

双流道泵内部固相颗粒分布对泵性能的影响

金守泉, 李 昶, 唐 华

(浙江理工大学浙江省流体传输技术研究重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 基于 Mixture 模型,对一双流道泵内的固液两相流动进行了数值模拟,对不同颗粒直径和不同颗粒体积浓度工况下双流道泵内的固相颗粒体积浓度分布进行了研究。结果表明:在小粒径工况下,颗粒在叶轮流道内分布比较均匀,随着粒径的增大,颗粒逐渐聚集于叶轮进口和流道弯曲的部位,且粒径越大该处的颗粒浓度越大,固相离析作用明显;流道背面颗粒分布不均匀,其后盖板侧的颗粒浓度高于前盖板处,随着固相体积分数的增大,后盖板处聚集的颗粒也随之增多;随着粒径和颗粒体积浓度的增加泵的扬程和效率都降低。通过模拟发现,颗粒在泵内的分布受粒径的变化影响较大。

关键词: 双流道泵; 固液两相流; 数值模拟; 体积浓度

中图分类号: TH31 **文献标志码:** A

0 引 言

双流道泵因其良好的通过能力、抗缠绕能力、运行平稳等特点,被广泛应用于化工、造纸、污水处理、冶金等领域,主要用来输送含有固体颗粒的混合液体。随着 CFD(计算流体动力学)技术的发展,数值模拟已经在两相流的研究方面得到广泛的应用,国内外已经取得了一些进展。Rudolf S^[1]分析了固体颗粒在不同固体浓度、密度、平均直径下对固液两相泵的性能的影响。齐学义等^[2]对一双流道式污水泵进行数值模拟,得出对于固相体积分数在泵内的分布,颗粒粒径要比颗粒体积分数影响大。刘厚林等^[3]采用 mixture 多相流模型对双流道泵内固液两相流动进行了数值模拟,发现颗粒直径的变化对泵的固相体积浓度分布的影响最为明显。Kadambi J^[4]利用 PIV 对不同转速及输送不同体积浓度的固液两相浆体泵的流道内的流场速度进行了研究,发现叶片压力边、隔舌及泵盖部位颗粒浓度比较大,随着转速增加,这些部位磨损较为严重。赵斌娟等^[5]对一双流道泵在不同粒径及颗粒体积浓度条件下的固液两相流动进行了数值模拟,发现固相离析作用受粒径变

化的影响较大,粒径越大,固相离析作用越明显。刘娟等^[6]对固液两相流磨损进行了数值模拟,发现颗粒多集中于叶片工作面和叶轮进口部位,这些部位磨损相对严重。李昶等^[7-8]通过对固液两相流研究,揭示了离心泵内部流动特征对泵磨损特性的影响,发现颗粒主要集中在叶片的压力面和蜗壳的隔舌部位。

本文选用 RNG $k-\epsilon$ 湍流模型和 Mixture 混合模型,对一比转速为 119 的双流道泵内的固液两相流动进行数值模拟,并研究不同粒径、不同颗粒体积浓度下固相颗粒在泵内的分布规律。

1 计算模型

1.1 控制方程

描述固液两相定常流动的连续性方程为^[2,9]:

$$\nabla \cdot (\rho_m v_m) = 0 \quad (1)$$

动量方程为:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\rho_m v_m v_m) = & -\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla v_m + \nabla v_m^T)] + \\ & \rho_m g + F + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k v_{dk} v_{dk} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

收稿日期: 2012-11-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51249003)

作者简介: 金守泉(1985-),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事流体机械方面的研究。

其中, ρ_m —混合密度(kg/m^3); μ_m —混合粘性系数($\text{Pa} \cdot \text{s}$); F —体积力(N); v —质量平均速度(m/s); n —相数($n=1, 2$); α_k —第 k 相的体积分数; ρ_k —第 k 相的密度(kg/m^3); $v_{\text{dr}, k}$ —第 k 相的漂移速度(m/s)。

滑移速度 $v_{q,p}$ 为固相(p) 相对于液相(q) 的速度:

$$v_{q,p} = v_p - v_q \quad (3)$$

表 1 泵的主要设计参数

流量 Q / (m^3/h)	扬程 H/m	转速 n / (r/min)	叶轮外径 D_1 / mm	叶轮进口直径 D_2 / mm	叶轮出口宽度 b_1 / mm	蜗壳出口宽度 b_2 / mm
10	8	2 900	90	40	26	90

固相介质为细砂颗粒, 密度为 $2\,500\text{ kg}/\text{m}^3$ 。使用 GAMBIT 生成叶轮和蜗壳的网格(见图 1)。因为双流道泵的流道结构复杂, 所以用混合网格形式生成网格。叶轮和蜗壳的网格数分别为 513 347 和 632 756。

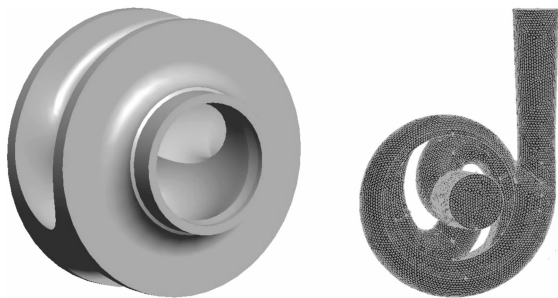


图 1 叶轮的三维模型和计算网格

1.3 边界条件

a) 叶轮进口采用速度进口(velocity-inlet), 假设进口速度不存在切向与径向分量。

b) 出口条件设为自由出流(outflow), 假定流动已充分发展。

c) 壁面采用无滑移边界条件(即相对速度 $u, v, w=0$), 近壁区域采用标准壁面函数处理。

2 计算结果及分析

本文研究了不同粒径、不同颗粒体积浓度下, 固

因此, 漂移速度和滑移速度的关系为:

$$v_{\text{drp}} = v_{q,p} - \sum_{k=1}^n \frac{\alpha_k \rho_k}{\rho_m} v_{qk} \quad (4)$$

根据固相(p) 的连续性方程, 可得固相的体积分数方程为:

$$\nabla \cdot (\alpha_p \rho_p v_m) = - \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p v_{\text{drp}}) \quad (5)$$

1.2 计算模型及参数

本文所研究的双流道泵主要设计参数见表 1。

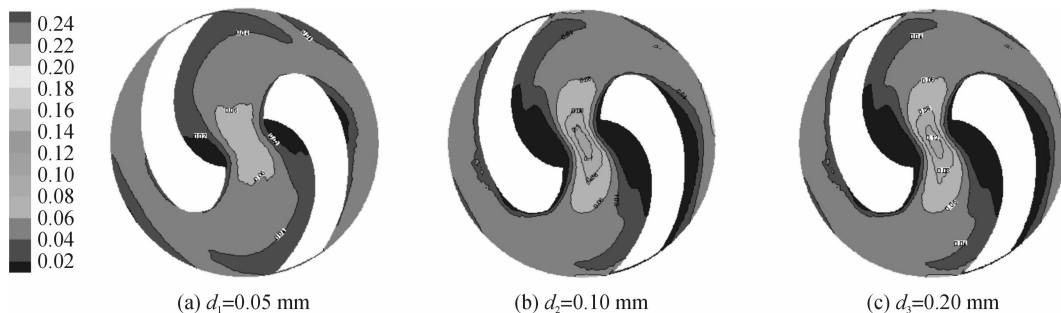
相颗粒在双流道泵内部流场的分布情况。具体的研究工况见表 2。

表 2 不同工况的具体变化

粒径 d/mm	0.05	0.1	0.2	$C_v=5\%, Q=Q_d$
固相体积分数($c_v/\%$)	5	10	20	$d=0.2\text{ mm}, Q=Q_d$

2.1 不同粒径对固体颗粒分布的影响

不同粒径下的固相体积分分布如图 2 所示, 其中图 2(a)~图 2(c)为固相颗粒在叶轮流道内的分布, 图 2(d)~图 2(f)和 2(g)~图 2(i)分别为颗粒在叶轮外流道壁面和内流道壁面的分布。由图 2(a)~图 2(c)可以看出, 颗粒集中于叶轮进口及流道的中间部位, 所以进口部位和压力面侧相对磨损相对较严重, 泵输送性能较好。在小粒径工况下颗粒分布比较均匀, 随着粒径的增大颗粒越来越多地集中于叶轮的进口部位, 固相离析作用比较明显。由图 2(d)~图 2(f)可以看出, 小粒径工况下颗粒在叶轮外流道壁面上分布比较均匀, 磨损也较为均匀。随着粒径的增大, 越来越多的颗粒集中于流道弯曲的部位。这是由于颗粒自身的惯性, 粒径越大惯性越大, 所以越来越多的颗粒聚集于此。由图 2g~2i 可以看出, 颗粒在叶轮内流道壁面分布不均匀, 随着粒径的增大, 颗粒在流道内流道壁面的分布越来越紊乱, 颗粒的低浓度区域也越来越大。



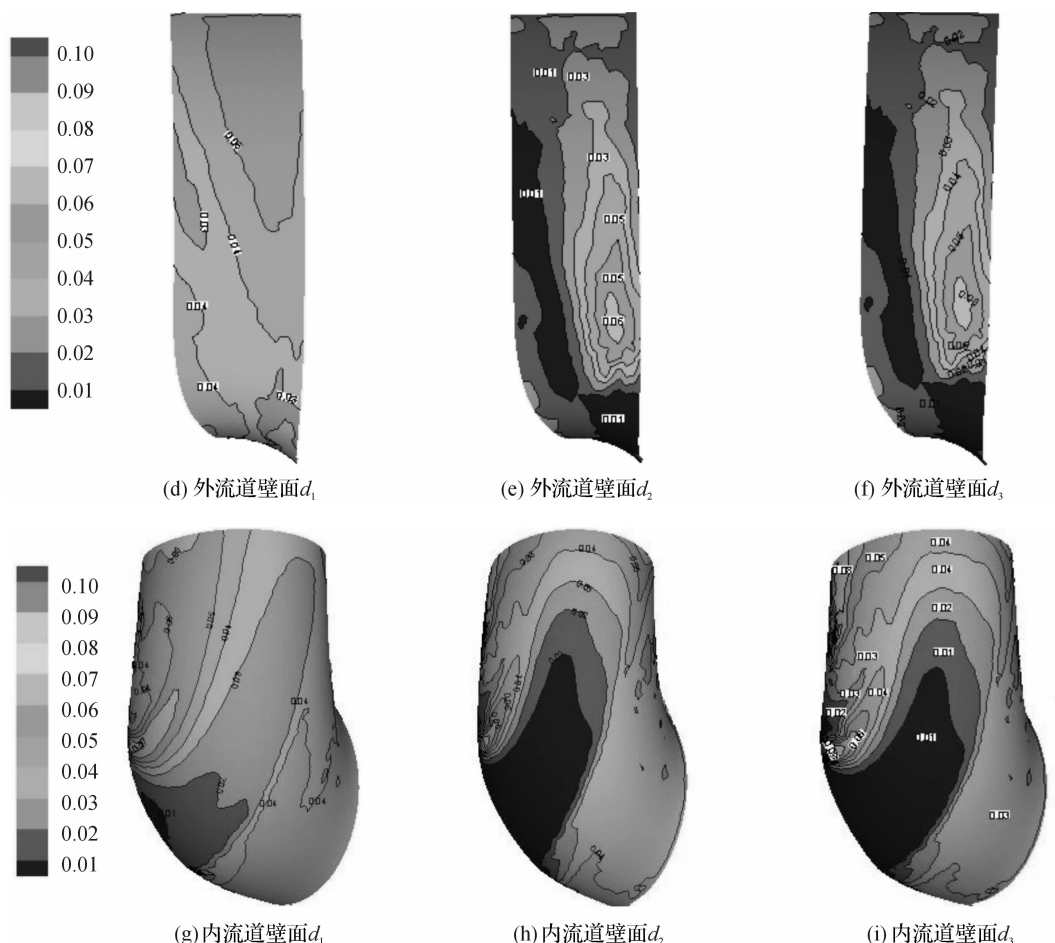


图2 不同粒径下固相体积分数分布

注:图形内的数值单位为%

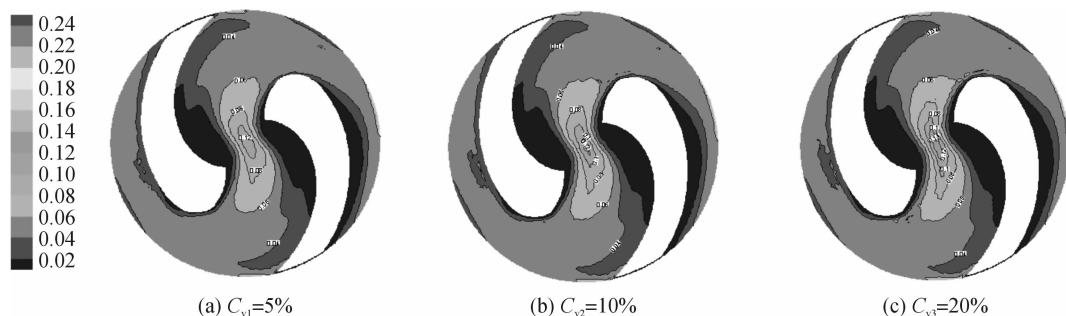
2.2 不同颗粒体积浓度对固体颗粒分布的影响

不同颗粒体积浓度下的固相体积分数分布如图3所示。由图3(a)~图3(c)可以看出,颗粒主要沿着流道中线向外流动。进口部位颗粒聚集较多,随着颗粒体积浓度的增加,叶轮进口部位的颗粒也越来越多。由图3(d)~图3(f)可见,固相颗粒在外流道壁面上分布不均匀,流道壁面上的颗粒浓度随进口体积分数的增大而增大,颗粒在前盖板处分布较后盖板处大。颗粒多集中于流道弯曲的部位,随着颗粒体积浓度的增大,流道弯曲部位的颗粒也随之增多。从流道弯曲处到叶轮出口处颗粒浓度逐渐减

小。由图3(g)~图3(i)可知,颗粒在内流道壁面上的后盖板侧较前盖板处大,随着固相体积分数的增大,后盖板处聚集的颗粒也相应的增多,说明固体颗粒在离心力的作用下有向流道壁面聚集的趋势。

2.3 颗粒粒径和体积分数对双流道泵外特性的影响

图4给出了在设计工况点,不同粒径下的扬程和效率曲线。由图4可知,泵的效率 and 扬程都随着粒径的增大而减小,但从数值上看粒径的变化对泵外特性的影响较小。因为粒径变化对泵内的静压和速度影响较小,所以泵的外特性随粒径的变化不大。



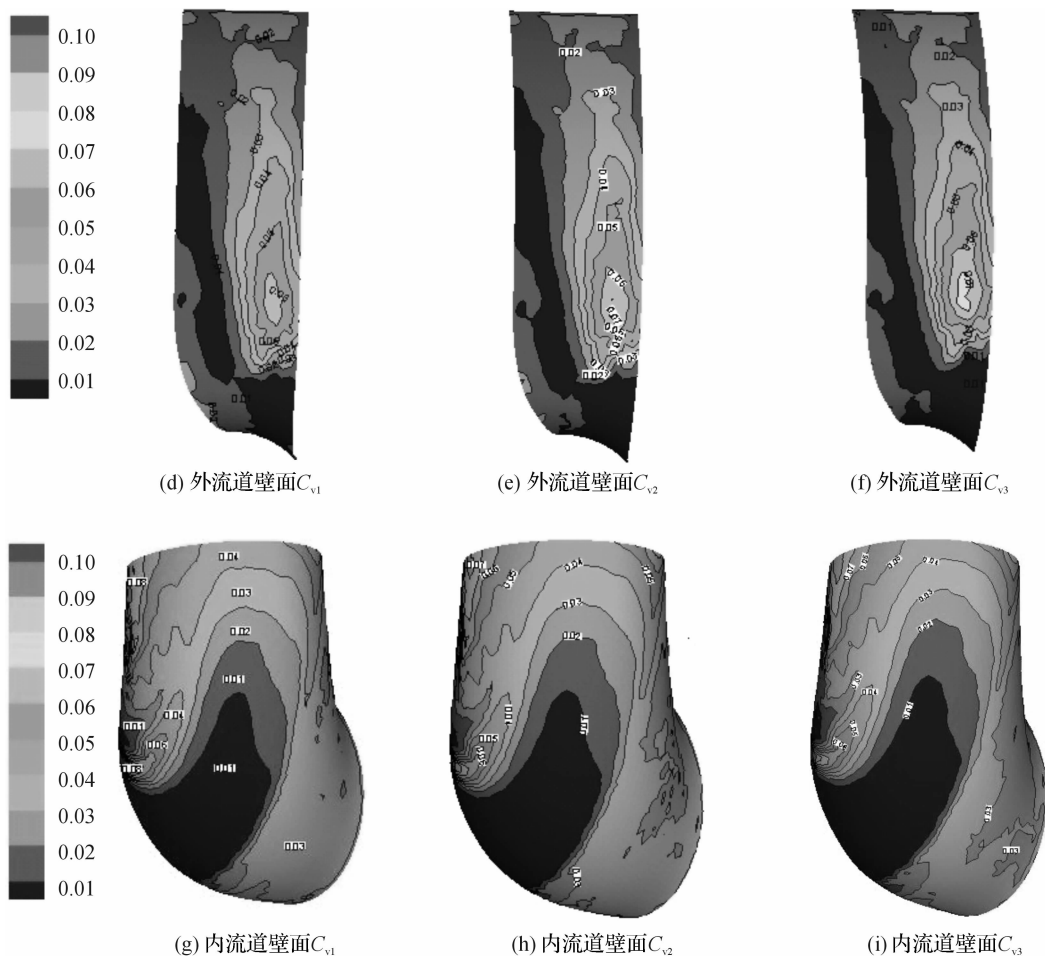


图3 不同体积浓度下固相体积分数的分布

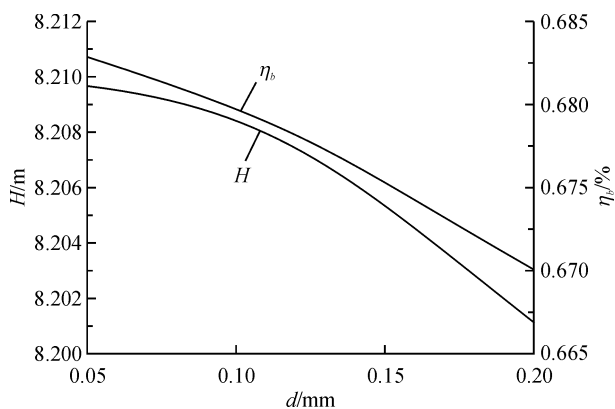


图4 粒径对扬程和效率的影响

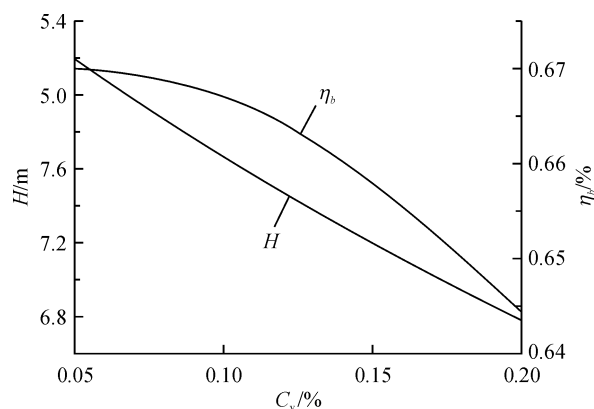


图5 体积浓度对扬程和效率的影响

图5给出了设计工况点下不同体积浓度下的扬程和效率曲线。从图5中可以看出,泵的扬程和效率都随着固相体积浓度的增加而减小。同时与图4相比,浓度对泵外特性的影响比粒径要大。因为固体不能传递压能,所以随着固相体积浓度的增加,泵内静压和绝对速度变化较大。因此外特性受体积浓度变化的影响明显。

3 结论

a) 在小粒径工况下,颗粒在叶轮流道内分布比较均匀,随着粒径的增大颗粒聚集于叶轮进口和流道弯曲的部位,且粒径越大该处的颗粒浓度越大,固相离析作用明显。

b) 固体颗粒在流道的内流道壁面上分布不均

匀,其后盖板侧的颗粒浓度高于前盖板处,随着固相体积分数的增大,后盖板处聚集的颗粒也随之增多。

c) 泵的扬程和效率随着颗粒粒径和体积浓度的增大而降低,且泵的外特性受颗粒体积浓度的影响比粒径大。

参考文献:

- [1] Rudolf S. Numerical simulation of the two-phase flow in centrifugal pump impellers[J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2001, 123(1): 1-6.
- [2] 齐学义, 阎晓伟, 姬孝斌, 等. 双流道污水泵内固相体积分数分布规律[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2): 156-159.
- [3] 刘厚林, 陆斌斌, 谈明高, 等. 双流道泵内固液两相流动的数值模拟[J]. 排灌机械, 2009, 27(5): 297-301.
- [4] Kadambi J. R. Investigations of particle velocities in a slurry pump using PIV: part 1, the tongue and adjacent channel flow[J]. Journal of Energy Resources Technology, 2004, 126: 271-278.
- [5] 赵斌娟, 袁寿其, 刘厚林, 等. 基于 Mixture 多相流模型计算双流道泵全流道内固液两相湍流[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 7-12.
- [6] 刘娟, 许洪元, 唐澍, 等. 离心泵内固体颗粒运动规律与磨损的数值模拟[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 54-59.
- [7] Li Yi, Zhu Zuchao, He Zhaohui, et al. Abrasion characteristic analyses of solid-liquid two-phase centrifugal pump[J]. Journal of Thermal Science, 2010, 20(3): 283-287.
- [8] 李朕, 何伟强, 朱祖超, 等. 脱硫泵固液两相流动的数值模拟与磨损特性[J]. 排灌机械, 2009, 27(2): 124-128.
- [9] 李红, 袁寿其, 袁建平, 等. 基于泵内纸浆悬浮液数值计算的纸浆泵设计[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(1): 51-55.

Study on Influence of Internal Solid Particles Distribution of Double Channel Impeller Pump on Pump Performance

JIN Shou-quan, LI Yi, TANG Hua

(Key Laboratory of Fluid Transmission Technology Study, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This study conducts numerical simulation on solid-liquid two-phase flow in a double channel impeller pump based on Mixture model and studies the volume concentration distribution of solid particles in double channel impeller pump under working conditions of different diameters and volume concentrations of particles. The result shows that particles are uniformly distributed in impeller passage under the working condition of small particle size; with the increase of particle size, particles gradually converge in impeller entrance and bend parts of passage; the bigger the particle size, the higher the particle concentration; solid phase segregation is obvious; particles are unevenly distributed at the back of passage; the particle concentration in back shroud is higher than that in front shroud; with the increase of solid phase volume fraction, particles gathering in back shroud increase; with the increase of particle size and volume concentration, the lift and efficiency of pump decrease. It is found through simulation that particle distribution in pump is largely affected by the change of particle size.

Key words: double channel impeller pump; solid-liquid two-phase flow; numerical simulation; volume concentration

(责任编辑: 张祖尧)