

浮动叶轮平衡腔内液体泄漏量特性试验*

刘在伦 何睿 范赢

(兰州理工大学能源与动力工程学院, 兰州 730050)

【摘要】 用专用设备模拟浮动叶轮的运行工况,对叶轮后密封环前后压力进行了直接测量,得出了后密封环前后压力与泵扬程的试验曲线,据此计算得到了浮动叶轮平衡腔内液体泄漏量特性曲线。试验解决了浮动叶轮平衡腔内液体泄漏量和压力的计算问题。

关键词: 浮动叶轮 后密封环 压力测量 平衡腔压力 液体泄漏量特性

中图分类号: TH311 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)09-0113-03

Fluid Leakage Characteristics Test on the Balance Cavity
of Floating Impeller

Liu Zailun He Rui Fan Ying

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract

Operating conditions of the floating impeller was simulated with special equipment, and the fore-and-aft pressure of the back seal ring on the impeller was measured directly. The test curves of fore-and-aft pressure of the back seal ring and pump head were obtained. Thus the fluid leakage curve of the balance cavity of the floating impeller was got. The study solved the calculation problem of chamber pressure and leakage calculation in balance cavity of the floating impeller.

Key words Floating impeller, Back seal ring, Pressure measurement, Pressure of balance cavity, Fluid leakage characteristics

引言

离心泵在运转时,在其转子上产生一个很大的作用力。由于此作用力方向与离心泵转轴的轴心线平行,故称为轴向力。轴向力对离心泵特别是多级离心泵设计和运转质量有很大的影响。离心泵平衡轴向力的方法有平衡孔、平衡管、背叶片、平衡鼓及平衡盘等方式。对多级离心泵,叶轮对称布置是最有效的平衡轴向力的方法,但其结构复杂^[1]。近年来,提出了浮动叶轮自动平衡水泵轴向力的新方法^[2~4]。叶轮采用双密封环,且加大了后密封环的直径,后密封环将叶轮与泵体间的腔体分为泵腔和平衡腔。叶轮轴孔与泵轴的配合是间隙配合,叶轮可在泵轴上上下自由移动。在泵盖上设计有止推轴

承,叶轮轮毂上开平衡孔,叶轮轮毂端面与止推轴承之间的间隙为叶轮在泵轴上的移动量。当轴向力使叶轮下移,叶轮轮毂端面与止推轴承的间隙增大,平衡腔内液体通过平衡孔的泄漏量增大,平衡腔内液体的压力降低,液体作用在后盖板侧的压力减少,而液体作用在前盖板侧的压力保持不变,这时形成了一个向上的合力,叶轮向上移动,使叶轮返回到平衡位置。与此相反,当轴向力使叶轮上移,叶轮轮毂端面与止推轴承的间隙减小,平衡腔内液体通过平衡孔的泄漏量减少,平衡腔内液体的压力增大,液体作用在后盖板侧的压力增大,而液体作用在前盖板侧压力仍保持不变,这时形成了一个向下的合力,叶轮向下移动,使叶轮又返回到平衡位置。可见,平衡腔内液体的泄漏量直接影响着平衡腔内液体的压力,

收稿日期: 2010-11-01 修回日期: 2010-12-31
* 国家自然科学基金资助项目(51079066)
作者简介: 刘在伦,教授,主要从事水泵设计理论与测试技术研究,E-mail: liuzl88@sina.com

而平衡腔内液体的压力大小决定叶轮的浮动状态。本文通过对浮动叶轮平衡腔内液体泄漏量特性的试验研究,旨在为其结构在工程中的应用提供理论依据。

1 平衡腔内液体泄漏量计算方法

平衡腔内液体的泄漏量等于叶轮后密封环液体的泄漏量,后密封环液体的泄漏量为^[5~6]

$$q_v = \psi F_m \sqrt{2g\Delta H} \tag{1}$$

其中
$$F_m = D_m \pi b$$

式中 F_m ——后密封环间隙过流断面面积, m^2
 D_m ——后密封环直径, m
 b ——后密封环间隙, m
 ΔH ——后密封环前、后压力差, m
 ψ ——流量系数

平直密封环的阻力系数由进口阻力系数、出口损失系数和沿程阻力系数组成,流量系数

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.5\eta + \frac{\lambda L}{2b}}} \tag{2}$$

密封环间隙的阻力系数 λ 可以根据雷诺数确定,一般情况下, $\lambda = 0.04 \sim 0.06$ 。考虑到密封环入口圆角 r 的效应会使局部损失大为减少,为此在计算流量系数时引入形状系数 η ,它与 r/L 值有关,当 r/L 为 0.20、0.10、0.08、0.06、0.04、0.02、0 时, η 为 0.06、0.22、0.28、0.38、0.52、0.72、1.0。

2 平衡腔内液体泄漏量特性试验

为了得到平衡腔内液体泄漏量特性,专门设计了如图 1 所示的装置。试验泵的设计参数为:流量 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 35 m,转速 1 480 r/min,比转数 87。

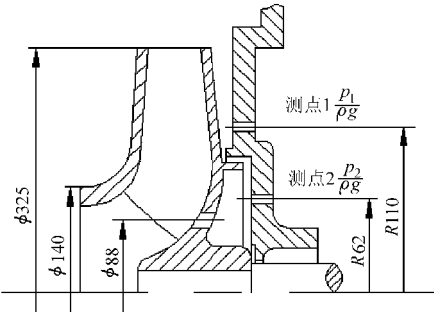


图 1 叶轮后密封环前、后压力测试装置示意图

Fig. 1 Picture of the fore-and-aft pressure test installation of the back seal ring

试验在兰州理工大学水泵闭式试验台上进行,泵的进、出口压力用 1151 型智能压力变送器测量;后密封环前、后压力用 YB-150 型标准压力表测量;流量用 LWGY-DN150 型智能涡轮流量计测量,

该流量计可实时显示流量;转速与功率用安装在泵与电动机之间的转速转矩传感器测量,并配一台转速转矩仪显示转速和功率。

试验中进行了两个方案的对比。方案 1 是在叶轮上开平衡孔,模拟浮动叶轮平衡孔全开状态;方案 2 是在叶轮上不开平衡孔,模拟浮动叶轮平衡孔全闭状态。

为求解叶轮盖板侧与泵体间压力,文献[1]在密封环正常情况下,假设叶轮盖板侧与泵体间的流体绕轴心线旋转的角速度为叶轮旋转角速度的一半,据此推导出的叶轮盖板侧与泵体间的压力 p 在任意半径 R 处为

$$\frac{p}{\rho g} = H_p - \frac{\omega^2}{8g}(R_2^2 - R^2) \tag{3}$$

式中 H_p ——叶轮势扬程
 ω ——叶轮旋转角速度
 R_2 ——叶轮外圆半径

由于该假设对叶轮盖板侧与泵体间的流体运动状况和叶轮盖板外表面压力分布缺乏定量分析,从而导致泵腔压力以及泄漏量计算不准确。为了便于研究叶轮盖板侧与泵体间的流动理论和精确计算其压力,本文给出了水泵扬程 H 与后密封环前、后压力 p_1 、 p_2 的试验曲线,如图 2 所示。

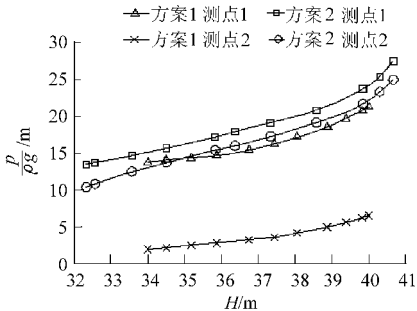


图 2 叶轮后密封环前、后压力与扬程的试验曲线

Fig. 2 Test curves of fore-and-aft pressure and head of the back seal ring

从图 2 可以看出,在叶轮不开平衡孔的情况下, p_1 、 p_2 随泵扬程变化几乎呈直线分布,且两曲线几乎平行,也就是说 p_1 和 p_2 的差值为常数。在叶轮开平衡孔后, p_1 、 p_2 曲线与不开平衡孔曲线比较差别较大,特别是 p_2 值与不开平衡孔时比较有很大的下降,这说明液体通过平衡孔的泄漏量对后密封环前、后的压力有较大影响。

由于后密封环液体的泄漏量无法测量,本文对后密封环液体的泄漏量按式(1)计算求得,式中各参数分别为 $\Delta H = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}$ ($\frac{p_1}{\rho g}$ 、 $\frac{p_2}{\rho g}$ 由试验测得),后密封环长度 $L = 18 \text{ mm}$,后密封环直径 $D_m = 165 \text{ mm}$,后密封环间隙 $b = 0.22 \text{ mm}$ 。

本文取 $\eta=0.28, \lambda=0.05$ 。由此可得平衡腔内液体泄漏量与扬程的关系曲线,如图 3 所示。

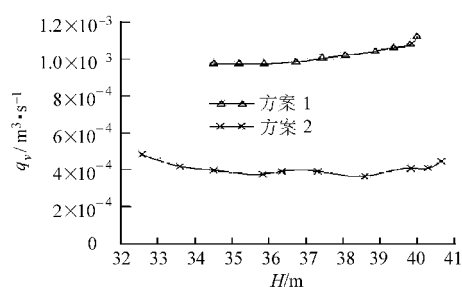


图 3 平衡腔内液体泄漏量与扬程的关系曲线
Fig.3 Curves of fluid leakage and pump head of the balance cavity

从图 3 可以看出,在不开平衡孔的情况下,即浮动叶轮平衡孔全闭状态,平衡腔内液体泄漏量随扬程的变化很小,几乎为常数。这是因为由于叶轮的

高速旋转,平衡腔内的液体受到离心力的作用,液体会成为一个整体随叶轮一起旋转,处于相对平衡状态。开平衡孔后,即浮动叶轮平衡孔全开状态,平衡腔内液体泄漏量随着泵扬程的增大而增大。平衡腔内液体的流动是由叶轮的旋转和平衡孔泄漏共同引起的,且液体通过平衡孔泄漏引起的流动为主流,所以平衡腔内的压力与不开平衡孔时比较有很大的下降。

3 结束语

用专用设备模拟浮动叶轮的运行工况,试验得到了叶轮后密封环前、后压力与扬程的试验曲线,计算得到了平衡腔内液体泄漏量的特性曲线。试验解决了浮动叶轮平衡腔内液体泄漏量和压力的计算问题,可根据这些曲线确定相似泵叶轮后密封环的几何尺寸和叶轮平衡孔的总面积以及水泵轴向力。

参 考 文 献

- 1 关醒凡. 泵的理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- 2 张翼飞,全晓龙. 离心泵轴向力的自动平衡法[J]. 水泵技术,2005(4):27~28.
Zhang Yifei, Tong Xiaolong. The axial automatic balance method of centrifugal pump[J]. Pump Technology, 2005(4):27~28. (in Chinese)
- 3 阮志坤,周叔萍. 浮动叶轮自动平衡离心泵轴向力的原理与实践[J]. 水泵技术,2002(5):29~32.
Ruan Zhikun, Zhou Shuping. The principle and practice of the floating impeller automatic balance of the centrifugal pump axial [J]. Pump Technology, 2002(5):29~32. (in Chinese)
- 4 马威,邹立莉. 屏蔽泵轴向力自动平衡装置的研究[J]. 流体机械,2002,30(5):35~37.
Ma Wei, Zou Lili. The research of automatic balance device of the shield pump axial[J]. Fluid Machinery, 2002, 30(5):35~37. (in Chinese)
- 5 顾永泉. 流体动密封[M]. 北京:石油大学出版社,1990.
- 6 刘在伦,魏烈江,齐学义,等. 新型轴向力平衡装置间隙泄漏量的计算[J]. 农业机械学报,2005,36(12):74~76.
Liu Zailun, Wei Liejiang, Qi Xueyi, et al. Calculation of gap leakage flow rate in new axial thrust device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(12):74~76. (in Chinese)
- 7 刘在伦,王保明,梁森. 浮动叶轮平衡腔内压力的试验分析[J]. 排灌机械,2007,25(5):6~8.
Liu Zailun, Wang Baoming, Liang Sen. Experimental study on the pressure in the balance of floating impeller[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2007,25(5):6~8. (in Chinese)

(上接第 119 页)

- 6 何芳. 生物质热解液化过程分析和试验[D]. 上海:上海理工大学,2004.
He Fang. Process analysis on biomass flash pyrolysis for liquids and experiments [D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2004. (in Chinese)
- 7 李永军,易维明,柏雪源,等. 下降管式生物质热解液化技术中的除尘设备[J]. 农机化研究,2009(4):187~190.
Li Yongjun, Yi Weiming, Bai Xueyuan, et al. Selection and experimental analysis of dust filter in the down flow tube reactor for biomass fast pyrolysis liquefaction [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(4):187~190. (in Chinese)
- 8 李志合,易维明,李永军. 等离子体加热流化床反应器的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(4):66~69.
Li Zhihe, Yi Weiming, Li Yongjun. Design and experimental study of fluidized bed heated by plasma flow jet [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(4):66~69. (in Chinese)