

旋流泵固液两相流输送特性试验

沙毅¹, 刘祥松²

(1. 浙江科技学院机械与汽车工程学院, 杭州 310023; 2. 哈尔滨电气动力装备有限公司, 哈尔滨 150040)

摘要: 为探索旋流泵输送固液两相流特性, 通过分析将泵内部阻力能耗分为机械和流动损失两部分, 阐明机械效率 η_m 和流动效率 η_f 经验计算公式。介绍了 32WB8—12 型旋流泵水力设计结构参数。制定了粮食作物两相流输送试验方案, 并在样机上完成输送清水及菜籽、小麦和黄豆两相流外特性试验, 得出泵流量-扬程 (q_v-H)、流量-轴功率 (q_v-P)、流量-效率 ($q_v-\eta$) 和流量-汽蚀余量 (q_v-NPSH_c) 性能曲线变化规律。试验结果表明: 输送球状菜籽泵效率高于清水和另外两种介质; 输送两相流介质抗汽蚀性能低于清水; 颗粒浓度不变时, 泵的扬程和效率随粒径的增加均有所降低; 输送菜籽球体规则形状颗粒介质泵效率高于输送不规则形状颗粒两相流; 从颗粒与液流之间直线和旋转相对滑移运动的相对性原理入手, 综合考虑介质粒径大小和形状及所受惯性力、摩擦力和浮力对流场影响的特点, 解释了外特性与内部流动之间定性的因果关系; 证明旋流泵内部两相流动符合畸变速度原理。该研究可为建立旋流泵内部液固两相流动模型提供参考。

关键词: 泵, 试验, 效率, 旋流泵, 固液两相流, 汽蚀余量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.22.009

中图分类号: TH312

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-22-0076-07

沙毅, 刘祥松. 旋流泵固液两相流输送特性试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 76-82.

Sha Yi, Liu Xiangsong. Performance test on solid-liquid two-phase flow hydrotransport of vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(22): 76-82. (in Chinese with English abstract)

0 引言

两相流动主要分为气液和固液的混合运动。有关固液两相流的问题很早就已经提出, 但是许多经验和研究成果分散在各个不同领域, 交流不多。直至上世纪 40 年代, 才开始有意识地总结归纳所遇到的各种现象, 用两相流的统一观点系统地加以分析和研究。50 年代以后相关的论文数量显著增加, 内容包括两相流边界层, 空化理论, 流态化技术等。60 年代以后, 越来越多的学者开始探索描述两相流运动规律的基本方程。两相流作为一门独立的学科形成, 并有了迅猛发展阶段, 但迄今为止还没有非常成熟的体系, 尚处于发展初期, 很多方面都要依赖于经验数据, 而且数据的分散性很大。在国内上世纪 80 年代, 蔡保元^[1]应用“二相流”水流的速度场设计离心泵的叶型和流道, 并提出了泵轮的“二相流”水流畸变方程式, 实践证明所研制的杂质泵在输送固液两相流时水力效率较高。许洪元^[2]采用固液流设计原理开发砂泵, 也取得了较好的效果。

旋流泵以其独特的结构和工作原理在输送气固液三相流方面表现了优良的性能。沙毅等^[3]设计开发了旋流泵产品, 在试验研究中发现旋流泵输送纸浆时效率比输送清水泵效率高, 且汽蚀性能曲线与离心泵等趋势相反, 其表明泵效率的高低不仅与泵水力结构有关, 还与所输送的固相介质有关。本文以旋流泵输送清水、菜籽、小麦、黄豆的试验结果充分证明了这一点。旋流泵内部流动比较复杂, 两相流动会更加复杂, 以外特性试验研究的结果推测内部流动情况不失为一种有效的方法。针对目前旋流泵流动损失与效率计算以及粮食固液两相流输送特性研究不足的情况, 本文展开试验研究。

1 旋流泵流动损失与效率

泵内能量损失一般分为机械、容积和水力损失 3 部分。离心泵等叶轮转动件与静止部件之间存在间隙, 如叶轮口环间隙。为了平衡轴向力, 有的叶轮还加设了平衡孔等附加装置。这就造成部分从叶轮获得能量的液体通过间隙或平衡孔从高压区流向低压区, 部分能量消耗于泄漏的流动过程中, 这就是容积损失^[4-7]。通过分析旋流泵结构和工作原理, 可以得知旋流泵内没有明显的上述容积损失, 或者说容积损失和水力损失混为一体难于区分, 目前机械密封等可靠性较高, 密封的泄漏量可忽略不计。笔者认为, 流动损失比水力损失的定义更广义,

收稿日期: 2013-02-11 修订日期: 2013-07-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51175474)和浙江省自然科学基金资助项目(Y1110468)

作者简介: 沙毅(1961—), 男, 山西介休人, 研究员, 主要从事流体力学理论和设计研究。杭州 浙江科技学院机械与汽车工程学院, 310023。Email: shayi01@sina.com

这样旋流泵内部就可分为机械损失和流动损失两部分，且泵效率 $\eta = \eta_m \eta_f$ 。机械效率 η_m 与离心泵一致，采用下式计算^[8]

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \frac{15.05}{n_s^{7/6}}} \quad (1)$$

式中， n_s 为泵比转速。

笔者通过对以往研制的 8 种旋流泵水力模型的统计分析^[9-12]，经过数值分析拟合出流动效率 η_f 计算经验公式

$$\eta_f = 1 + 0.278 \lg^3 \sqrt{\frac{q_v}{n}} \quad (\text{同步转速 } n=1\ 500 \text{ r/min}) \quad (2)$$

$$\eta_f = 1 + 0.223 \lg^3 \sqrt{\frac{q_v}{n}} \quad (\text{同步转速 } n=3\ 000 \text{ r/min}) \quad (3)$$

式中， q_v 为泵设计流量， m^3/s ； n 为泵转速， r/min

2 模型泵结构参数与试验方法

2.1 模型泵的研制

为有效开展研究工作，研制了 32WB8-12 型旋流泵样机，其进出水流道及涡室采用有机玻璃材料，泵与电动机同轴直连成为一体。设计和主要水力结构参数如表 1、表 2、图 1 和图 2。

表 1 旋流泵设计参数

Table 1 Vortex pump design parameters

设计参数	数值	设计参数	数值
流量 $q_v/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	8	泵效率 $\eta/\%$	50
扬程 H/m	12	汽蚀余量 $NPSH/\text{m}$	4
转速 $n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	2 850	配套功率/ kW	0.55

表 2 旋流泵水力几何参数

Table 2 Vortex pump hydraulic and geometric parameters

叶轮水力几何参数			
比转速 n_s	76	涡室、无叶腔型线	环形
叶轮外径 D_2/mm	94	涡室宽度 B/mm	30
叶片宽度 b_2/mm	20	无叶腔基圆 D_3/mm	100
叶片数 $Z/\text{片}$	8	无叶腔径向尺寸 R_f/mm	70
叶片厚度 δ/mm	1.5	无叶腔喉部面积 $F_{\text{thr}}/\text{mm}^2$	504
叶片型线	直射型	泵吸入口直径 D_f/mm	32

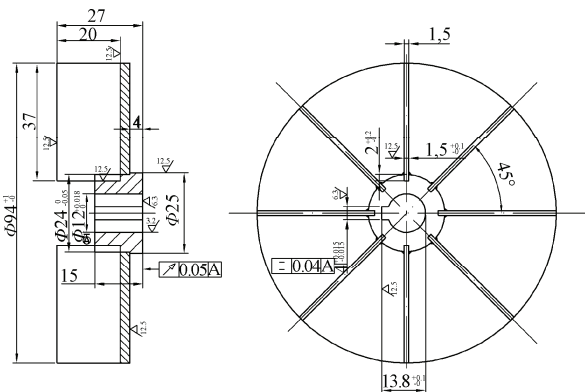


图 1 叶轮几何形状与尺寸

Fig.1 Impeller component and geometric parameters

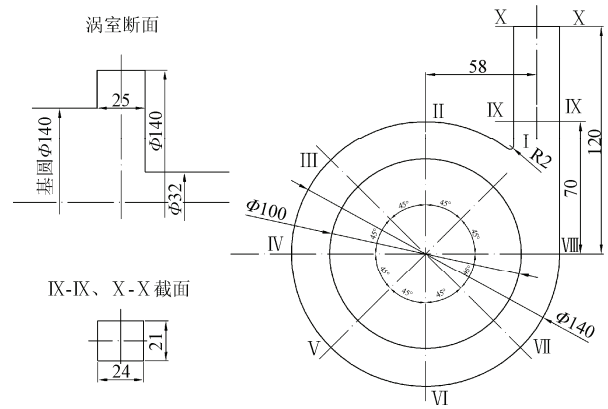


图 2 泵体几何形状与尺寸

Fig.2 Chamber component and geometric parameters

2.2 试验方法

试验工作在开式试验台(如图 3 所示)上完成，采用电测法测定泵轴功率。电动机空载按 GB/T 12785-91 进行；泵特性试验按 GB/T 3216-2005 进行^[13-16]。采用变频器调节电动机至所需转速。主要测试仪器精度如表 3 所示，所使用的辅助仪器阀门、互感器、调压器等均为科学实验用高等级精密设备。试验介质的浓度采用水体积掺入一定体积颗粒配制而成。考虑到固液两相流的密度近似等于清水密度，故按清水试验方法进行数据计算。流量采用电磁流量计直接测定固液两相流体积流量。试验中为了保持浓度均匀不变，把出水管直接接回进水池，在进水池安装了一个小型搅拌器。为了防止沉淀，另外配置了一台带过滤网的高扬程旋涡泵，把进水池的水抽出再返回池底冲刷搅拌。出水闸阀开度过小会造成固相介质淤塞，所以两相流试验不可能做到零流量(关死点)，而且颗粒越大，试验所测最小流量值越大。

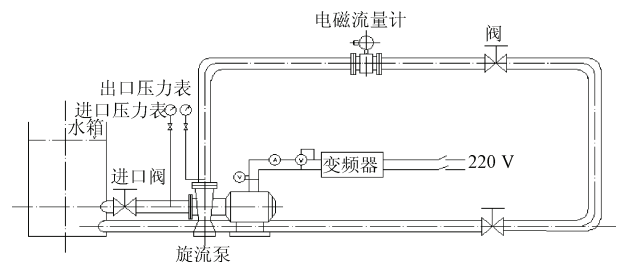


图 3 旋流泵试验台示意图

Fig.3 Vortex pump test metering device

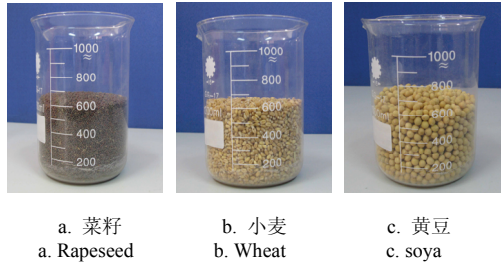
表 3 主要测试仪器精度

Table 3 Test board main meters

测量参数	仪器名称	精度	测量参数	仪器名称	精度
扬程 H	压力表	0.4	电流 I	电流表	0.5
	真空表	0.4	电压 V	电压表	0.5
流量 q_v	电磁流量计	0.5	轴功率 P	功率表	0.5
转速 n	数字转速仪	0.5	电阻 R	数字电阻仪	0.1

3 试验与结果分析

为了具有可比性, 统一调节电动机至额定转速 $n=2\ 850\ \text{r/min}$, 试验统一配制了颗粒体积百分浓度均为 $C_V=6.0\%$ 的油菜籽、小麦和黄豆固液两相流体。菜籽可视作球体, 黄豆可视作准球体, 小麦则为不规则形状体, 样品如图 4 所示。



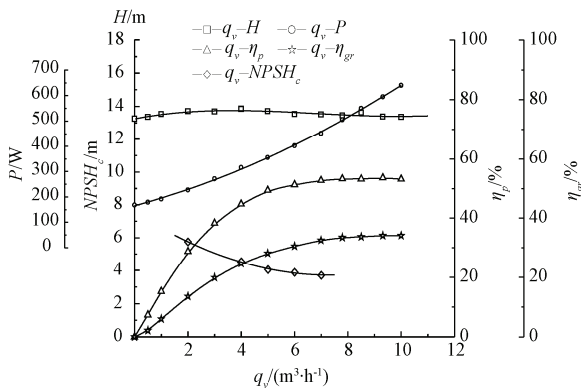
a. 菜籽 a. Rapeseed
b. 小麦 b. Wheat
c. 黄豆 c. soya

图 4 菜籽、小麦和黄豆样品

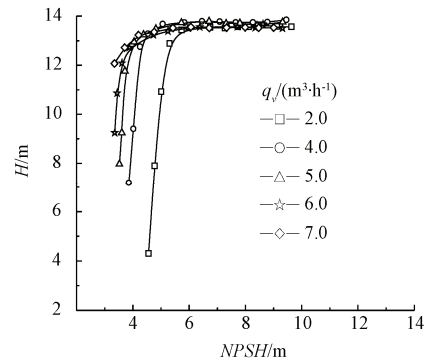
Fig.4 Samples of rapeseed, wheat and soya

3.1 清水输送特性试验

模型泵清水特性试验结果如图 5 所示。试验测得该泵最优工况 $q_v=9.31\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=13.36\ \text{m}$, $\eta_{\text{max}}=53.56\%$, 与设计工况有所偏差。泵的扬程曲线平坦, 在整个流量范围内扬程变化小, 功率曲线上上升较快。汽蚀曲线比较集中, 小流量时抗汽蚀性能较差, 随着流量的增大临界汽蚀余量减小, 抗汽蚀性能提高。通过试验观察及对对比分析发现, 旋流泵汽蚀点一般发生在叶轮螺母处, 因为涡室流道宽敞, 少量气泡并不堵塞流道, 也不影响涡室内的流动, 故汽蚀一般对旋流泵叶片不造成破坏, 对泵扬程影响不大。在临界汽蚀余量点, 随着流量增大, 扬程降低, 但下降幅度减小, 流量进一步增大到设计流量点, 泵性能趋于稳定, 说明大流量旋流泵抗汽蚀性能较好^[17-20]。需要指出的是, 最优工况各效率值用经验公式计算得 $\eta_{mc}=0.912$, $\eta_{fc}=0.551$, $\eta_c=0.503$, 泵效率比实测值小, 这是由于试验样机流道采用表面光洁的有机玻璃材料制造。



a. 泵特性曲线
a. Pump performance curves



b. 汽蚀性能曲线
b. Vortex pump cavitation curves

注: H : 扬程; q_v : 流量; P : 轴功率; η_p : 泵效率; η_{gr} : 机组效率; $NPSH_c$: 汽蚀余量。下同。

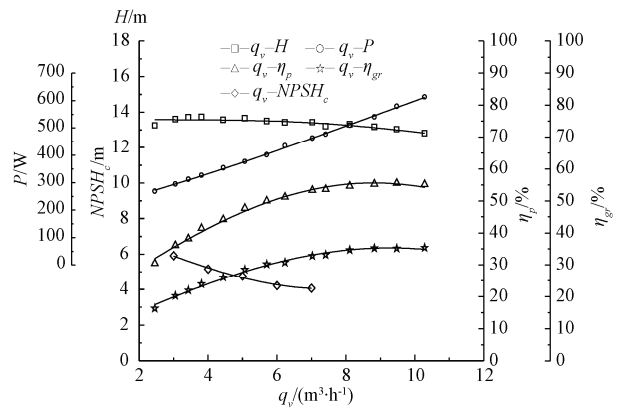
Note: H : Head; q_v : Flow rate; P : Shaft power; η_p : Pump efficiency; η_{gr} : Unit efficiency; $NPSH_c$: Net positive suction head. The same as below.

图 5 清水试验泵特性与汽蚀性能曲线

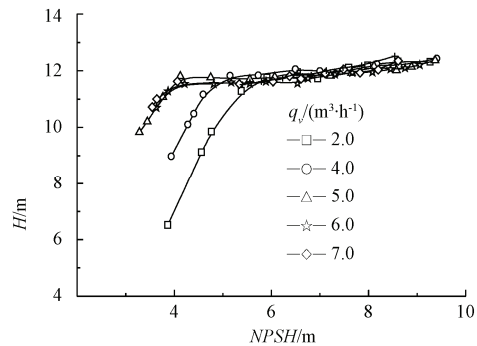
Fig.5 Pump performance and vortex cavitation curves of experiments with water

3.2 菜籽输送特性试验

试验中选取的菜籽等效粒径 $d=1\ \text{mm}$, 密度 $\rho=920\ \text{kg/m}^3$ 。图 6a、6b 分别为泵输送菜籽两相流特性试验曲线和汽蚀特性曲线。



a. 泵特性曲线
a. Pump performance curves



b. 汽蚀性能曲线
b. Vortex pump cavitation curves

图 6 菜籽两相流试验泵特性与汽蚀性能曲线

Fig.6 Pump performance and vortex cavitation curves of water-rapeseed hydrotransport experiments

试验测得最优工况为 $q_v=9.47 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=13.03 \text{ m}$, $\eta_{\max}=55.48\%$, 较输送单相清水时效率有所提高。汽蚀曲线比较集中, 小流量时抗汽蚀性能较差, 随着流量的增大临界汽蚀余量减小, 抗汽蚀性能提高。

3.3 小麦输送特性试验

试验选取小麦等效粒径 $d=2.5 \text{ mm}$, 密度 $\rho=998 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。图 7a、7b 分别泵输送小麦两相流性能试验曲线和汽蚀特性曲线。

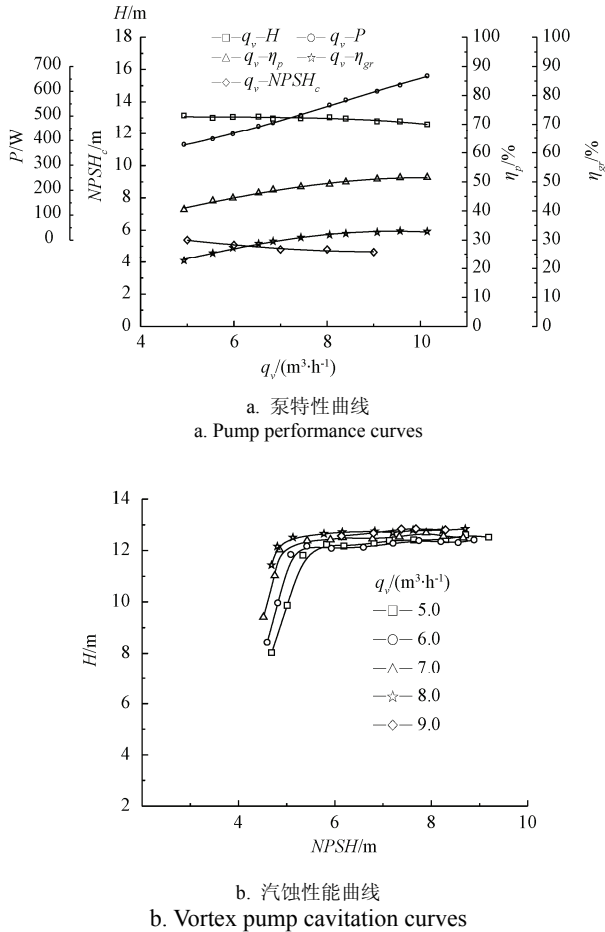


图 7 小麦两相流试验泵特性与汽蚀性能曲线
Fig.7 Pump performance and vortex cavitation curves of water-wheat hydrotransport experiments

试验测得最优工况为 $q_v=9.56 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=12.7 \text{ m}$, $\eta_{\max}=51.45\%$, 浓度相同时较输送菜籽时效率降低, 抗汽蚀性能下降。

3.4 黄豆输送特性试验

试验选取黄豆平均粒径 $d=3.5 \text{ mm}$, 密度 $\rho=1100 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。图 8a、8b 分别泵输送黄豆两相流特性试验曲线和汽蚀特性曲线。

试验测得最优工况 $q_v=10.59 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=12.68 \text{ m}$, $\eta_{\max}=53.28\%$, 浓度相同时较输送菜籽时效率降低, 较输送小麦时效率有所提高, 汽蚀曲线比较分散, 抗汽蚀性能进一步降低。

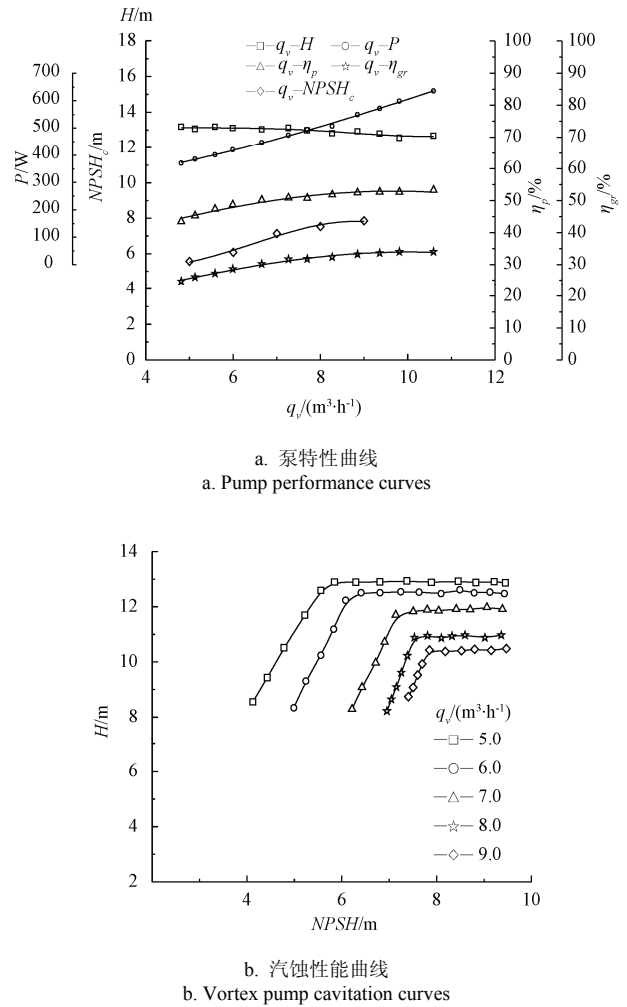


图 8 黄豆两相流试验泵特性与汽蚀性能曲线
Fig.8 Pump performance and vortex cavitation curves of water-soya hydrotransport experiments

3.5 试验结果分析

表 4 为输送各种介质泵最优工况性能参数表。图 9a、9b、9c 分别为输送各种介质 q_v-H (流量-扬程)、 $q_v-\eta$ (流量-泵效率)和 q_v-NPSH_c (流量-临界汽蚀余量)变化曲线。可以看出; 输送菜籽和清水扬程曲线几乎相当, 略高于小麦和黄豆; 输送菜籽泵效率略高于清水, 输送小麦泵效率最低; 清水的临界汽蚀余量较小, 抗汽蚀性能最好, 各种介质随着颗粒直径的增大或者说随着介质密度的增大临界汽蚀余量增大, 输送黄豆抗汽蚀性能最低。

表 4 泵最优工况性能参数
Table 4 Optimal operating conditions parameters

项目	流量 $q_v/(m^3 \cdot h^{-1})$	扬程 H/m	功率 P/W	效率 $\eta/\%$
清水试验	9.31	13.36	632.18	53.56
菜籽试验	9.47	13.03	606.07	55.48
小麦试验	9.56	12.70	643.05	51.45
黄豆试验	10.59	12.68	686.78	53.28

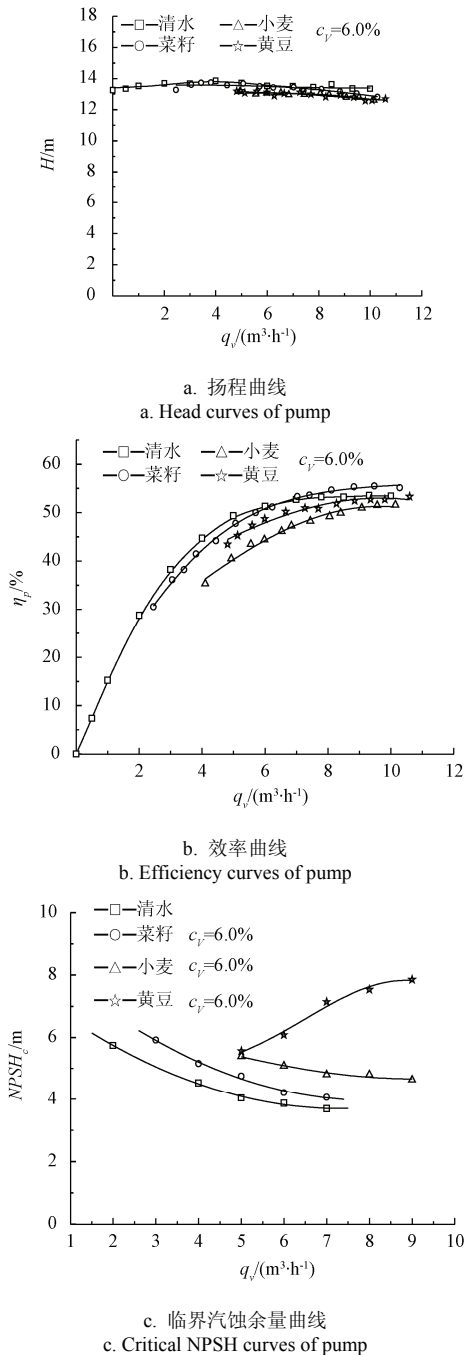


图9 不同介质下泵扬程、效率与临界汽蚀余量曲线
Fig.9 Head, efficiency and critical NPSH curves of pump with different fluid mediums

通过分析可以大致解释造成上述性能曲线变化规律的主要原因^[21-25]: 输送小颗粒或低密度介质时其惯性力较小, 颗粒越小, 维持其悬浮所需的能量也就越小, 损失也就越小, 颗粒跟随流体的性能好, 也即颗粒越细越易于水力输送; 而颗粒直径较大(密度亦大)时其惯性力较大, 颗粒跟随流体的性能差。当颗粒直径大于 2.5 mm 时叶轮内的损失增加, 泵的性能会下降。目前还不能从理论上对上述试验现象进行合理解释, 主要是小麦形状不规则、

黄豆粒径较大, 随着流量的增大, 泵内流速增加, 吸入管路的摩阻相较于菜籽、小麦损失增大及叶轮进口产生更大附加压降, 而导致泵进出口压力降低, 极易发生汽蚀, 即临界汽蚀余量增大, 泵性能下降。综合上所述旋流泵性能的变化是由于颗粒引起流场以及在流场中的受力发生变化所引起的。这是因为颗粒在流场中受到阻力、压强梯度力、虚拟质量力、Saffman 升力、Magus 升力和重力等的作用, 从而使颗粒群将沿轨道发生速度的变化; 同时颗粒在沿自身轨道运动时, 分布于水流中的物质源和能量源的量级产生了变化。

4 讨论

综合本文试验研究结果, 对固液两相流动特性获得了下列几点广义性认识: 1) 传统的两相流畸变速度原理和本文试验结果一致。其基本思想是把固体颗粒作为水流运动的边界条件, 固体颗粒的存在使液体的速度场产生畸变。固相的引入, 使流场质量惯性力发生变化, 流场中单一液体之间的粘性力又增加了一项液固之间的摩擦力。在泵进口段, 颗粒速度小于液体速度, 固体颗粒对于液体产生相对阻塞作用, 液流畸变速度增大。反之在泵出口段, 固体颗粒速度大于液体速度, 颗粒对于液体产生相对抽吸作用, 液流畸变速度减小。这就恰如其分吻合了为什么清水汽蚀余量曲线最低的原因, 泵必需汽蚀余量物理意义就是从泵进口到泵内压力最低点的流动能量损失。颗粒直径越大, 阻塞面积越大, 液流速度越大, 流动损失增加, 故汽蚀余量增大, 这也是黄豆临界汽蚀余量曲线最高的原因。再者, 菜籽在泵出口产生了抽吸作用, 液流畸变速度降低, 流动损失减小, 故泵效率高于清水。至于输送小麦和黄豆的情况例外, 主要由下述原因引起; 2) 固液两相流流动模型应纳入固体颗粒形状这个重要影响因素。流场中由于速度和压强的不均匀, 颗粒和液流之间不但有直线相对滑移运动, 可能还有相对旋转运动。菜籽这种球体颗粒无论是直线滑移还是绕其自身任何一轴线旋转滑移, 根据相对性原理, 流体对颗粒只会产生黏性摩擦力, 流动损失只有摩擦功耗, 摩擦力大小符合牛顿内摩擦定律。但像小麦这样的不规则形状颗粒绕自身任何一轴线旋转滑移时都会产生悬臂搅动水流, 不但会产生黏性摩擦力, 还会产生对液流的扰动力矩, 力矩做功就形成了附加流动损失。这就可以解释为什么输送小麦泵效率最低; 3) 相对特定的流场和颗粒相对密度, 固体颗粒可划分为浮体、潜体和沉体。在泵进水段, 黄豆密度和当量直径均最大, 沉降比较严重, 流动连续性破坏也较严重, 造成流场不均匀度

和离散度增强, 流动损失增大, 故临界汽蚀余量曲线最高; 4) 从流体力学 N-S (纳维-斯托克斯) 方程分析, 力的变化会引起速度和加速度的改变, 多种因素综合影响决定了固液两相流流动的特性, 这就造成了本文旋流泵输送四种介质性能曲线和最优工况各不相同的情况。

5 结 论

1) 固液两相流质量力、粘性力等均发生变化, 故速度场产生畸变, 表现在旋流泵外特性发生变化。使其在输送球状小颗粒固液两相流比输送清水和不规则形状颗粒两相流泵效率等性能表现的要好; 输送两相流介质抗汽蚀性能低于清水; 输送颗粒相对密度小的介质比输送密度大的介质所表现的抗汽蚀性能要高。

2) 固相的引入使固液两相流场流动状态更加复杂, 牵连因素过多且输送介质品种繁多, 目前只能定性确定一些流动参数或定量建立一些局部特定的流动方程, 要建立完整的、全面的固液两相流流动模型比较困难, 还有待于更深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡保元. 离心泵的“二相流”理论及其设计原理[J]. 科学通报, 1983(8): 498—502.
- [2] 许洪元. 渣浆泵的固液流设计原理[J]. 工程热物理学报, 1992, 13(4): 389—393.
Xu Hongyuan. Solid-liquid flow design principle on slurry pump[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 1992, 13(4): 389—393. (in Chinese with English abstract)
- [3] 沙毅, 闻建龙. 泵与风机[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2005: 274—301.
- [4] 丁强民, 周青蛟, 吴生盼, 等. 低比速离心泵容积效率浅析[J]. 水泵技术, 2010(4): 13—15.
Ding Qiangming, Zhou Qingjiao, Wu Shengpan, et al. Analysis of volumetric efficiency for low specific speed centrifugal pump[J]. Pump Technology, 2010(4): 13—15. (in Chinese without English abstract)
- [5] 冀宏, 李志峰, 王峥嵘, 等. 液电机叶片泵的性能试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 48—51.
Ji Hong, Li Zhifeng, Wang Zhengrong, et al. Performance test of the prototype of electric motor effect pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 48—51. (in Chinese with English abstract)
- [6] 桂绍波, 曹树良, 谭磊, 等. 前置导叶预旋调节离心泵性能的数值预算与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 101—106.
Gui Shaobo, Cao Shuliang, Tan Lei, et al. Numerical simulation and experiment of inlet guide vane pre-whirl regulation for centrifugal pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 101—106. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王洋, 张翔. 叶轮口环间隙对低比转速离心泵效率的影响[J]. 排灌机械, 2008, 26(6): 27—30.
Wang Yang, Zhang Xiang. Effect of clearance of impeller

- wear-rings on efficiency of low specific centrifugal pump[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(6): 27—30. (in Chinese with English abstract)
- [8] 沈阳水泵研究所, 中国农业机械化科学研究院. 叶片泵设计手册[M]. 机械工业出版社, 1983: 1—61.
- [9] Hideki Ohba, Yukitoshi Nakashima, Kazuaki Shiramoto. A study on internal flow and performance of a vortex pump, Part 1: Theoretical Analysis[J]. Bulletin of the JSME, 1983(6): 999—1006.
- [10] 沙毅, 施卫东, 王助良, 等. 无堵塞泵水力设计及试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 62—66.
Sha Yi, Shi Weidong, Wang Zhuliang, et al. Hydraulic design of non-clogging pump and experimental research on its characters[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 62—66. (in Chinese with English abstract)
- [11] 沙毅, 杨敏官, 康灿, 等. 旋流泵的特性分析与设计方法探讨[J]. 农业工程学报, 2004, 36(1): 124—127.
Sha Yi, Yang Minguan, Kang Can, et al. Design method and characteristic analysis of vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSEA), 2004, 36(1): 124—127. (in Chinese with English abstract)
- [12] 沙毅. 旋流泵性能及内部流场试验分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 141—146.
Sha Yi. Experiments on performance and internal flow of a vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSEA), 2011, 27(4): 141—146. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈红勋. 旋流泵叶轮内部旋转流场的测试[J]. 农业机械学报, 1996, 27(1): 49—54.
Chen Hongxun. Measurement of rotating flow field within the impeller of vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 1996, 27(1): 49—54. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨敏官, 高波, 刘栋, 等. 旋流泵内部盐析两相流速度场的 PDPA 实验[J]. 工程热物理学报, 2008, 29(2): 237—240.
Yang Minguan, Gao Bo, Liu Dong, et al. Experiment investigation of salt-out two-phase flow in a vortex pump by PDPA measurement [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2008, 29(2): 237—240. (in Chinese with English abstract)
- [15] 吴坚, 沙毅, 徐兴. 旋流泵变转速性能及无叶腔流场实验研究[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(9): 1811—1817.
Wu Jian, Sha Yi, Xu Xing. Experimental investigation on variable speed performance and volute flow of vortex pump[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(9): 1811—1817. (in Chinese with English abstract)
- [16] Schivley G P. An analytical and experimental study of a vortex pump[J]. Trans ASME., SerD, 1970, 92(4): 889—900.
- [17] 沙毅, 侯丽艳. 旋流泵叶轮位置对性能影响与无叶腔流场测定[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 57—62.
Sha Yi, Hou Liyan. Effect of impeller location and flow measurement in volute of a vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 57—62. (in Chinese with English abstract)
- [18] 沙毅, 李金磊, 刘祥松, 等. 自吸旋涡泵变转速性能及内部流场试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 119—124.
Sha Yi, Li Jinlei, Liu Xiangsong, et al. Self-priming vortex

- pump variable speed performance and internal flow test[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 119–124. (in Chinese with English abstract)
- [19] 邵杰, 刘树红, 张桂英, 等. 大出口角离心泵叶轮内部流动的 PIV 测量分析[J]. 水泵技术, 2010(2): 1–7. Shao Jie, Liu Shuhong, Zhang Guiying, et al. Analysis of internal of a centrifugal pump impeller with large outlet angle using PIV method[J]. Pump Technology, 2010(2): 1–7. (in Chinese without English abstract)
- [20] 沙毅, 李金磊, 李昌烽. 自吸旋涡泵内部流动分析[J]. 排灌机械, 2008, 26(6): 10–14. Sha Yi, Li Jinlei, Li Changfeng. Analysis of interior flow in self-priming vortex pump[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(6): 10–14. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘大有. 二相流体动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 1–162.
- [22] 郭烈锦. 两相与多相流动力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002: 1–82.
- [23] 夏明晖, 刘树红, 吴玉林. 旋流泵主流道三维定常流场的数值模拟[J]. 工程热力学, 2006, 27(5): 420–422. Xia Penghun, Liu Shuhong, Wu Yulin. Numerical simulation of steady flow in vortex pumps[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2006, 27(5): 420–422. (in Chinese with English abstract)
- [24] 赵万勇, 李易松, 王振, 等. 旋流泵中颗粒运动方程的探讨[J]. 兰州理工大学学报, 2007, 33(6): 47–49. Zhao Wanyong, Li Yisong, Wang Zhen, et al. Inquiry into equation of particles motion in vortex pump[J]. Journal of Lanzhou University of Science and Technology, 2007, 33(6): 47–49. (in Chinese with English abstract)
- [25] 施卫东, 汪永志, 孔繁余, 等. 旋流泵无叶腔内部流场数值模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 72–75. Shi Weidong, Wang Yongzhi, Kong Fanyu, et al. Numerical simulation of internal flow field within the volute of vortex pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(9): 72–75. (in Chinese with English abstract)

Performance test on solid-liquid two-phase flow hydrotransport of vortex pump

Sha Yi¹, Liu Xiangsong²

(1. School of Mechanical & Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. Harbin Electric Power Equipment Company Limited, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to study the solid-liquid two-phase flow hydrotransport characteristics of vortex pump, the energy consumption of pump caused by internal resistance is divided into two parts: the mechanical losses and hydraulic losses, also the calculation of mechanical efficiency η_m and hydraulic efficiency η_f is elaborated. This paper investigates the 32WB8-12 vortex pump's parameter of hydraulic design structure. The crops solid-liquid two-phase flow hydrotransport experiment plan is established, meanwhile the performance experiments of clean water, rapeseed, wheat and soya hydrotransport are conducted on a self-built vortex pump, after taking above experiments that the q_v-H , q_v-P , $q_v-\eta$, q_v-NPSH_c curves are obtained. The experimental results indicates the pump's hydrotransport efficiency of spherical rapeseed is higher than clean water's and the others' two-phase flow. The pump anti-cavitations are reduced with the solid-liquid two-phase flow hydrotransport. The head and hydrotransport efficiency of pump ordinarily decrease with increased particle size under the condition of constant particle concentration. Moreover, the hydraulic efficiency of transporting regular sphere shape particles such as rapeseed is higher than the clean water's, wheat's and soya's. The characteristics are considered based on the slip flow with the principle of relativity that sliding liner and rotary motion between particles and fluid flow. Associated with particle's size and shape, the particles suffered inertial force, friction force and buoyant force have significance on fluid field, all above information also proved that internal two-phase flow of vortex pump meet the principle of distortion velocity. From the experimental data analyses, some explanations are given for the link and changing trends between the external characteristics and internal flow nature. This research can provide a reference for building the model of fluid solid two-phase flow in vortex pump.

Key words: pumps, experiments, efficiency, vortex pump, liquid-solid two-phase flow, NPSH

(责任编辑: 信世强)