

海水柱塞泵的低泄漏高效率研究

胡国庆,李世伦*,葛耀峥,侯继伟,顾临怡
(浙江大学 流体传动及控制国家重点实验室,浙江 杭州 310027)

摘要:以海水作为介质时,柱塞泵通常存在泄漏大、容积效率低等缺点。为了研究海水柱塞泵的低泄漏高效率性能,优化柱塞泵性能,建立了海水柱塞泵配流阀的数学模型,推导出了配流阀弹簧刚度、预紧力和阀芯开度的优化设计公式,同时利用 AMESim 对泵进行了建模和仿真,仿真结果表明:根据前述优化设计公式设计时,通过选取合适的参数,可以减小海水泵的泄漏量,提高泵的容积效率,为以后此类泵配流阀的设计提供了理论依据。

关键词:海水泵;配流阀;优化设计;AMESim

中图分类号:TH122;TH322;TH137.5

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)05-0542-03

Low leakage and high volumetric efficiency research of seawater plunger pump

HU Guo-qing, LI Shi-lun, GE Yao-zheng, HOU Ji-wei, GU Lin-yi

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A plunger pump has shortcomings that large leakage and low volumetric efficiency when the media is seawater. In order to research the capability of low leakage and high volumetric efficiency, optimize the pump's performance, a mathematic model of flat valve in the seawater plunger pump was established. The optimal design formulas about spring stiffness, preload and opening in flat valve were derived, and AMESim was used to establish the model and simulation. The simulation result demonstrates that the leakage is decreased and the volumetric efficiency is increased on the basis of optimal design formulas as mentioned earlier. And it supplies theoretical basis for the design of same type seawater plunger pump and flat valve.

Key words: seawater plunger pump; flat valve; optimization; AMESim

0 引言

座阀配流式的柱塞泵具有密封性能好、对污染不敏感,输出压力高等优点^[1]。但是当采用海水为介质时,常常会出现容积效率低下的问题。这一方面的缺陷是由于柱塞直径和行程与配流阀的参数选择不匹配所导致的。为了使泵获得最佳性能,必须通过建立数学模型,分析各项参数的影响,并对上述参数进行仿真优化,以得到一个最佳匹配关系。

本研究以三柱塞海水柱塞泵为例,建立仿真模型,通过仿真研究弹簧刚度、预紧力和配流阀开度大小对泵容积效率的影响,并建立上述参数之间的匹配关系。

1 海水柱塞泵的结构原理

阀配流式柱塞泵的结构图如图 1 所示,电机带动曲轴旋转,连杆套在曲轴上,与柱塞通过螺钉铰接,使曲轴的旋转运动转换为柱塞的直线运动,曲轴上 3 个曲柄互成 120°。泵头每个柱塞端分别有两个配流阀:

一个作为进水口;一个作为出水口。当柱塞在连杆的带动下朝右运动时,进水口单向阀开启,海水被吸入柱塞腔内。当柱塞在连杆的带动下朝左运动时,柱塞腔容积减小,被吸进的海水受压,推动出水单向阀开启,排出海水。

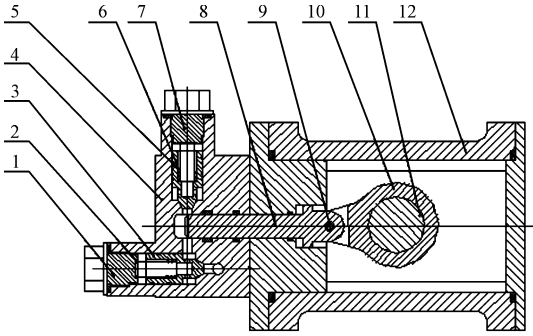


图1 三柱塞海水柱塞泵结构图

1—吸入阀封头;2—吸入阀弹簧;3—吸入阀阀芯;4—泵头;5—排出阀弹簧;6—排出阀阀芯;7—排出阀封头;8—柱塞;9—联接螺钉;10—连杆;11—曲轴;12—曲轴箱

2 海水柱塞泵配流阀数学模型

配流阀的运动规律,总的来说取决于柱塞工作腔里的压力变化和阀上的载荷,但是影响两者的因素很复杂,因此,在研究配流阀的运动规律时作如下假定^[2-6]:

- (1) 输送的介质为不可压缩的液体;
- (2) 满足流体连续性条件;
- (3) 略去阀芯导向的摩擦力和介质粘性对阀运动的阻力。

根据上述假定可知:

- (1) 阀运动时流体的连续方程:

$$\beta_s A_x v_x = A_K v_K - A_f h' \quad (1)$$

且:

$$A_K v_K = Au \quad (2)$$

式中: β_s —阀隙截面收缩系数; A_x —阀隙当量环形面积; v_x —阀隙流速; A_K —阀座孔当量截面积; v_K —阀座孔流速; A_f —阀板面积; h' —阀板速度,开启为正; A —柱塞截面积; u —柱塞瞬时速度。

- (2) 阀运动状态的力平衡方程:

$$F_{ij} = F_{hf} - F_{gx} \quad (3)$$

式中: F_{ij} —推举力,指向阀开启方向; F_{hf} —恢复力,指向阀关闭方向; F_{gx} —阀板运动惯性力,与阀板加速度方向相反。

- (3) 配流阀参数的设计计算式^[7-8]为:

$$\begin{cases} K_1 = 0.684 K_h K_3 \left(\frac{d_K}{h_{\max}} \right)^2 \\ F_0 = \left[\frac{d_K \omega^2}{g} K_1 - \left(1 - \frac{\gamma_j}{\gamma_f} \right) \right] G_f \\ K_4 = 0.410 K_h^4 K_3 \left(\frac{d_K}{h_{\max}} \right)^3 + 1 \\ C = \frac{G_f \omega^2}{g} K_4 \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$K_h = \frac{\sqrt{2(1+2\lambda^2 + \sqrt{1+8\lambda^2})^3}}{(1 + \sqrt{1+8\lambda^2})^2} \quad (5)$$

$$K_3 = \frac{\zeta_1 \pi \gamma_j (SD)^2}{512 G_f d_K^3 \sin^2 \alpha} \quad (6)$$

把式(5,6)代入式(4)可得 F_0 、 C 和 h_{\max} 关系式:

$$F_0 = (\delta C - \beta) h_{\max} - \chi \quad (7)$$

$$C = \frac{\varepsilon}{h_{\max}^3} + \varphi \quad (8)$$

其中:

$$\delta = 1.668 / K_h^3, \beta = 1.668 G_f \omega^2 / g K_h^3, \chi = (1 - \gamma_j / \gamma_f) G_f, \varphi = G_f \omega^2 / g, \varepsilon = 0.410 K_h^3 K_3 d_K^3 \varphi_0$$

式中: K_1 、 K_3 、 K_4 、 K_h —无因次系数, d_K —阀座孔当量直径, h_{\max} —当量升程, F_0 —弹簧预装力, ω —曲轴角速度, γ_j —介质重度, γ_f —阀板和弹簧的重度, G_f —阀板和弹簧等可动件的重量, C —弹簧刚度, λ —连杆比, ζ_1 —当量系数, S —柱塞行程, D —柱塞直径, α —锥阀半锥角。

3 海水柱塞泵仿真分析

3.1 建立模型

本研究在 AMESim 的草图模式下建立海水柱塞泵液压系统的仿真模型^[9-10]。根据海水柱塞泵的具体要求,笔者搭建了系统模型,在子模型模式中根据实际需要为每个元件选择了一个数学模型。建立的海水柱塞泵模型如图2所示。

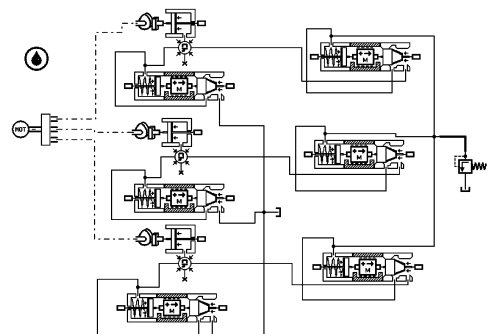


图2 AMESim 中海水柱塞泵液压系统模型

3.2 设置参数

在参数模式下为每个子模型设置参数。设计的海水柱塞泵主要参数如下:额定流量为 4 L/min,最高压力为 10 MPa,电机功率为 0.75 kW,电机转速为 3 000 r/min,柱塞数目为 3 个,柱塞行程为 4 mm,柱塞直径为 12 mm,工作液为海水。

为模拟深海压力环境,初始设定仿真参数如下:吸入/排出阀直径为 10 mm,阀芯质量为 4.3 g,锥阀直径为 10,锥长为 3,半锥角为 40°,泵吸入压力为 45 MPa,溢流阀开启压差为 10 MPa,油箱压力 45 MPa。

此时计算上述公式可得如下参数:

$$\delta = 1.526, \beta = 0.21, \chi = 3.87 \times 10^{-4}, \varphi = 0.138, \varepsilon = 0.584$$

代入上述表达式(7,8)可得:

$$F_0 = (1.526C - 0.21)h_{\max} - 3.87 \times 10^{-4} \quad (9)$$

$$C = \frac{0.584}{h_{\max}^3} + 0.1378 \quad (10)$$

3.3 典型实例的仿真

分别设定:

- (1) 吸入/排出阀阀芯开度为 0.6 mm,可计算得弹簧刚度为 2.84 N/mm,初始预压力 2.48 N;
- (2) 吸入/排出阀阀芯开度为 0.5 mm,弹簧刚度为 4.81 N/mm,初始预压力 3.57 N;
- (3) 吸入/排出阀阀芯开度为 0.4 mm,弹簧刚度为 9.263 N/mm,初始预压力 5.57 N。

在运行模式中设置运行时间为 0.1 s,采样周期为 0.001 s,点击开始运行,得到的仿真结果如图 3~图 6 所示。

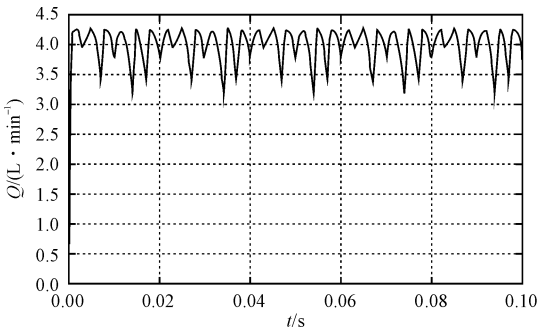


图 3 $h_{\max} = 0.6$ mm 时泵流量曲线

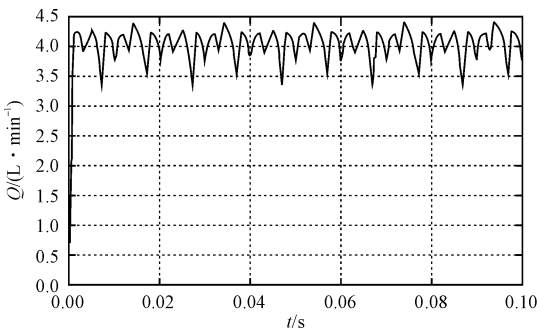


图 4 $h_{\max} = 0.5$ mm 时泵流量曲线

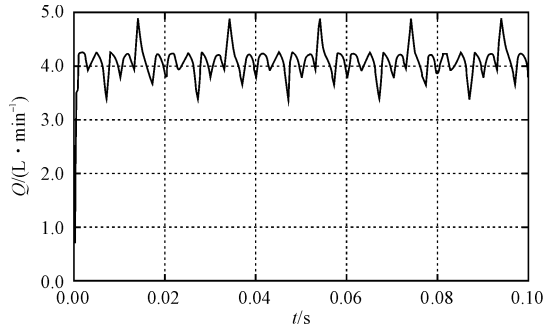


图 5 $h_{\max} = 0.4$ mm 时泵流量曲线

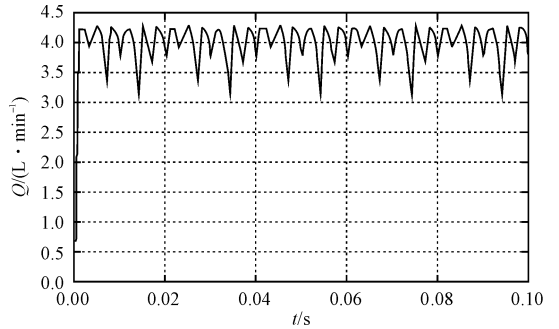


图 6 $h_{\max} = 0.3$ mm 时泵流量曲线

从图 3~图 6 所示的仿真结果中可以看出:根据上述设计公式设计的参数,能够显著提高海水柱塞泵的容积效率;通过减小配流阀开度,相应地增大弹簧刚度和预紧力,可以提高泵的出口流量;但是配流阀的开度也不能无限制地减小,当减小到一定程度时,图示为 $h_{\max} = 0.4$ mm,继续减小开度会降低泵的出口流量。

在 $h_{\max} = 0.4$ mm 以下时,导致泵流量降低的原因在于:配流阀的开度越小,一方面配流阀开启越困难,另一方面配流阀开启时水的流速就越大,这样阻力损失就越大,会导致吸入困难,使泵的流量降低。

4 结束语

本研究通过泵配流阀的数学模型,建立了配流阀弹簧预紧力 F_0 、弹簧刚度 C 和配流阀开度 h_{\max} 之间的优化设计公式,通过仿真分析可知:上述优化设计公式适用于海水泵配流阀的设计^[11-12]。

研究表明,海水泵配流阀弹簧刚度小和配流开度大,使配流阀关闭不及时,会引起配流阀泄漏变大,造成容积效率下降,所以应在一定范围内增大弹簧刚度,但是过高的弹簧刚度和过小的配流阀开度会造成阀开启压力损耗过大,同样降低泵的出口流量,容积效率也会下降。因此,无泄漏高效率海水泵配流阀的参数选择,应该根据上述优化公式的计算和建立的仿真模型来具体分析。

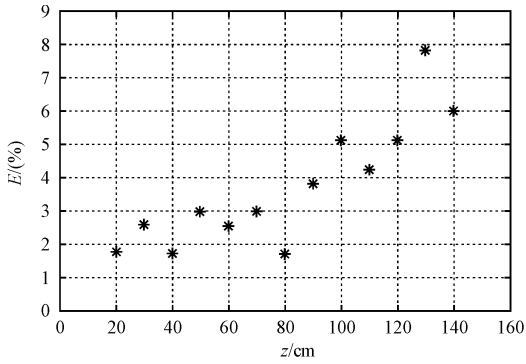


图 13 测量距离误差变化 E-z 曲线

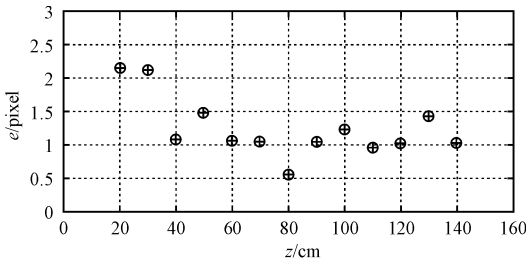


图 14 测量视差偏差变化 e-z 曲线

5 结束语

本研究通过对水下机器人机械手视觉定位系统的分析,设计出一套能进行水下双目摄像机视觉定位的系统。针对水下环境的特殊性,本研究设计出一种水下密封保护装置和水下标定方法,并通过标定得到在透镜、密封盖、水三重透视系统下的摄像机内参和3个畸变参数。最后,针对传统较为复杂的射线相交坐标点提取法,提出一种较为简单的前向平行校正定位算法,并通过实验验证了该算法具有较高的准确度和适用范围。该系统后续设计中,可将获得的坐标值输入

机械手控制器,引导机械手进行水下视觉定位操作。

参考文献 (References):

- [1] 邱联奎. 基于机械手的视觉伺服控制及其应用研究[D]. 合肥:中国科学技术大学自动化系,2006:16-17.
- [2] BASRI R, RIVLIN E, SHIMSHONI I. Image-based Robot Navigation under the Perspective Model[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Detroit: [s. n.], 1999:2583-2587.
- [3] 胡震,袁小海,陈荣盛,等. 用于目标检测和精确定位的水下机器人视觉系统[J]. 中国造船,2000,41(2):89-94.
- [4] HOLLINGHURST N, CIPOLLA R. Visually guided gasping in unstructured environments[J]. **Journal of Robotics and Autonomous Systems**,1997(19):337-346.
- [5] 邱联奎,雷建和,宋全军,等. 基于立体视觉的机械手未知平面内曲线跟踪[J]. 传感技术学报,2007,20(2):293-297.
- [6] 肖心远,石永华,王国荣,等. 机器人水下焊缝跟踪中双目立体视觉系统[J]. 焊接设备与材料,2009,38(1):37-40.
- [7] SLAMA C C. Manual of Photogrammetry[M]. 4th ed. Maryland: American Society of Photogrammetry,1980.
- [8] 徐杰,王宗义,刘涛. 水下图像的校正[J]. 黑龙江科技学院学报,2008,18(2):133-136.
- [9] 张广军. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [10] ZHANG Zhen-you. Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra: [s. n.], 1999:666-673.
- [11] 张钧,张宏,刘小茂,等. 双目立体视觉中物点定位的一种快速算法[J]. 信息与控制,2009,38(5):563-570.
- [12] BRADSKI G, KAEHLER A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library[M]. Sebastopol: O'Reilly Media,2008. [编辑:李辉]

(上接第544页)

参考文献 (References):

- [1] 路甬祥. 液压气动技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 朱华,战长松. 往复泵[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [3] COLLIER S L. Know your triplex mud pump-part 5: value behavior must be clearly understand[J]. **World Oil**,1982,194(4):109-114.
- [4] BARRY W R. Plunger pump development appears promising[J]. **World Oil**,1972,184(4):78-82.
- [5] Reed Tool Company. How to Get the Most from Mud Pump Parts[M]. Petroleum Times,1976.
- [6] RAO S S. Optimization Theory and Applation[M]. 2nd ed. Wiley Eastern Limited,1984.
- [7] 《往复泵设计》编写组. 往复泵设计[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [8] 闫国军,赵军明. 往复泵阀运动规律的研究[J]. 中国机械工程,2004,15(18):1617-1619.
- [9] 孟英峰. 往复泵运动规律的建模与仿真[J]. 石油机械,1995,23(5):16-20.
- [10] 付永领,祁晓野. AMESim 系统建模和仿真-从入门到精通[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [11] 陈绍. 阀控液压转向系统的仿真与分析[J]. 现代制造技术与装备,2009(2):77-80.
- [12] 亓立军,孙文涛,戚大波. 一种新型高炉重力除尘器排灰阀的研制与应用[J]. 现代制造技术与装备,2009(4):34. [编辑:张翔]