

CB80-65-125 船用冷却泵的改进设计与试验

刘建瑞, 王董梅, 苏起钦, 徐永刚

(江苏大学 流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为了适应船用泵的发展及使用条件, 研制开发新型高效船用冷却泵, 对 CB80-65-125 型船用泵进行了技术改造, 并采用了 FLUENT 模拟泵内流场, 进行优化改型设计。改进的新型船用冷却泵, 叶轮叶片向吸入口前伸并剪薄, 减小了进口直径。对改进设计后的泵, 用 Pro/E 建立该泵内部流道的三维物理模型, 采用标准 $k-\varepsilon$ 模型、SIMPLEC 算法, 数值模拟并分析了泵设计工况点下叶轮进口附近流场、静压分布的均匀性及叶轮几何参数对泵性能的影响。试验结果表明, 新型船用冷却泵设计合理, 流道内流动、静压分布及相对速度的扩散都比较均匀, 没有明显的漩涡及边界层分离现象; 泵效率达到 67.9%, 比原型泵效率提高了 4.4%; 扬程达到 20.8 m; 结构简单, 重量轻。另外, 改进设计方法也可提高泵的抗汽蚀性能。

关键词: 船用冷却泵; 叶轮; 设计; 试验; 数值模拟

中图分类号: TH311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-6254(2009)03-0158-05

Improvement design and experiment study of CB80-65-125 ship cooling pump

Liu Jianrui, Wang Dongmei, Su Qiqin, Xu Yonggang

(Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: A CB80-65-125 ship cooling pump was reformed to improve the limitations of the application conditions. FLUENT software was used to simulate the flow field for the optimization. The new type ship cooling pump was designed with thinner leaf blade with extended inlet, and smaller inlet diameter. The three-dimensional inner flow model was built in Pro/E. A simulation was performed to analyze the flow around the impeller inlet, to study the effects of geometry parameters of impeller on the hydraulic performance at the rated point, by using SIMPLEC algorithm and standard $k-\varepsilon$ turbulence model. The experimental results indicate that the static pressure distribution and the relative velocity diffusion are uniform, and there is no obvious swirl and boundary-layer separation. So the design is reasonable. The efficiency of the new type ship cooling pump achieves to 67.9%, 4.4 percent higher than the old one. The head is 20.8 m. The pump is relatively simple in structure and light in weight. Besides, the developed pump can also improve the cavitation resistance of the pump.

Key words: ship cooling pump; impeller; design; experiment; numerical simulation

船用冷却泵主要用于船舶柴油机冷却循环供水, 在船舶上起着十分重要的作用。由于船用条件限

制^[1], 使得船用泵在参数选取、结构设计、加工制造、材料选用、试验方法、验收标准以及使用条件等

收稿日期: 2009-02-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAF34B10)

作者简介: 刘建瑞(1952—), 男, 甘肃静宁人, 研究员, 博导(ljrwj@126.com), 主要从事流体机械及工程研究。

王董梅(1984—), 女, 山东菏泽人, 硕士生(wdongmei1885@yahoo.com.cn), 主要从事流体机械及工程研究。

方面具有一定程度的特殊性.具体归纳为以下几个方面:较低的运行振动和良好的耐振性能;较好的抗冲击能力;能保证在摇摆和倾斜的情况下正常运行;最小的机械噪声和流体噪声;海水泵材料应具有良好的耐腐蚀性能^[2];其他特殊要求.

我国船用冷却泵起步晚,主要仿制国外产品,产品笨重^[3].目前我国船用泵的品种和规模仍不足以满足现代化船舶的配套要求,尽管有一些新的品种不时地涌现出来,但缺口仍然很大,尤其是船用特种泵.水力设计上,虽然经过了最近40年的发展,但是相对于国外来说,效率比较低,船用泵的性能参数有待进一步的优化,并提高泵的使用寿命.FLUENT是用于泵模拟流场及优化改型设计的先进方法,而目前国内应用该技术对船用冷却泵的设计研究比较少.随着船用泵需求量的日益增加,结合现代先进技术FLUENT研制开发新型高效船用冷却泵,是市场的需求.

为了适应船用泵的发展,本研究将考虑船用泵的使用条件,对CB80-65-125型船用泵进行技术改造,采用数值模拟来分析泵叶轮进口附近的内部流动情况,并结合试验和数值分析的结果对设计方法进行分析讨论.为泵的设计提供理论依据,以缩短研发周期.

1 泵的设计方案

1.1 设计参数

根据舰船对船用冷却泵的需求, CB80-65-125型船用泵技术参数如下:

额定流量 $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$; 额定扬程 $H = 20 \text{ m}$; 转速 $n = 2900 \text{ r/min}$; 电机功率 $P = 4.5 \text{ kW}$; 介质为海水.

1.2 结构设计

泵的结构如图1所示.

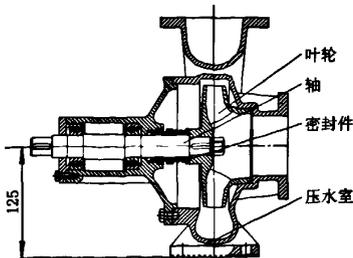


图1 泵的结构图

Fig.1 Structure diagram of pump

1.3 材料的选择

采用10-2锡青铜(ZCuSn10Zn2)和10-1磷青铜(ZCuSn10Pb1)分别铸造泵体和叶轮.该材料能够抗腐蚀,耐磨蚀.

2 泵的水力设计

2.1 叶轮水力设计

主要尺寸有叶轮进口直径 D_1 , 叶轮出口直径 D_2 , 叶轮出口宽度 b_2 , 采用速度系数法确定^[4-10].

2.1.1 叶轮进口直径

叶轮进口直径主要取决于泵的流量, 叶轮进口速度和叶轮的进口直径有关系, 根据经验公式计算:

$$D_1 = K_j \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (1)$$

式中 K_j 为叶轮进口速度系数, 取 $K_j = 4.15$.

在水力设计中, 适当地设计较小的叶轮进口直径, 可以减小叶轮密封环的泄漏量, 提高容积效率. 叶片向吸入口前伸并剪薄, 增加了叶道的长度, 减少了相对速度的扩散, 提高了泵的效率. 另外叶片向吸入口前伸并剪薄, 可以减小 $\lambda \frac{w^2}{2}$ 项, 提高叶轮的抗汽蚀性能.

2.1.2 叶轮出口直径

叶轮出口直径 D_2 和叶片出口角 β_2 等出口几何参数, 是影响泵扬程的最重要的因素. D_2 按下式计算:

$$D_2 = K_{D_2} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (2)$$

式中 K_{D_2} 为叶轮出口速度系数, $K_{D_2} = (9.35 \sim 9.6) \left(\frac{n_s}{100}\right)^{-1/2}$, 其中比转速 n_s 小时取大值; 而比转速大时取小值. 本设计中 $n_s = 131.2$, 选择 $K_{D_2} = 9.4$.

2.1.3 叶轮出口宽度

$$b_2 = k_{b_2} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (3)$$

式中 $k_{b_2} = (0.64 \sim 0.7) \left(\frac{n_s}{100}\right)^{\frac{5}{6}}$.

2.1.4 叶轮叶片的出口安放角

泵中 β_2 通常在 $15^\circ \sim 40^\circ$ 内选择.

2.1.5 叶片绘型

利用方格网法进行.

2.2 设计结果

图2为叶轮水力模型图, 图3为压水室水力模型图.

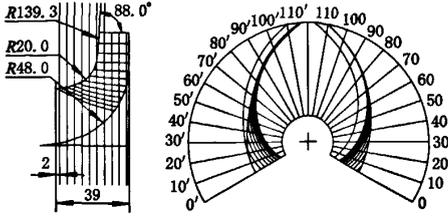


图 2 叶轮水力模型图
Fig. 2 Hydraulic patterns of impeller

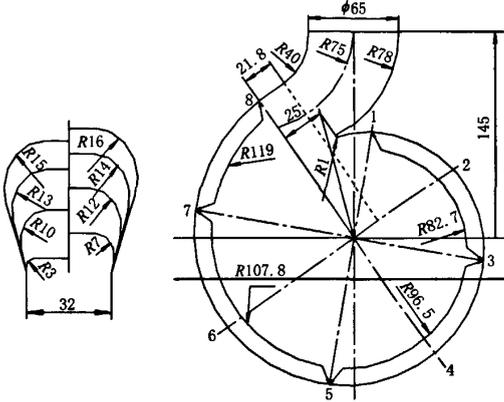


图 3 压水室设计图
Fig. 3 Diagram of pumping chamber

根据上述公式及原 CB80 - 65 - 125 型泵的参数,确定新型泵的几何参数为:叶轮进口直径 $D_1 = 70$ mm,叶轮出口直径 $D_2 = 138$ mm,叶轮出口宽度

$b_2 = 16$ mm,叶轮出口角 $\beta = 30^\circ$,叶片数 $Z = 6$,叶片包角 $\phi = 110^\circ$.压水室的基圆直径 $D_3 = 143$ mm,隔舌安放角 $\varphi_0 = 25^\circ$.根据轴面投影图,计算和校核离心泵叶轮间流道的过流面积和变化规律,使其均匀和平缓,从而降低泵内由于液体过流面积变化不均而产生的脉动。

3 数值模拟及结果分析

用 Pro/E 建立该泵内部流道的三维物理模型,建模时将过轴面投影图上叶轮出口中点的轴截面设为 $z=0$ 截面,进口方向为 z 轴正轴.采用 FLUENT 提供的标准 $k-\epsilon$ 模型,SIMPLEC 算法,模拟分析了设计工况点的内部流场.为显示叶轮进口附近的速度及静压力分布,在 FLUENT 中分别建立了 $z=0, 6, 12, 18, 24, 30$ mm 共 6 个截面.图 4 为 $z=0, 6, 12, 18, 24, 30$ mm 时数值模拟的叶轮进口附近的相对速度等值线分布图.由图 4 可知,叶轮进口附近各断面内流动及相对速度的扩散比较均匀,没有明显的涡流及边界层分离现象。

图 5 所示为 $z=0, 6, 12, 18, 24, 30$ mm 时叶轮进口附近静压力等值云图.由图 5 可知,叶片静压从进口到出口逐渐升高,压力等值线连续且平滑,总体上平行于叶片进口和出口,进口附近静压变化比较均匀。

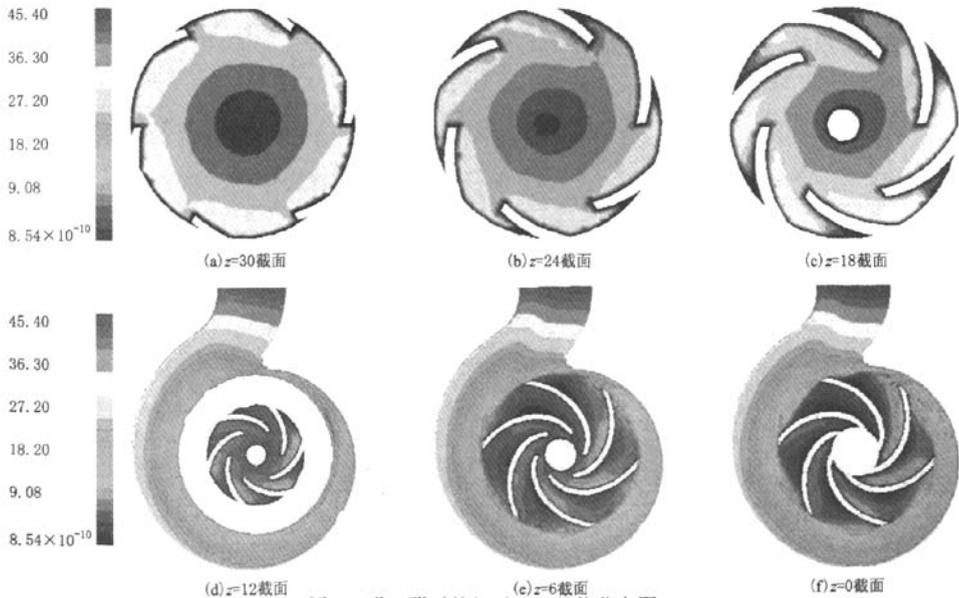


图 4 进口附近的相对速度等值分布图
Fig. 4 Relative velocity contour distributions around inlet

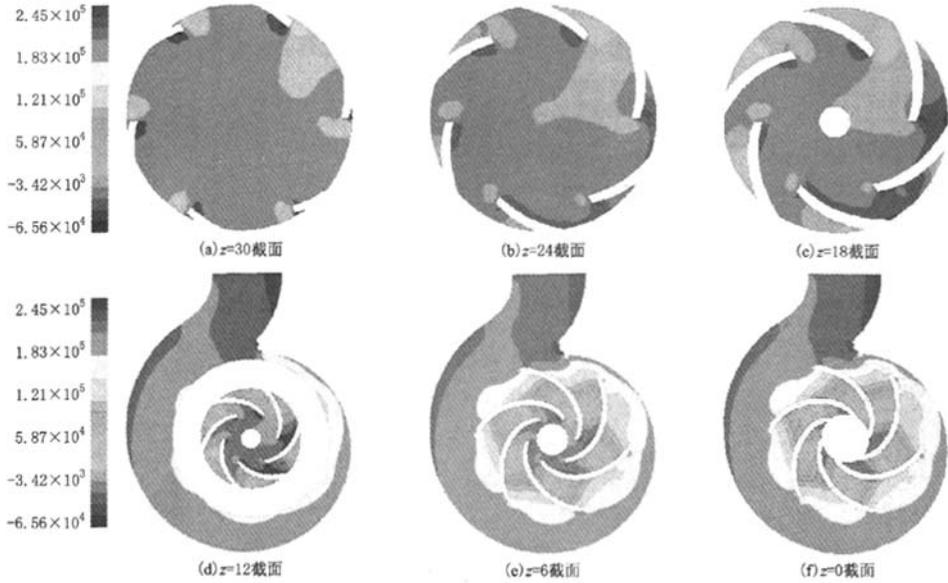


图5 进口附近静压力等值云图

Fig. 5 Static pressure contour distributions around inlet

4 试验结果分析

泵经试验中心检测,其试验结果如表1所示,

CB80-65-125 型泵的性能曲线如图6所示。由性能曲线可以看出,在设计工况点,泵的效率达到67.9%,与原型泵相比提高了4.4%,扬程为20.8 m,满足标准规定要求。因此,该设计是比较合理的。

表1 试验结果性能参数

Tab.1 Performance parameters of experiment

$Q/(m^3/h)$	0	8.4	12.9	18.6	25.0	30.7	37.0	42.9	50.5	57.0	61.7	66.0	66.5	66.5	66.5
H/m	17.9	21.3	23.2	23.6	23.4	23.0	22.5	21.9	20.8	19.6	18.4	14.6	12.6	11.6	11.4
$\eta/\%$	0	19.0	29.5	40.2	49.5	55.5	60.9	64.5	67.9	69.7	68.0	59.8	53.7	50.0	48.7
P/W	2 223	2 578	2 767	2 967	3 218	3 465	3 720	3 965	4 217	4 356	4 470	4 382	4 241	4 194	4 230

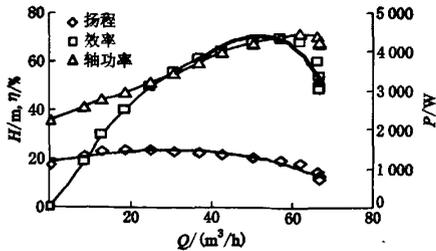


图6 性能曲线图

Fig. 6 Performance curves of pump

5 结论

1) 在设计中,叶片向吸入口前伸并剪薄,增加了叶道的长度,减少了相对速度的扩散,提高了泵的效率。另外叶片向吸入口前伸并剪薄,可以减小 $\lambda \frac{w^2}{2}$

项,提高叶轮的抗汽蚀性能。

2) 当减小泵的进口直径时,叶轮密封环的泄流量减少,容积效率提高,取较小的叶轮进口直径及较大的出口直径,增大了 u_2 ,减小了 u_1 ,可以使泵得到较高的扬程。

3) 将 FLUENT 应用于船用冷却泵的设计阶段,可以分析泵的设计是否合理,缩短泵的研发周期,减少试验次数,为新型泵的设计提供理论依据。

4) 由数值模拟的结果可以看出,新改进的泵,流道内水流的流动、静压分布及相对速度的扩散比较均匀,没有明显的漩涡及边界层分离现象;减小了流道内的冲击损失,提高了泵的运行效率。

5) 试验结果表明,新型船用冷却泵效率达到67.9%,比原型泵效率提高了4.4%,泵满足设计要求,设计合理,效率高,结构简单,重量轻。

参考文献 (References)

- [1] 袁寿其,刘厚林. 泵类流体机械研究进展与展望[J]. 排灌机械,2007,25(6):46-51.
Yuan Shouqi, Liu Houlin. Research progress and prospect on fluid machinery pumps[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007,25(6):46-51. (in Chinese)
- [2] 陈 飞. 船用离心泵抗泥沙防泄漏系统的设计方法[J]. 排灌机械,2007,25(5):13-16.
Chen Fei. Design method of sand resistant and leak proof system for marine centrifugal pumps[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007,25(5):13-16. (in Chinese)
- [3] 朱荣生,管荣国,付 强,等. 核电站冷却水循环泵模型试验[J]. 排灌机械,2008,26(2):49-52.
Zhu Rongsheng, Guan Rongguo, Fu Qiang, et al. Model experiment of circulating cooling water pump in nuclear power plant[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008,26(2):49-52. (in Chinese)
- [4] Khlopenkov P R. Optimization of centrifugal pumps[J]. *Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction)*, 1982,16(10):533-539.
- [5] Semenchuk A V. Comparative assessment of the noise and vibration of centrifugal and induction pumps[J]. *Chemical and Petroleum Engineering*, 1995,31(6):307-309.
- [6] 王 准,施卫东,蒋小平. 前伸式双叶片污水泵设计和通过能力试验[J]. 排灌机械,2008,26(3):26-29.
Wang Zhun, Shi Weidong, Jiang Xiaoping. Design and passage capacity sewage pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008,26(3):26-29. (in Chinese)
- [7] 施卫东,孙相春,陈培伦,等. 双“S”形叶轮浆料泵的设计与试验[J]. 排灌机械,2008,26(4):22-25.
Shi Weidong, Sun Xiangchun, Chen Peilun, et al. Design and experiment of slurry pump with dual“S”impeller [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2008,26(4):22-25. (in Chinese)
- [8] Fedorenko N D, Sukhinenko V E, Bondarenko G A. Basic scientific and technical problems of designing centrifugal pumps for the oil and gas industry[J]. *Chemical and Petroleum Engineering*, 1989,25(8):425-429.
- [9] Johann Friedrich Gülich. *Centrifugal Pumps* [M]. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008: 639-688.
- [10] Veselov V I. Effect of the outlet angle β_2 on the characteristics of low specific-speed centrifugal pumps[J]. *Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction)*, 1982:267-273.

(责任编辑 张文涛)

国家“863”课题《变量喷洒低能耗轻小型灌溉机组》年度交流会召开

5月10日,“863”课题组组长、江苏大学校长袁寿其带领江苏大学流体机械工程技术研究中心课题组成员前往河南新乡召开“十一五”国家“863”课题《变量喷洒低能耗轻小型灌溉机组》年度交流会。参加单位有江苏大学、中国农业机械化科学研究院和中国农业科学院农田灌溉研究所。

会上,子课题组研究人员详细汇报了各自的阶段进展情况,组长袁寿其与各单位专家就目前的工作开展情况进行了详细的讨论,并制定了下一阶段的工作计划。专家组成员认真听取了课题组的汇报,对该项目的阶段完成情况给予了充分的肯定,提出了许多宝贵的建议,并希望课题组在此基础上再接再厉,做出更多的特色与亮点。

会后,课题组成员参观考察了中国农业科学院农田灌溉研究所实验室,听取了相关专家的介绍并现场观看了阶段成果的样机试验及产业化情况。

(流体中心)