

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.05.043

一种双联内啮合齿轮泵的结构优化设计*

宋乾斌,费韬加,薛刚

(陕西法士特汽车传动工程研究院,陕西西安 710119)

摘要:针对一款变速箱的双联内啮合齿轮泵在实际运行过程中存在的泵容积效率低的问题,该文从泵的结构上进行了原因分析,在此基础上,通过增加后端盖、紧固螺钉等措施对泵进行了结构优化设计,同时对优化前、后的双联内啮合齿轮泵进行了试验对比测试,测试结果表明,优化后的双联内啮合齿轮泵的容积效率明显高于优化前的,说明此次结构优化设计改进能够减小泵的泄露,提高泵的容积效率,保证其工作的良好性能。

关键词:双联内啮合齿轮泵;结构优化设计;端盖;容积效率

中图分类号:TH137

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2024)05-0166-03

Structural Optimization Design of a Dual Internal Meshing Gear Pump

SONG Qian-bin, FEI Tao-jia, XUE Gang

(Shaanxi Fast Automobile Transmission Engineering Research Institute, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: In response to the problem of low pump volume efficiency in the actual operation of the dual internal meshing gear pump for a gearbox, the cause analysis is conducted on the pump structure. Based on this, the pump structure is optimized by adding rear end covers, fastening screws, and other measures; at the same time, comparative tests are conducted on the dual internal meshing gear pump before and after optimization. The test results show that the volumetric efficiency of the optimized dual internal meshing gear pump is significantly higher than that before optimization, indicating that the structural optimization design improvement can reduce pump leakage, thereby improving the volumetric efficiency of the pump and ensuring its good performance.

Key words: double internal meshing gear pump; structural optimization design; end cover; volumetric efficiency

0 引言

内啮合齿轮泵是一种应用非常广泛的液压元件,它在很多液压系统中担当着最为核心的作用,其工作状态是否正常直接关系到整个液压系统甚至是机械产品的安全稳定运行^[1]。液压技术的发展对内啮合齿轮泵有了更高的要求,主要表现在高压化、小型化、集成化等方面^[2-4],国内外学者也在这几个方面对内啮合齿轮泵进行了大量的研究分析。Yoshida 等设计的“Geocloid”齿形的内啮合齿轮泵可以在不改变排量的情况下减小内齿轮的尺寸^[5]。Biernacki 通过优化齿高系数 λ 和校正系数 ν 进而对摆线齿轮进行了优化设计^[6]。张建卓等根据内啮合齿轮泵的内齿轮在高速旋转的过程中容易发生胶合失效的现象,设计了一种静压支撑结构,改善了齿轮泵内齿圈胶合的现象^[7]。李宏伟运用 ANSYS 对内啮合齿轮泵的壳体强度及刚度进行了有限元分析,并根据仿真计算结果对壳体的应力集中区进行了改进,减少了壳体变形,改善了泵的整体性能^[8]。王健等提出了一种带径向补偿功能的内啮合齿轮泵,这种泵是通过月牙块径向平移运动来降低月牙块的偏磨强度的,此方式可减小齿顶与月牙块间的不均匀间隙^[9]。笔者以一款双联内

啮合齿轮泵为对象展开研究,此泵的容积效率较低,无法满足变速箱的使用要求,因此从双联内啮合齿轮泵的结构出发进行故障原因分析,在此基础上,对双联内啮合齿轮泵的结构进行了优化设计。所研究成果对内啮合齿轮泵的结构设计具有实际的参考作用。

1 双联内啮合齿轮泵工作原理及存在的问题

1.1 双联内啮合齿轮泵工作原理

双联内啮合齿轮泵是一种将两个内啮合齿轮泵集成到一个泵体上的集成泵,两个泵共用一根泵轴和一个吸油口,这种泵的工作原理与单个内啮合齿轮泵是一样的,依然是利用容积腔体周期性变化来达到输送油液的目的。双联内啮合齿轮泵具有结构紧凑、传动布置方便的特点,同时两个泵的压力和排量可以根据实际的液压需求分别设计制造,这样更能满足液压系统复杂的压力及流量需求。文中研究的双联内啮合齿轮泵的两个泵排量及额定压力不同,泵 I 的排量为 35 mL/r,额定压力为 28 bar;泵 II 的排量为 40 mL/r,额定压力为 2 bar。

该双联内啮合齿轮泵主要由泵 I、泵 II、泵轴、泵体、前端盖、固定法兰、衬套等组成,泵轴与泵体之间用衬套支撑连接,具体结构如图 1 所示。

* 收稿日期:2024-01-15

作者简介:宋乾斌(1993-),男,甘肃天水人,硕士,工程师,主要从事液压系统设计及测试方面的工作。

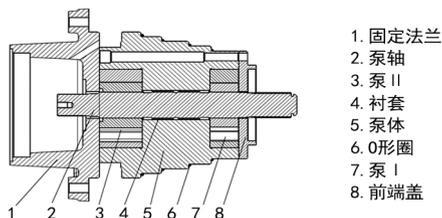


图1 双联内啮合齿轮泵结构示意图

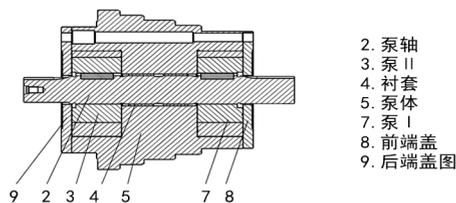


图2 优化后的双联内啮合齿轮泵结构示意图

1.2 原因分析

该双联内啮合齿轮泵在实际运行过程中,主要的故障表现是泵的容积效率低,无法满足变速箱的液压需求,造成这种现象的主要原因是泵泄露。泵泄露具体包含两种形式,第一种是泵间泄露,第二种是单个内啮合齿轮泵的轴向间隙泄露。结合图1,从结构上分别对两种形式的泄露进行分析说明。理想状态下,双联内啮合齿轮泵是靠固定法兰压紧配合,整个泵完全安装在变速箱壳体内部,各个台阶处均有O形圈密封,螺栓将固定法兰固定在变速箱壳体上,双联内啮合齿轮泵泵I和泵II的配流盘是由前端盖和固定法兰充当,这种情况下,O形圈压缩率符合设计要求,密封性能良好,同时两个泵的轴向间隙也会在设计范围内,整个泵的内泄露不会超过设计规定值。但是如果固定法兰安装不到位,则会存在双联内啮合齿轮泵轴向定位不准确的问题,首先O形圈压缩受到影响,密封性能下降,泵间泄露增大,油液会从泵体上的进、出油口处泄露。同时,由于前端盖和固定法兰与泵体之间没有连接固定,这就使得泵I和泵II的轴向间隙不受控制,泵轴向间隙增大,则泄露量增大。而且在变速箱实际的工作过程中,如果泵的轴向窜动过大,严重时可能会发生烧泵事故。

2 结构优化设计

从前面的原因分析可以知道,泵容积效率低的原因是由两种泄露引起的,那么为了提高泵容积效率,则应该考虑从减小泄露出发对双联内啮合齿轮泵进行优化设计。首先,从泵结构图上可以看出,泵I和泵II的配流区分别在前端盖和固定法兰上,同时前端盖和固定法兰并没有与泵体连接固定,这样造成了泵I和泵II的轴向间隙不受控制。因此要提高泵的容积效率的前提,就是要对两个泵的轴向间隙进行严格控制。文中从泵的结构上分析研究,对前端盖进行结构改进,在其上面增加螺钉孔,使用螺钉将其固定在泵体上,同时增加后端盖,将泵II的配流区由固定法兰改进到后端盖上,后端盖同样用螺钉固定在泵体上,这样整个泵是封装形式的,泵I和泵II的轴向间隙完全摆脱了之前的影响,具体优化设计的结构如图2所示。端盖正、反结构如图3所示。

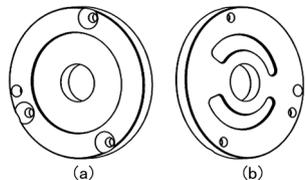


图3 端盖正、反面结构示意图

完成双联内啮合齿轮泵结构上的优化设计,使其两个泵的轴向间隙得到控制的基础上,对泵的轴向定位进行优化设计。目前轴向定位的合格标准是固定法兰的螺钉拧紧扭矩值达到设计要求值,即认为轴向定位合格,这种评判标准没有考虑固定法兰、变速箱壳体安装面和台阶孔的尺寸公差和平面度等的影响。要对轴向定位进行控制,则必须保证双联内啮合齿轮泵装配到位,所以要求装配前,固定法兰、变速箱壳体台阶孔的尺寸要求全部符合图纸要求。将双联内啮合齿轮泵装进变速箱壳体,再用螺钉将固定法兰的螺钉拧紧,当拧紧力矩满足扭矩设计要求值时,用塞尺测量固定法兰与变速箱壳体安装面之间的间隙,间隙值要求 $0.04\sim 0.06\text{ mm}$,如果不满足这个间隙要求值,则认为泵的轴向定位不准确,反之则认为泵的轴向定位合格。具体结构示意图如图4所示。

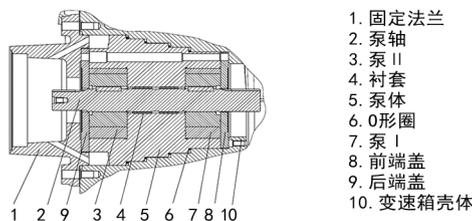


图4 改进后双联内啮合齿轮泵轴向定位示意图

3 试验验证

为了验证双联内啮合齿轮泵的结构优化设计是否提高了泵容积效率,搭建双联内啮合齿轮泵测试试验台,试验台的原理如5所示。其中,过滤器过滤油液中的杂质,调压节流阀控制泵的出口处压力,流量计测量泵的流量。

此次对比测试选取两套泵,第一套是改进前的双联内啮合齿轮泵,所有零件及结构全部与之前保持一致;第二套是增加了后端盖的优化后的双联内啮合齿轮泵,其余零件也相应做了优化设计,同时按照优化

改进过的方法进行轴向定位。为了保证对比测试结果的准确性,所有试验条件均保持一致。应用该试验台测试改进前后泵在额定压力及不同转速下的容积效率,具体结果如图6所示。

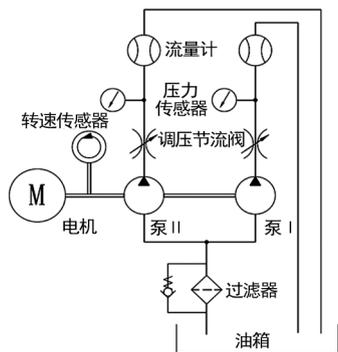
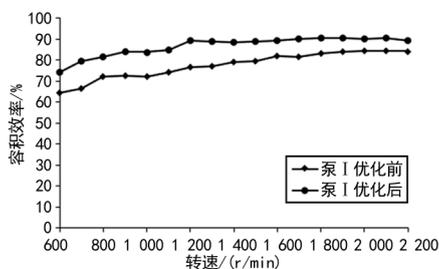
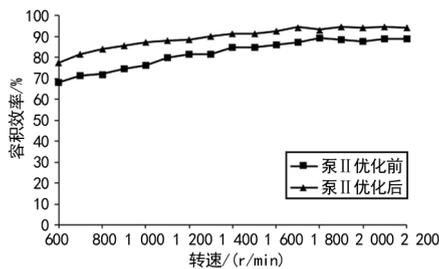


图5 双联内啮合齿轮泵试验台原理示意图



(a) 优化前后泵I的容积效率



(b) 优化前后泵II的容积效率

图6 优化前后双联内啮合齿轮泵的容积效率

从图6中可以看出,优化后双联内啮合齿轮泵的两个泵的容积效率均高于优化前的,在1400 r/min下,优化前的泵I和泵II的容积效率分别为78.96%和84.93%,而优化后的泵I和泵II的容积效率分别达到了88.3%和91.29%,这说明增加端盖后,高压双

联内啮合齿轮泵的轴向间隙减小,其密封性能得到了改善,齿轮泵的容积效率明显提高。

4 结论

文中针对双联内啮合齿轮泵在实际使用过程中存在的泵容积效率低的问题进行了原因分析,在此基础上,通过增加后端盖和结构优化改进了双联内啮合齿轮泵,同时对优化前后的泵做了对比测试,得出了如下结论。

(1) 增加后端盖,优化其他零件的结构,将前、后端盖用螺钉紧固在泵体上,使得双联内啮合齿轮泵成为封装型式,有利于准确控制两个泵的轴向间隙,减小泵的轴向泄露,提高泵的容积效率。

(2) 根据优化后的泵的结构对双联内啮合齿轮泵的轴向定位方法进行了改进,改进后的方法能够对整个泵的轴向间隙进行精准控制,从而减小了双联内啮合齿轮泵的泵间泄露,避免了泵的轴向窜动。

参考文献:

- [1] 王兆菊.内啮合齿轮泵研究热点及趋势[J].农业机械,2008(10):76-77.
- [2] 刘迎圆.基于CFD的高压内啮合齿轮泵三维数值计算方法及其不平衡径向力的研究[D].浙江:浙江大学,2016.
- [3] 刘迎圆,朱祖超.高压内啮合齿轮泵的三维CFD数值计算与试验研究[J].流体机械,2016,44(12):5-10.
- [4] 杨国来,陈萍,李世伟.直线共轭内啮合齿轮泵泵轴动态分析[J].液压与气动,2014(2):91-93.
- [5] Yoshida K, Uozumi M, Shimada Y, et al. Development of high efficiency internal gear pump rotor“geocloid rotor”[J].SEI Tech Rev, 2012(74):43-47.
- [6] Biernacki K. Selection of the optimum tooth profile for plastic cycloidal gears[J].Proc IMechE, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2014(228):3395-3404.
- [7] 张建卓,李康康.基于FLUENT的内啮合齿轮泵静压支撑研究[J].微计算机信息,2011(5):17-19.
- [8] 李宏伟.内啮合齿轮泵主要结构件的优化设计[D].山东:济南大学,2011.
- [9] 王健,温小明,谢颖,等.基于CFD的新型内啮合齿轮泵设计与分析[J].液压气动与密封,2018(11):76-79.

(上接第165页)

参考文献:

- [1] 马沂文,李春城.关于地铁列车停放制动配置的思考[J].现代城市轨道交通,2010(6):56-58.
- [2] 王龙泉,艾正武,刘德学.JZZ-2B型踏面制动单元停放制动问题研究[J].创新与实践,2017,24(4):26-28.
- [3] 韩红文,何延楠,何斌.新型停放制动装置结构原理简析[J].轨道交通装备与技术,2014(6):15-16.
- [4] 邹建文,王瑛琪,肖天宇,等.停放制动手动缓解拉力的影响因素分析[J].轨道交通装备与技术,2022(3):22-24.
- [5] 辛继松,肖广文,年立胜,等.拉绳分线盒在轨道车辆停放制动方

案中的应用[J].技术与市场,2016,12(23):46-47,51.

- [6] 刘磊,王龙泉,孙博,等.踏面制动单元手动缓解装置的失效分析及改进[J].机电信息,2018(15):78-79.
- [7] 冯荣耀.电力机车停放制动系统研究与设计[D].成都:西南交通大学,2015.
- [8] 席艳丽,牟文博,李飞.DKZ75型电客车TBU工作原理及典型故障分析[J].铁道机车车辆,2019,39(2):91-95.
- [9] 杜海平.地铁车辆停放制动状态的指示与判断[J].北方交通,2020(1):75-79.
- [10] 刘德学,方长征,艾正武,等.交流传动电力机车停放制动系统设计分析[J].机车电传动,2015(1):26-28.