

文章编号: 1000-8055(2000)02-0142-05

诱导轮形状对汽蚀特性的影响

黄建德 谷传纲

(上海交通大学 流体机械及动力工程系 振动冲击噪声国家重点实验室, 上海 200030)

摘要: 作者通过对两个叶片的平板螺旋形诱导叶轮的汽蚀特性和叶轮内空泡发展进行了测试和可视化观察, 发现随着吸入压力的降低, 两个叶片上原来同样发展的空泡之间有时会失去平衡, 出现一个叶片的空泡急剧缩小, 而另一个叶片空泡随之增大, 这种交错叶片空泡现象, 并有可能导致扬程的急速下降。在此基础上, 作者进一步对叶片数, 叶片长度不同的 4 种诱导叶轮进行了测试, 弄清了叶轮几何形状对上述现象发生和汽蚀性能的影响, 并对其原因作了初步的探讨。

关键词: 诱导轮; 形状; 汽蚀

中图分类号: V 232. 4

文献标识码: A

1 引言

利用前置诱导轮来提高离心泵的汽蚀性能是一种有效的方法。该方法广泛应用于火箭的液体燃料输送、制冷、化工、电站的水泵系统中。尽管已有许多诱导轮方面的研究^[1, 2], 但工程上空泡引起扬程下降的预估是个重要课题, 目前仅靠数值解析的方法还很难解决, 需要不断利用测试手段对随空泡出现而产生的各种现象加以分析和解释。本文对叶片数为 2, 稠密度(叶片弦长/叶片节距)为 2 的平板螺旋形诱导轮泵的汽蚀特性和空泡发生情况进行了测试和可视化观察分析, 发现在某些流量和进口压力条件下会发生交错叶片空泡现象, 并有可能导致扬程的急速下降。由于目前国际国内还未看到有关诱导轮几何形状对交错叶片空泡现象发生之间关系的报道。因此, 本文进一步对不同叶片数、不同叶片长度的 4 种诱导轮叶轮进行了测试, 弄清了上述参数对汽蚀性能和交错叶片空泡现象发生的影响, 并对其原因作了初步的探讨。

2 实验装置和方法

本文使用外径为 158 mm, 轮毂直径为 50

mm, 叶片厚度为 4 mm 的平板螺旋形诱导轮, 其截面形状如图 1 所示。将叶顶流面的叶片角为 14° , 叶片数 2, 稠密度为 1 的叶轮用记号 14-2-1

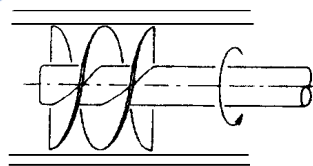


图 1 叶轮形状

来表示。本文以叶轮 14-2-2 为基准, 叶片数的变化选择叶片长度和叶轮 14-2-2 的相同, 叶片数分别为 3 和 4 的叶轮, 其稠密度随叶片数而分别变成了 3, 4, 记号为 14-3-3 和 14-4-4。而叶片长度的变化选择了叶片数 2, 叶片长度分别是叶轮 14-2-2 的 $1/2$ 和 $1/4$, 即 14-2-1 和 14-2-0.5。叶轮外壁使用内径 159.5 mm 的透明有机玻璃, 可观察叶轮内部空泡的发生情况。在诱导轮下游管道上, 装上了去除旋转速度分量的扩压器。诱导轮的性能, 在没有空泡发生的情况下, 用 3 孔毕托管测试叶轮下游 10 mm 处的流场而求得。而空泡大量发生时无法使用毕托管, 故将扩压器下游测得的总压力减去流体通过扩压器时的损失(事先在无空泡

收稿日期: 1999- 04- 08; 修订日期: 1999- 06- 11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目();

作者简介: 黄建德(1961-), 男, 上海交通大学流体机械及动力工程系振动冲击噪声国家重点实验室 教授, 博士

时测得的值)而求得诱导轮出口的总压力。

3 实验结果和分析

3.1 交错叶片空泡的发生

在吸入压力减小时对 5 种叶轮流道内空泡的发展情况用闪频仪进行了观察。沿着叶片长度方向测得的空泡最大长度为 L , 与叶片垂直方向测得的空泡最大宽度为 W , L , W 和汽蚀系数 $K_d (= (H_{sv} - \rho C_1^2/2)/(\rho W_{1t}^2/2))$, 其中, H_{sv} 为有效汽蚀余量(单位: Pa), C_1 为叶片进口的绝对流速(单位: m/s), W_{1t} 为叶轮进口叶顶处的相对速度(单位: m/s), ρ 为水的密度(单位: kg/m³)的关系如图 2 (a)~(d)所示(图中: w_t 为叶顶流面上叶片流道喉部宽度, L_t 为叶顶流面上从叶轮进口到叶片流道喉部的距离)。图 2 中的符号①~⑤分别表示如下空泡状态: ①叶片的前缘吸力面侧出现空泡; ②叶顶间隙处泄漏液流所产生的空泡③数个叶片其空泡大小即将发生显著变化; ④数个空泡大小的差为极大; ⑤数个叶片的空泡又恢复到同样大小。

由图 2(a)可知, 14-2-2 叶轮在流量系数 $Q=0.125$ (最高效率点流量为 0.155, 无冲突流量为 0.26) 时, 原来两个叶片吸力面上基本均匀发展的空泡, 在某一吸入压力下叶片 a 的空泡急速缩小, 而叶片 b 的空泡随之增大的交错叶片空泡现象。以往人们已发现了这种空泡^[1,3], 但对该现象都没做深入的研究。进一步降低 K_d , 交错叶片空泡继续发展, 随后出现频率是叶轮旋转频率的 0.025~0.15 倍的低频脉动^[4]。此时可以观察到 2 个叶片的空泡在叶片长度方向同时一伸一缩。空泡再继续发展后, 脉动停止, 空泡接近叶片出口后, 交错叶片空泡现象渐渐变得不明显, 最后消失。

叶片数 3 时(图 2(b)), 叶片 a 的空泡一开始就发展较缓慢, $K_d < 0.2$ 后, 叶片 b 的空泡增加较缓, 其大小和叶片 a 的空泡一样, 而叶片 c 继续增大。 $K_d = 0.1$ 时管路内发生低频脉动, 3 个叶片的空泡之间的差异消失。由此可见, 叶轮 14-3-3 的交错叶片空泡现象和叶轮 14-2-2 相比不明显。而 4 个叶片的叶轮 14-4-4(图 2(c)), 交错叶片空泡现象明显, 空泡突然减少和增大的叶片相互交错, 即叶片 a 的空泡减小, 叶片 b 的增大, 叶片 c 的减小, 叶片 d 的增大, 这也是“交错叶片空泡”名称的由来。将叶片长度减小一半后(图 2(d)), 交错叶片空泡现象不明显。叶片长度更短的 14-2-0.5 也无这种现象(图省略)。

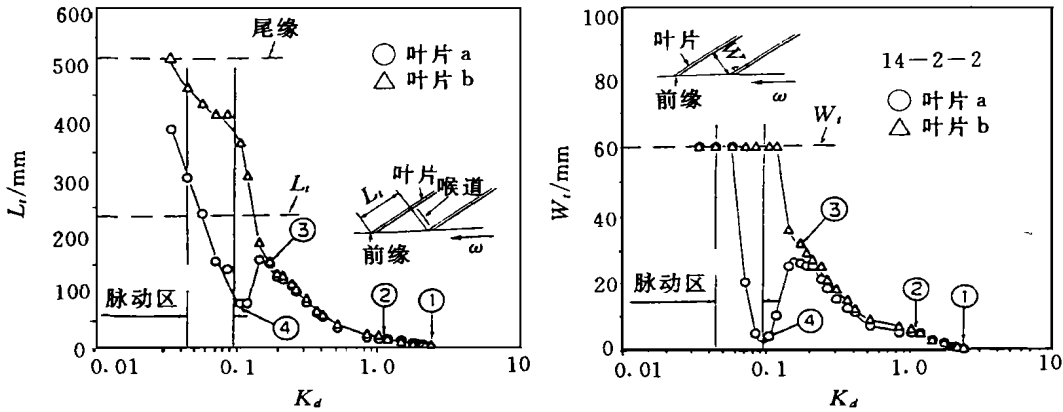
对交错叶片空泡的发生机理可作如下解释, 认为叶轮流道喉部(参照图 2(a))的存在对该现象的发生起着很大的作用, 当空泡发展到流道喉部附近(参照图 3)时, 空泡使有效流道宽度变窄。图 3 中, 如果有什么原因使叶片 b 的空泡比叶片 a 稍大的话, 流道 B 的靠近叶片 a 处液流的轴向速度分量由于阻塞效应而加速, 使相对叶片 a 的冲角变小。为此, 叶片 a 的空泡变小, 叶片 a 和 b 的空泡大小的差越来越显著, 呈交错叶片空泡状态。而叶轮 14-2-0.5 的叶片长度短, 几何上不存在流道喉部, 故流道内液流不易受空泡阻塞。叶轮 14-2-1 则流道喉部靠近叶轮出口(图 2(d)), 故该现象不明显。

3.2 汽蚀性能

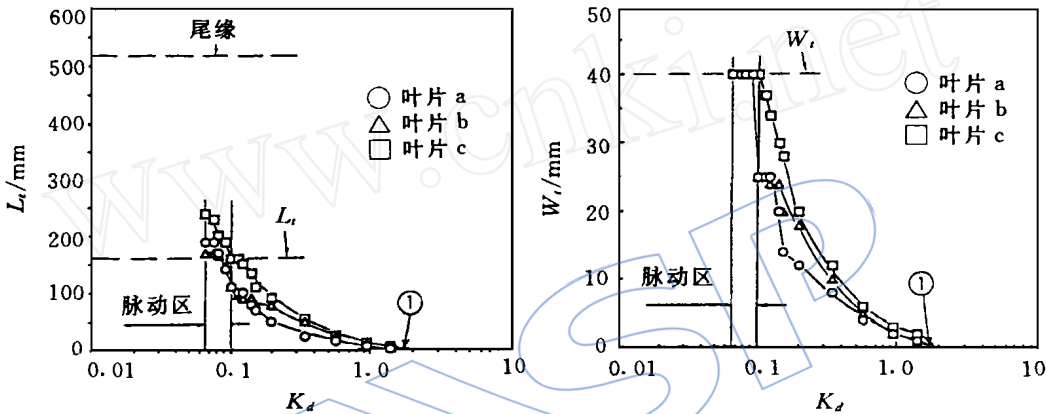
5 种叶轮的扬程系数 Ψ 随汽蚀系数 K_d 的变化如图 4(a)~(e)所示(图 4(a)~(e)曲线从上至下依顺序 $Q=0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15, 0.175$)。图中的黑色记号表示发生了低频脉动。图中记号①~⑤请参考上节中图 2 的说明。从图 4 可以发现, 由于发生了交错叶片空泡现象, 叶轮 14-2-2(图 4(a))和 14-4-4(图 4(c))的流量 $Q=0.1 \sim 0.15$ 的扬程在④~⑤曲线(虚线)处附近发生了很大的弯曲, 即扬程容易下降, 汽蚀性能差。

叶片长度最短的叶轮 14-2-0.5 的扬程随汽蚀系数 K_d 的变化趋势有些特殊, 即 K_d 减小, 扬程先是增大, 然后才急速下降。为了弄清这一现象的原因, 流量 $Q=0.1$, 扬程最大点和 3% 下降点时的空泡形态如图 5 所示。从图 5(a)可见, 叶轮扬程上升是由于空泡的阻碍作用, 使通过流道的液流的相对流出角增大, 理论扬程增大的缘故。而 K_d 进一步减小, 则空泡形态发生了变化(图 5(b)), 使液流的相对流出角减小, 导致扬程下降。

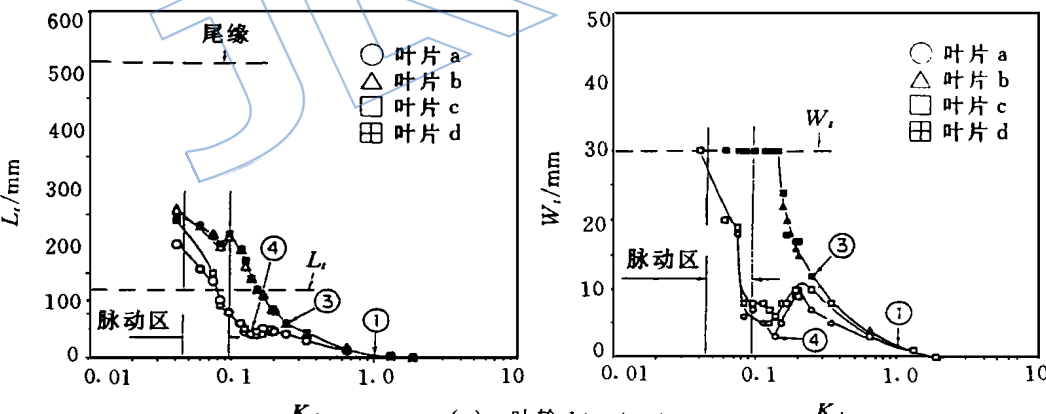
5 种叶轮的 3% 扬程下降点的 K_d 和流量之间的关系如图 6 所示。从图 6(a)可见, 4 个叶片的叶轮(14-4-4)的 3% 扬程下降点在全流量工况下最大, 尤其在 $Q=0.15$ 左右, 汽蚀性能最差。这是因为叶片数增多, 空泡对流道液流的阻塞效应增大, 容易引起扬程下降的缘故。而 3 个叶片的叶轮(14-3-3)由于不发生交错叶片空泡现象, 故比 14-2-2 的汽蚀性能还要好。图 6(图中 $N=2000$ r/min) (a)的这种变化趋势和相互关系一直保持到 10% 的扬程下降点。15% 扬程下降点时 3 种叶轮的 $K_d \sim Q$ 曲线基本不随流量而变化, 其大小也基本一致, K_d 约为 0.05(图省略)。



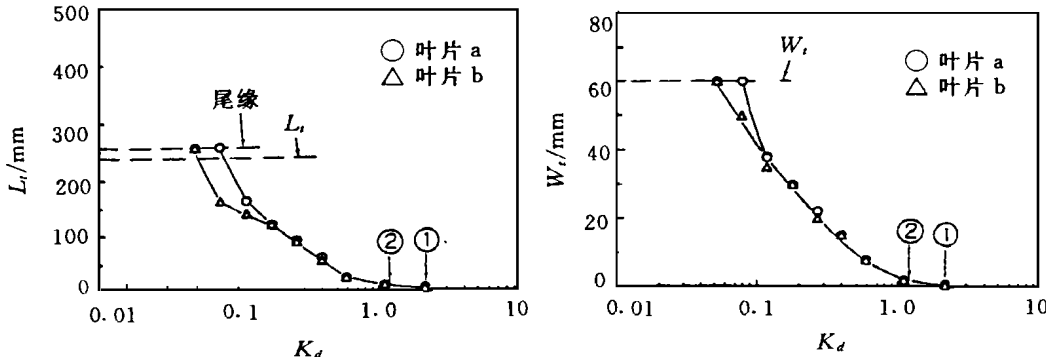
(a) 叶轮 14-2-2



(b) 叶轮 14-3-3



(c) 叶轮 14-4-4



(d) 叶轮 14-2-1

图 2 各种叶轮的空泡发展情形($\varphi = 0.125$; $N = 1500$ r/min)

从图 6(b) 可见叶片长度越短, 汽蚀性能越

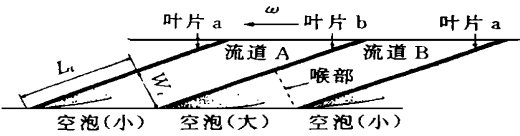
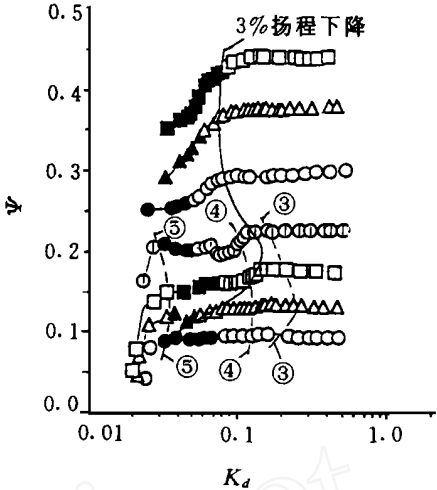
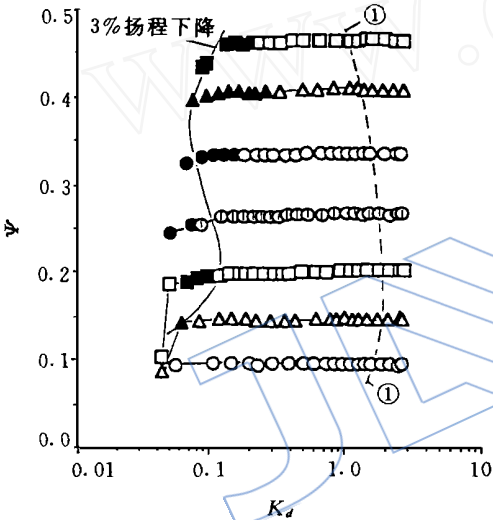


图 3 交错叶片空泡的发生

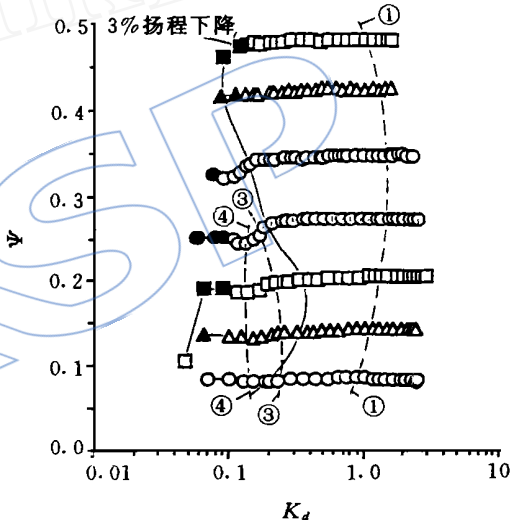
差。这是因为叶片短, 空泡大小相对于叶片面积的比例增大的缘故。但是叶轮 14-2-2 和 14-2-1 相差较小, 由于 14-2-2 会发生交错叶片空泡现象, 所以在某些流量范围内存在比 14-2-1 的汽蚀性能差的可能性。扬程 5%, 10%, 15% 下降点的 $K_d \sim \varphi$ 曲线也都呈这种趋势(图省略)。



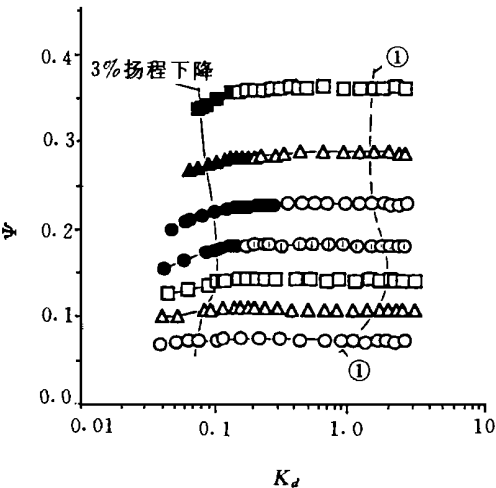
(a) 叶轮 14-2-2 ($N=2000 \text{ r/min}$)



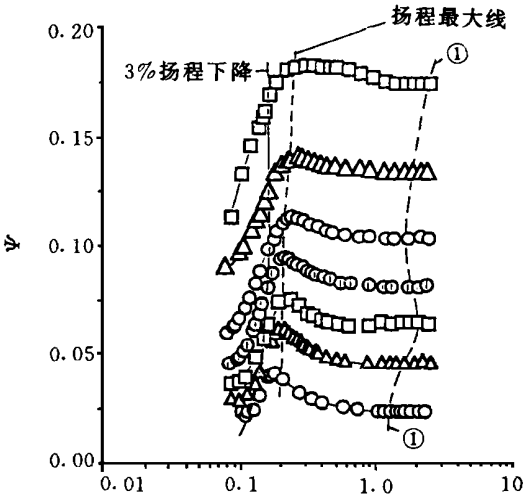
(b) 叶轮 14-3-3 ($N=1500 \text{ r/min}$)



(c) 叶轮 14-4-4 ($N=1500 \text{ r/min}$)

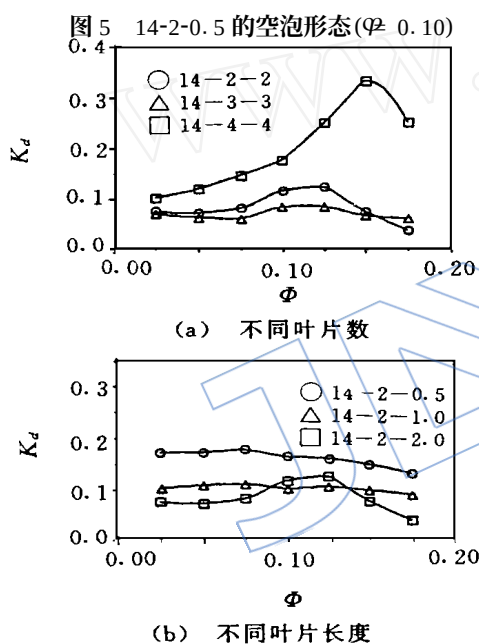
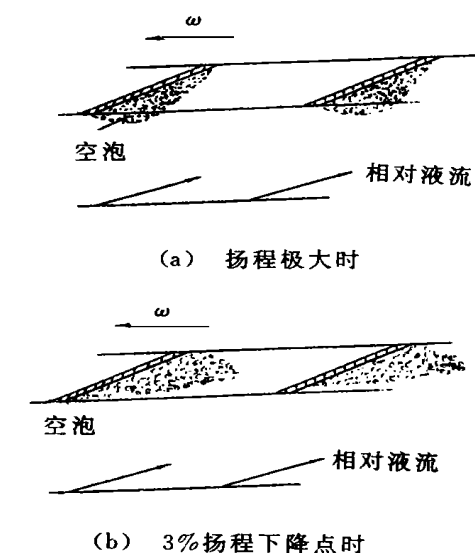


(d) 叶轮 14-2-1 ($N=1500 \text{ r/min}$)



(e) 叶轮 14-2-0.5 ($N=1500 \text{ r/min}$)

图 4 各种叶轮的汽蚀性能

图 6 3%扬程下降点时的 K_d 和流量的关系

4 结 论

(1) 叶顶流面的叶片角为 14° , 叶片数分别为 2 和 4, 稠密度也为 2 和 4 的叶轮 (叶片长度不变), 会发生交错叶片空泡现象。而 3 个叶片的叶轮该现象不明显。叶片数 2, 稠密度分别为 1 和 0.5 的叶轮不发生交错叶片空泡现象。(2) 4 个叶片的叶轮的汽蚀性能最差, 但 3 个叶片的叶轮由于交错叶片空泡现象不明显, 故比 2 个叶片的叶轮还要好。叶片长度最短, 稠密度为 0.5 的叶轮的汽蚀性能最差。但稠密度为 2 的叶轮的汽蚀性能在某些流量下会比稠密度 1 的叶轮差。(3) 稠密度为 0.5 的叶轮, 在扬程开始下降之前, 其扬程会随吸入压力的减小而增加。这一现象主要和流道内形成的空泡形态促使液流的相对流出角增大, 引起理论扬程增大有关。(4) 对叶片数, 叶片长度对交错叶片空泡现象的发生和汽蚀性能影响的原因作了初步的探讨。

致谢 作者对日本国株式会社荏原综合研究所流体机械研究室青木正则博士所给予的指导和帮助表示感谢!

参 考 文 献

- 1 Acosta A J. An Experimental Study of Cavitation Inducer[R]. 2nd Symposium, on Naval HydroDynamics, 1958: 533
- 2 高松等. 日本机械学会论文集 (第 2 部) [C]. 1978, 44 (375): 960
- 3 上 等. 日本机械学会论文集 (B) [C]. 1991, 57 (544): 4023
- 4 山本. 日本机械学会论文集 [C]. 1990, 56 (532): 644

(责任编辑 杨再荣)

The Effect of Inducer Shape on the Alternate Blade Cavitation

Huang Jiande, Gu Chuangang

(Department of Fluid Machinery and Power Engineering, Shanghai Jiao Tong University.
National Key Laboratory for Vibration Shock and Noise, Shanghai 200030, China)

Abstract Measurement and visualization of suction performance and cavitation development have been performed on a flat-helical inducer with two blades. As the suction pressure is reduced, the balance of the cavity development on both blades may be destroyed. Alternate blade cavitation can occur, in which the cavity development evolves on one blade but weakens on the other. This makes the pump lift decrease quickly. Thus, the same investigation on four types of inducer impellers with different blade numbers and blade lengths have also been performed. The effects of the impeller geometrical parameters on the cavitation performance and occurrence of the alternate blade cavitation are found out and the mechanism is explored.

Key words inducer; shapes; cavitation effects