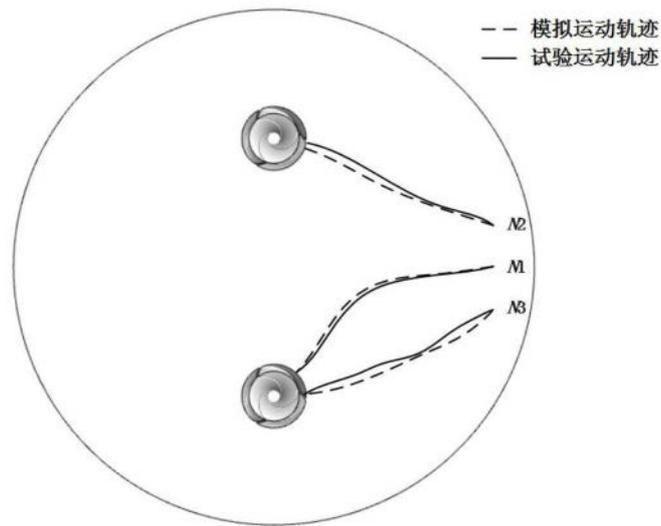


图4

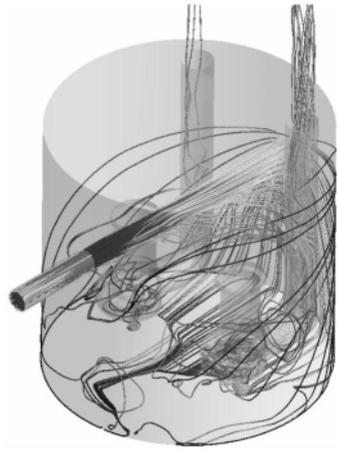


图5

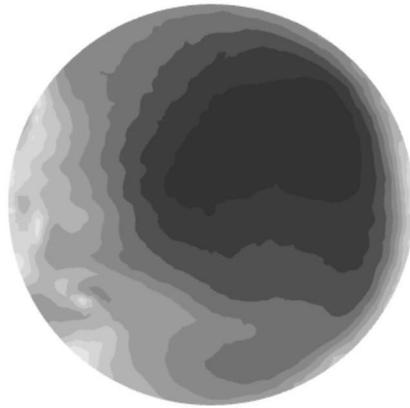


图6



图7