

doi:10.3969/j.issn.1008-0813.2021.10.001

轴向柱塞泵配流盘的球面半径最佳取值范围分析

杨国来^{1,2}, 张中成¹

(1. 兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050;
2. 浙江大学 流体动力与机电系统重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 目前,国内外研究人员对球面配流的轴向柱塞泵的研究还不是很透彻。而球面配流与平面配流的轴向柱塞泵相比较,在缸体的对中性以及抗倾覆力矩性能上好很多。该文针对球面配流盘的轴向柱塞泵,以 A4V250 型柱塞泵作为研究对象,初步选取球面配流盘的半径为 170 mm,利用 solidworks 建立其三维模型。然后运用有限元仿真软件 workbench 对轴向柱塞泵的球配流盘进行仿真分析,最终得到配流盘球面半径的最佳取值范围。

关键词: 轴向柱塞泵; 配流盘; 球面半径; workbench

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2021)10-0001-04

Analysis on Spherical Radius Optimum Value Range of Axial Piston Pump Port Plate

YANG Guo-lai^{1,2}, ZHANG Zhong-cheng¹

(1. College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;
2. State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronics Systems, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: At present, the research on the axial piston pump with spherical flow distribution is not very thorough. Compared with the axial piston pump with the plane flow distribution, the spherical piston pump has much better performance of centering and anti overturning torque. In this paper, for the axial piston pump with spherical port plate, a4v250 plunger pump is taken as the research object. The radius of spherical port plate is 170 mm, and its three-dimensional model is established by SolidWorks. Then, the finite element simulation software workbench is used to simulate and analyze the ball port plate of the axial piston pump, and the optimal value range of the spherical radius of the valve plate is obtained.

Key words: axial piston pump; valve plate; spherical radius; workbench

0 引言

轴向柱塞泵是液压系统中的重要动力元件之一,它的性能决定了液压系统的性能好坏。在问题的困难程度、复杂程度、设计工作量等方面,球面配流副的设计占有着重要的地位,都是设计的核心部分^[1]。

配流副是柱塞泵的关键摩擦副之一,其受力情况影响着整个柱塞泵的性能。国内外的诸多学者也投入大量的精力来研究配流副。

周士瑜教授对球面配流进行了大量的研究。结果表明,球面配流副的缸体的倾斜方向和油膜间隙都是时刻在变化的。上海交通大学的陈兆能对轴向柱塞泵的流量脉动情况进行了系统的试验研究。他认为对柱

塞泵球面配流副的结构进行优化可以改善柱塞泵的流量脉动特性、降低轴向柱塞泵的流体噪声^[2]。安徽理工大学的邓海顺借鉴某些平面配流副的研究经验,从分析球面配流副的运动学出发,推导出了球面固定缝隙流的压力分布方程和流量方程。从理论上完善球面配流理论并提出了一种验算球面配流副的轴向柱塞泵的传动机构参数的方法^[3]。王伟对轴向柱塞泵的力学规律和运动规律做了探讨,同时也研究了球面配流的轴向柱塞泵的缸体和柱塞之间摩擦副相关理论。

1 轴向柱塞泵的工作原理

如图 1 所示。轴向柱塞泵主要由缸体、斜盘、柱塞、配流盘、主轴等零件构成。配流盘和斜盘是固定的,主轴带动缸体和柱塞一起旋转。当柱塞由上死点转到下死点位置时,柱塞逐渐向缸体内伸入,使工作腔容积不断减小,将油液从配油盘另一窗口向外压出;当柱塞由下死点转到上死点位置时,柱塞逐渐由缸体向

收稿日期: 2020-11-13

基金项目: 国家重点实验室开放基金(GZKF-201823)

作者简介: 杨国来(1963-),男,满族,辽宁沈阳人,教授,硕士,主要从事液压技术方面的科学和教学工作。

外伸出,缸体内工作容积不断增加,从而将油液经配流盘上的配油窗口吸入。缸体每旋转一周,每个柱塞往复运动一次,完成一次吸油和排油动作。

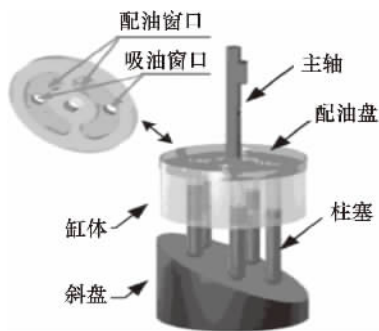


图1 轴向柱塞泵原理图

2 A4V250 轴向柱塞泵球面配流盘的仿真分析

2.1 配流盘模型的建立及网格划分

A4V250 轴向柱塞泵的主要结构和工作参数如表 1 所示。

表 1 A4V250 型轴向柱塞泵基本参数

参数	数值
柱塞数目	7
缸体倾角 γ°	18
公称压力 MPa	30
公称排量 mL/r	25
额定转速 r/min	1500
球面半径 mm	170

缸体材料选用 Q345B 型钢,其弹性模量为 2.06×10^{11} Pa,泊松比为 $0.3^{[4]}$,在 workbench 中的参数设置如图 2 所示。

Properties of Outline Row 3: Q345B			
	A	B	
1	Property	Value	
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7850	kg m ⁻³
4	Isotropic Elasticity		
5	Derive from	Young's Modulus and Poiss...	
6	Young's Modulus	2.06E+11	Pa
7	Poisson's Ratio	0.3	
8	Bulk Modulus	1.7167E+11	Pa
9	Shear Modulus	7.9231E+10	Pa

图2 缸体的材料

对球面配流盘进行网格划分,共 35898 个单元网

格^[5],如图 3 所示。

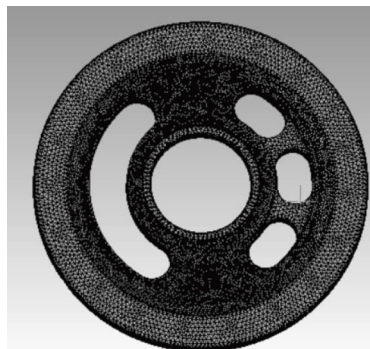


图3 配流盘网格划分

2.2 设置边界条件

1) 配流盘端面压力场的施加

轴向柱塞泵在工作时,配流盘和缸体之间存在一对方向相反的作用力,即油膜和配油窗口对缸体的分离力 p_f ,柱塞腔中高压油液对缸体产生的压紧力 $p_y^{[5]}$ 。

对奇数柱塞的液压泵而言,当 $\frac{1}{2}(Z+1)$ 个柱塞位于排油窗口的时候,压紧力 p_{y1} 为:

$$p_{y1} = \frac{Z+1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 p \quad (1)$$

式中, Z 为柱塞数目, d 为柱塞直径, p 为柱塞泵工作压力。

代入数据得:

$$p_{y1} = \pi \times 0.014^2 \times 30 \times 10^6 = 18.46 \text{ kN} \quad (2)$$

当 $\frac{1}{2}(Z-1)$ 个柱塞位于排油窗口的时候,压紧力 p_{y2} 为:

$$p_{y2} = \frac{Z-1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 p \quad (3)$$

代入数据得:

$$p_{y2} = \frac{3}{4} \pi \times 0.014^2 \times 30 \times 10^6 = 13.85 \text{ kN} \quad (4)$$

因此平均压紧力为:

$$p_{ym} = \frac{1}{2}(p_{y1} + p_{y2}) = 16.15 \text{ kN} \quad (5)$$

2) 高低压配流窗口载荷的施加

低压配流窗口处压力为标准大气压 0.1 MPa ,高压配流窗口处压力为 30 MPa ,在 workbench 中施加载荷如图 4 所示^[6]。

3) 配流盘的位移约束

由于配流盘只与壳体固定,因此将配流盘外缘面设置为固定约束。

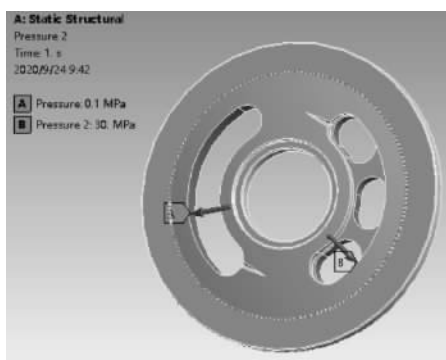
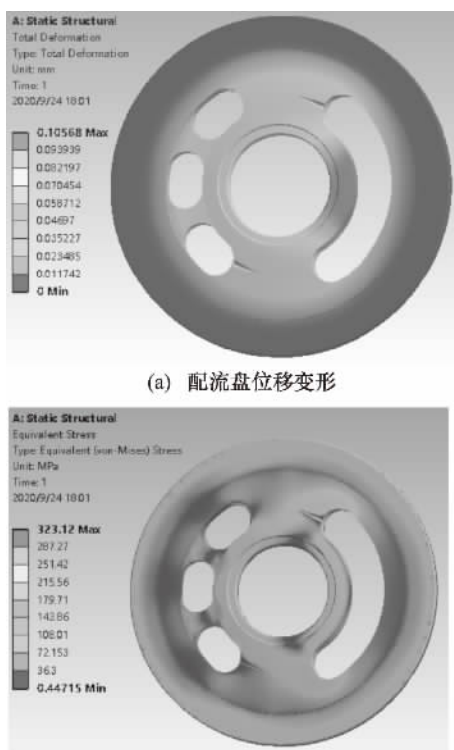


图4 配流盘载荷施加

4) 结果分析

在 workbench 中施加载荷和约束后,对球面配流盘进行静力学分析,其结果如图 5 所示^[7]。



(a) 配流盘位移变形

(b) 配流盘应力变形

图5 配流盘变形量

由图 4 可知配流盘最大的变形量为 0.10568 mm,最大应力变形为 323 MPa,由于本文所研究的配流盘选用的材料为屈服强度为 345 MPa 的合金钢,取安全系数 $n = 1.0$,缸体材料能承受的最大应力为 $\sigma = \sigma_s / n = 345$ MPa。图 5b 中配流盘最大应力为 323 MPa,小于 345 MPa,配流盘受力满足要求。

3 球面半径对配流盘受力的影响

在 workbench 中研究 A4V250 轴向柱塞泵的球面

配流盘在不同球面半径下的受力情况,得到图 6 所示配流盘的位移变形、应力变形与球面半径之间的关系。

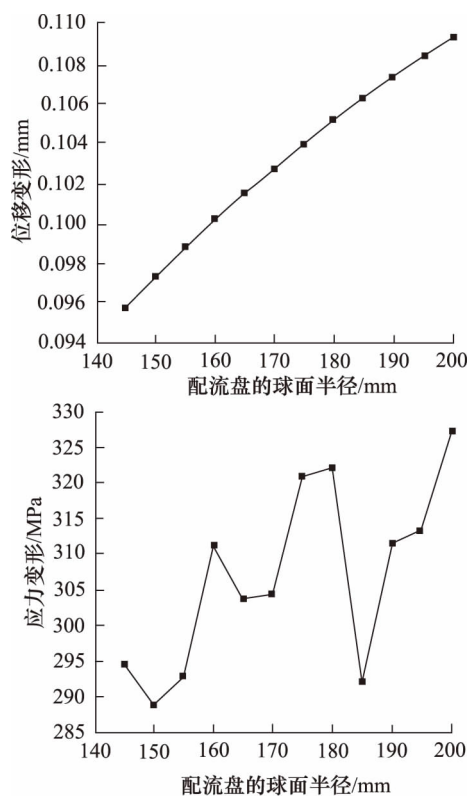


图6 不同球面半径下配流盘的位移变形、应力变形

由图 6 可知,随着球面半径的增加,配流盘的位移变形量也随之增长,而应力变形呈不规则的变化,图中可以看出球面半径在 165 ~ 170 mm 之间、175 ~ 180 mm 之间以及 190 ~ 195 mm 之间较为稳定,而在 165 ~ 170 mm 之间的位移变形量最小,是设计球面配流盘时其球面半径的最佳取值范围。

4 结论

本文针对 A4V250 轴向柱塞泵的球面配流盘,选取合适的材料,在满足配流盘力学性能前提下,通过改变配流盘的球面半径来对配流盘的位移变形以及应力变形进行分析,结果表明,当球面半径在 165 ~ 170 mm 之间时,配流盘的位移变形量和应力变形最小,为球面配流盘设计中其球面半径的最佳取值范围。

参考文献

- [1] 王伟. 轴向柱塞泵球面配流副理论研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
- [2] 张红. 液压技术的展望 [J]. 合肥联合大学学报, 2000, (04): 104 - 106.
- [3] 邓海顺. 轴向柱塞泵球面配流副的理论研究 [D]. 淮南: 安

船用高压细水雾灭火泵柱塞副间隙的优化设计

王海清¹, 贾国涛², 聂松林³, 尹方龙³

- (1. 海装广州局驻昆明地区第二军事代表室, 云南 昆明 650032;
- 2. 中船重工 705 所昆明分部, 云南 昆明 650032;
- 3. 北京工业大学 先进制造技术北京市重点实验室, 北京 100124)

摘要: 该文对船用高压细水雾灭火泵柱塞副开展了受力分析, 在综合考虑摩擦力和摩擦升温的前提下建立了柱塞副的泄漏量和热平衡分析模型, 开展了不同柱塞副间隙和工况下柱塞副的热平衡分析并获得了相应的变化规律, 并对柱塞副的初始配合间隙进行了优化, 提出了避免柱塞副卡死的技术措施, 研究结果可以为船用高压细水雾灭火泵柱塞副的结构优化, 提高柱塞泵综合性能提供理论依据。

关键词: 高压细水雾灭火; 水液压柱塞泵; 柱塞副; 热平衡; 配合间隙

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2021)10-0004-06

Optimization Design of Piston Pair Clearance for Marine High-Pressure Water Mist Fire Pump

WANG Hai-qing¹, JIA Guo-tao², NIE Song-lin³, YIN Fang-long³

- (1. Office of Second Naval Representatives in Kunming Area, Kunming 650032, China;
- 2. The 705 Kunming branch of China Ship Heavy Industry, Kunming 650032, China;
- 3. Beijing Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In this paper, the force analysis of the piston pair in marine high-pressure water mist fire pump is carried out. Under the premise of considering the friction and friction temperature rise, the leakage and heat balance analysis model of the piston pair is established. The heat balance analysis of the piston pair under different clearance and working conditions is conducted, and the corresponding change law is obtained. The initial clearance of the piston pair is optimized. The research results can provide a theoretical basis for the structural optimization of the piston pair of marine high-pressure water mist fire pump.

Key words: high pressure water mist fire; water hydraulic piston pump; piston pair; heat balance; fit clearance

0 引言

高压细水雾灭火技术由于具有用水量少(不需庞大储水设备)、环保(无二次污染)、经济(水资源来源

广泛)、安全(水雾对人和电器均无伤害)等优点,已经在舰船灭火系统中取得了广泛应用^[1-4]。

水液压泵是高压细水雾灭火系统的核心动力元件,由于柱塞泵结构较适合于低黏度介质,且关键摩擦副所受 pv 值相对较小,现有的船用细水雾灭火泵大多采用斜盘柱塞式结构。如图 1 所示为船用高压细水雾灭火泵结构图,该泵整体采用全水润滑盘配流式结构,关键摩擦副如斜盘-滑靴副、柱塞-缸体副、浮动衬

收稿日期: 2021-05-21

作者简介: 王海清(1980-),男,青海平安人,工程师,本科,研究方向为水中兵器。

徽理工大学,2005.

- [4] 《机械工程材料性能数据手册》编委会. 机械工程材料性能数据手册[M]. 北京: 机械工业出版社,1995: 759-762.
- [5] 路雨祥. 液压气动设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社,2002.

[6] 韩以伦,温学雷,王斌龙. 基于的液压缸的有限元分析及优化煤矿机械[J]. 2011,39(09): 94-96.

[7] 赵永富,许佳音,王海玲. 基于 ANSYS Workbench 的轴向柱塞泵配流盘温度影响分析[J]. 工程机械,2013,44(08): 9-12+40.