

转速对海水泵内部空化影响的实验研究

万喆^{1,2}, 张培珍^{1,2}, 刘耀卓^{1,2}, 刘世琦^{1,2}

(1. 兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃省液压气动工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 海水泵在吸水过程中, 泵内空化现象会直接影响海水泵吸水性能, 使容积效率下降。该文针对海水泵内部空化现象, 设计了单柱塞海水泵吸水过程可视化实验装置, 通过高速摄像系统得到泵内空化流动的图像数据, 讨论了在海水泵吸水过程泵内部流道的空化特征, 研究了转速对海水泵内部空化现象的影响。结果表明, 随着转速的增加, 海水泵内空化流动速度加快, 空化范围增大, 气泡脱落周期变短。

关键词: 海水泵; 空化; 实验研究; 转速

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2021)05-0016-05

Experimental Study on the Effect of Rotational Speed on Cavitation in Seawater Pump

WAN Zhe^{1,2}, ZHANG Pei-zhen^{1,2}, LIU Yao-zhuo^{1,2}, LIU Shi-qi^{1,2}

(1. Lanzhou University of Technology, College of Energy and Power Engineering, Lanzhou 730050, China;

2. Gansu Province Research Center of Hydraulics and Pneumatics Engineering Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: During the seawater pump's water absorption process, the cavitation phenomenon in the pump will directly affect the seawater pump's water absorption performance, and the volumetric efficiency will decrease. Aiming at the phenomenon of cavitation in the seawater pump, a visual experimental device for the suction process of the single plunger seawater pump was designed. Image data of cavitation flow in the pump was obtained through the visualization experiment. The effect of rotational speed on cavitation in the seawater pump. The results show that as the rotational speed increases, the cavitation flow rate in the seawater pump increases, the cavitation range increases, the bubble shedding period becomes shorter.

Key words: seawater pump; cavitation; experimental study; rotational speed

0 引言

海水液压技术直接以天然的海水作为工作介质, 海水液压系统可直接在海洋环境中吸、排水, 系统简单, 无污染, 工作可靠性及效率大为提高^[1], 海水泵是海水液压系统的关键动力元件, 也是整个海水液压系统的“心脏”^[2]。然而海水泵在吸水过程中, 供水压力为压载舱低压, 泵内容易出现空化现象, 当柱塞运动时, 强制空化现象加剧, 影响海水泵吸水能力, 使海水泵容积效率下降。当海水泵从吸水行程转换到排水行程时, 腔内从低压过渡至高压, 导致空化气泡溃灭, 对阀腔壁面及柱塞腔内壁造成的气蚀。因此, 研究海水泵吸水过程中空化现象的流动特性及其效应, 对提高海

水泵的吸水能力和容积效率具有十分重要的意义。

近年来, 国内外众多学者已经在针对液压元件内部空化的流动特性及其影响因素方面开展了大量的研究工作, 在以往的研究中, 赵展等^[3]人采用 AMESim 软件研究了在模拟实际工况时柱塞泵转速与内部空化现象的关系, 提出 1200 r/min 为柱塞泵发生空化的临界转速, 并建议为避免实际生产中泵内发生空化, 泵转速应不高于临界转速。孙泽刚等^[4]人采用 Fluent 软件研究了轴向柱塞泵配缸体腰形孔、工作腔直径与缸体腰形孔当量直径的比值及流盘节流槽结构对工作腔空化特征的影响, 并对关键结构参数进行了优化。刘春节等^[5]采用 PUMPLINX 对轴向柱塞泵进行全空化数值模拟, 讨论了泵的进出口压差、转速及泵内部关键结构对空化的影响, 并使用实验数据验证了仿真的可行性。冀宏等^[6]利用 AMESim 与 Fluent 软件仿真分析了轴向柱塞泵在吸油过程中工作腔内的空化现象, 对模型化处理后的配流盘流道及吸油孔尺寸进行了优化设计,

收稿日期: 2020-06-01

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0304800)

作者简介: 万喆(1994-), 男, 甘肃定西人, 硕士, 现从事先进液压元件的基础理论研究。

得到了缸体转角与工作腔内空化程度的关系。築地徹浩等^[7]采用可视化实验与仿真相结合的手段分析了轴向柱塞泵在高转速和高入口压力时的空化流动情况及配流盘上V型槽个数对空化现象的影响情况。李长江等^[8]通过可视化测试方法对以海水为工作介质的水泵内部空化现象进行研究,详细分析了海水泵内部空化过程的特征。赵鹏坤^[9]等采用二维可视化实验模型,通过流场可视化的实验方法,研究了液压阀阀口发生空化时压力对其的影响。然而却很少有研究人员采用实验可视化的研究手段来针对海水泵在吸水过程中内部空化流动进行可视化研究。

本文采用单柱塞海水泵吸水过程可视化实验装置,通过流场可视化的研究方法得到海水泵泵内空化流动的图像数据,明确了海水泵吸水过程泵内空化规律,探讨了海水泵在吸水过程中转速对泵内空化现象的影响。

1 实验装置

实验装置图如图1所示,为了方便观察与记录完整的空化现象,本实验装置将配流系统和柱塞副集为一体,同时实验装置中的吸水阀阀体、阀座和海水泵壳体模型均采用透明有机玻璃加工而成,其余部分材料均采用304不锈钢。

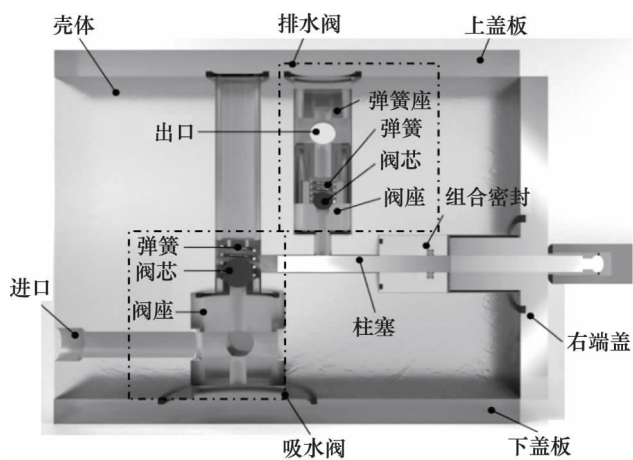


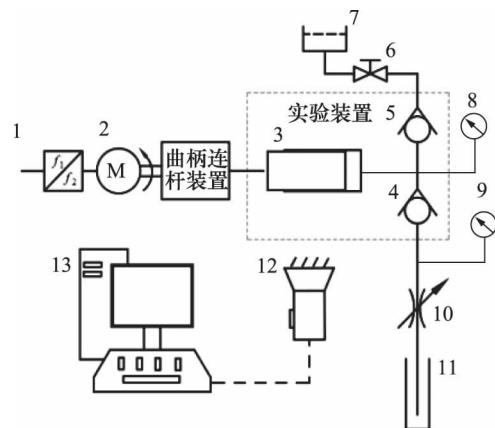
图1 实验装置图

为使整个实验装置的零部件易于组装与拆卸及能够独立观测吸水过程,将吸水阀和排水阀分开安装。因装置中的配流阀均采用了球阀结构,为方便阀芯的安装,故将弹簧座、弹簧、阀芯和阀座顺次连结,竖直安装。其中,吸水阀弹簧采用弹簧刚度为1.83 N/m的圆柱形弹簧,阀芯采用了直径为9.5 mm的碳化硅小球,吸入阀弹簧座与上端盖集为一体,吸入阀阀座锥角为

100°,并开设吸水流道,吸水流道直径为6.2 mm。为防止阀后腔体及柱塞工作腔中的工作介质经阀座和吸水阀安装孔间的径向间隙出现泄漏,在阀座上开设密封沟槽,采用O形密封圈进行密封。

2 实验系统

图2为实验系统示意图。实验时,首先通过调节变频器1调整电机2频率,再通过曲柄连杆装置将电机的旋转运动转换为柱塞的往复直线运动。依靠柱塞3在可视化实验装置的柱塞工作腔内的往复运动来实现吸排水,由于实验装置排量较小,故使用48 L卧式储水箱7来模拟压载舱。吸水过程,水由水箱流出经吸水阀进入柱塞工作腔,完成吸水动作;排水时,水经压出阀流出,采用系列量程的标准量筒11进行收集,模型出口的节流阀10调至最大开度以保证出水顺畅。调整高速摄像机12的摆放位置,使计算机13中实时显示的吸水过程图像保持清晰、无亮点。待空化现象出现,开始录像。



1. 变频器 2. 电机 3. 柱塞 4. 排水阀 5. 吸水阀
6. 截止阀 7. 水箱 8. 压力传感器 9. 压力传感器
10. 节流阀 11. 量筒 12. 高速摄像机 13. 计算机

图2 实验系统示意图

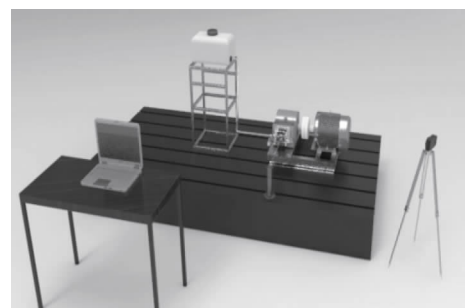


图3 实验系统放置图

实验系统放置图如图3所示。电机选用功率为5.5 kW,额定转速为1450 r/min的三相异步电动机,变

频器采用型号为 JL-V81 的矢量变频器。

本次实验采用自来水作为工作介质,其物性参数如表 1 所示。

表 1 工作介质物性参数

物性参数	数值
密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^3$	1000
运动黏度 $\nu/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	4.66×10^{-5}
色度	<0.5

实验时,通过改变电机转速来观察吸入过程的空化现象,当电机转速提升至 900 r/min 时吸水阀阀后出现较为明显的空化现象,实验由 900 r/min 开始,每提升 200 r/min 记录一次实验数据,至 1500 r/min 结束,共记录电机转速 900 r/min、1100 r/min、1300 r/min、1500 r/min 四组实验数据。每组实验都是在调整好转速后,维持 30 s 到 60 s,当阀口持续处出现小气泡时开始录像,记录实验数据。保证对每组实验的采样时间均在相对应实验转速下柱塞运动周期的 3 倍以上,以保证在同一转速下有 3~5 组实验装置吸水过程的图片,即储存 2000 到 5000 张实验图像。

图像采集完毕,首先以柱塞直径的实际长度和图像长度校准图像比例尺,再建立临时坐标系并在吸入阀阀芯与柱塞上进行基准点采集与标定(如图 4),随后开始逐张播放实验图像并开启采集点的自动追踪模式,以追踪阀芯、柱塞上的标定点在临时坐标系下的相对坐标的方法来获取实验模型吸水过程中阀芯的位移和柱塞的位移。最后,通过整理获取在不同转速下的实验模型吸水过程中出现空化现象时的阀芯、柱塞位移数据,分析阀芯与柱塞的位移曲线,得到吸入阀阀芯的运动规律。



图 4 基准点的采集与标定

3 实验现象与分析

3.1 实验现象

图 5 表示转速为 900 r/min 时,实验装置在吸水过

程中所发生的空化现象。当柱塞运动至上死点处开始计时,将此刻的时间记为 0 s。当 $t = 16.375 \text{ ms}$ 时,有一小气泡自吸水阀吸水通道中出现。柱塞继续朝下死点运动,当 $t = 17.25 \text{ ms}$ 时,小气泡在阀座的环形缝隙中破裂,形成若干小气泡。当 $t = 22.125 \text{ ms}$ 时,若干小气泡群从阀座环形缝隙散开,逐渐沿阀芯表面向吸水阀后腔运动。当 $t = 31.75 \text{ ms}$ 时,小气泡群在阀后腔散开,升至弹簧座处。

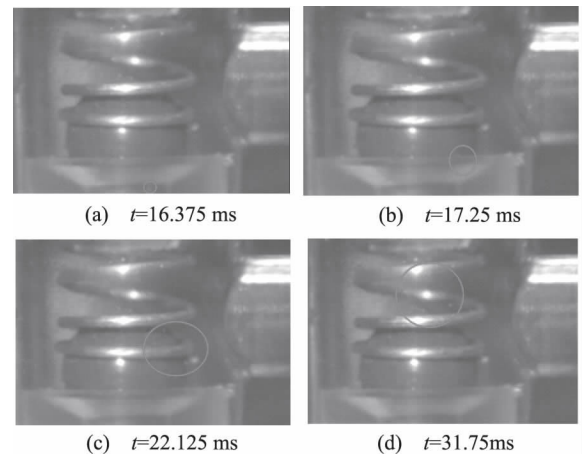


图 5 转速为 900 r/min 时的空化现象

图 6 表示转速为 1100 r/min 时,实验装置在吸水过程中所发生的空化现象。当柱塞运动至上死点处开始计时,将此刻的时间记为 0 s。当 $t = 20.125 \text{ ms}$ 时,有一气泡自吸水阀入流通道中出现,紧贴通道内壁面,并逐渐向阀座与阀芯的环形缝隙流动。当 $t = 21.5 \text{ ms}$ 时,气泡流入阀口处,破裂成许多小气泡,沿阀芯表面向阀腔运动。当 $t = 23.875 \text{ ms}$ 时,小气泡群沿阀芯表面朝阀腔下游的方向运动,并逐渐分散开来。当 $t = 27.5 \text{ ms}$ 时,小气泡群经阀芯与弹簧的接触面后,向四周散开并快速运动至阀后腔。

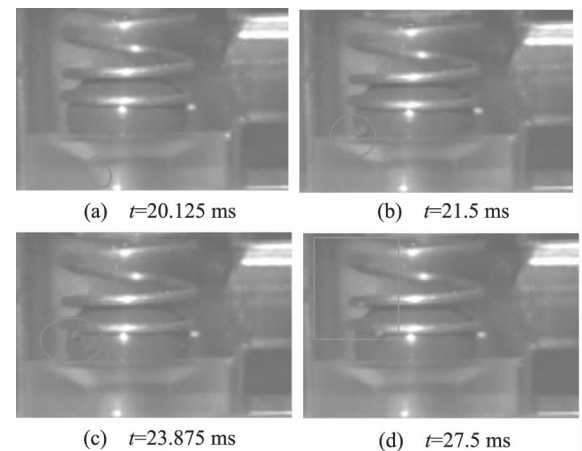


图 6 转速为 1100 r/min 时的空化现象

图7表示转速为1300 r/min时,实验装置在吸水过程中所发生的空化现象。当柱塞运动至上死点处开始计时,将此刻的时间记为0 s。当 $t = 13.75$ ms时,吸水阀吸水通道中出现小气泡并紧贴吸水通道内壁与阀口的结合处。当 $t = 14.25$ ms时,小气泡随着水流沿阀口运动,并在经过阀芯与阀座的环形缝隙时破裂,生成众多小气泡并紧贴阀芯表面。当 $t = 17.5$ ms时,紧贴阀芯表面的小气泡开始脱落,并再次分裂。当 $t = 22.875$ ms时,空化区域向阀腔下游移动。

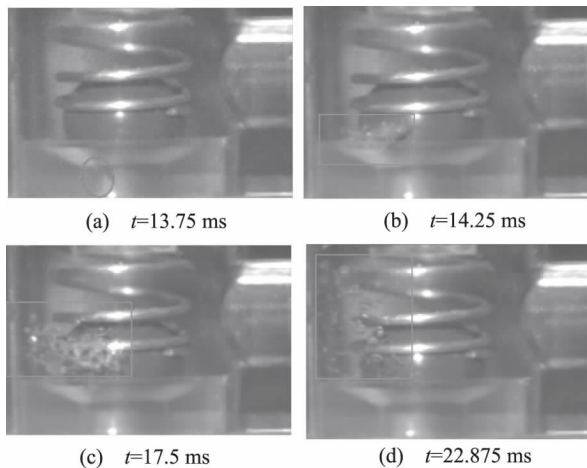


图7 转速为1300 r/min时的空化现象

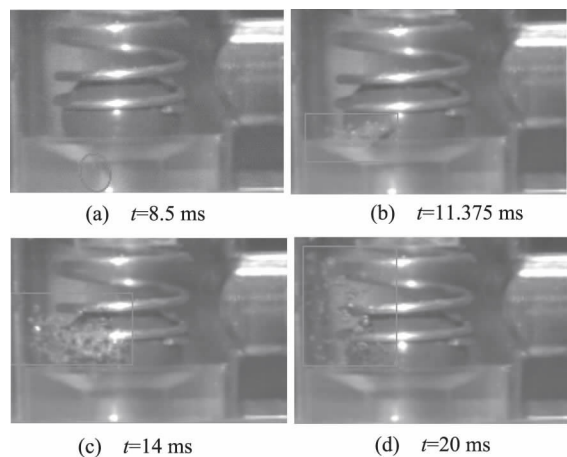


图8 转速为1500 r/min时的空化现象

图8表示转速为1500 r/min时,实验装置在吸水过程中所发生的空化现象。当柱塞运动至上死点处开始计时,将此刻的时间记为0 s。当 $t = 8.5$ ms时,有一气泡自吸水阀入流通道中出现。当 $t = 11.375$ ms时,气泡流入阀口处,破裂成许多小气泡形成小气泡群,沿阀芯表面向阀腔运动,当 $t = 14$ ms时,小气泡群再次分裂,并向四周散开,朝阀腔下游的方向运动。当 $t = 20$ ms时,小气泡继续朝阀腔下游的方向运动,同时柱塞到达下死点,完成吸水动作。

3.2 现象分析

(1) 根据对以上不同转速下所采集的四个阶段的空化图像分别进行对比分析,可以得到:当柱塞在吸水行程时,空化现象的初生均在吸水流道内壁与阀口的结合处附近。同时,空化初生点处的气泡体积很小且较为模糊,在单帧图像中不易观察。空化出现后,首先集中在阀口处,然后开始沿着阀座锥面向下游运动,随着空化的流动,空化区域逐渐增大,在即将到达阀座锥面的末端时,空化开始脱离阀座锥面向阀芯表面流动。当云状空化从阀座锥面脱落后,朝着阀芯表面开始流动,最后附着在阀芯靠近阀座的表面上,这一过程空化的剧烈程度明显强于上一阶段,且空化面积也有所增大,空化现象中小气泡的轮廓也十分清晰。在阀芯表面上附着的空化首先移动至弹簧与阀芯的接触处,再与阀芯脱离,之前聚集的小气泡群也随即散开,并随着液流呈雾状继续向阀后腔及柱塞工作容腔流动。

(2) 当转速大于900 r/min时,在吸水过程在中均能够观察到明显的空化现象,并随着转速的增大,气泡脱落周期变短,空化流动速度加快,空化现象愈显剧烈。

4 结论

本文采用可视化的实验研究方法,采集了在转速分别为900 r/min、1100 r/min、1300 r/min、1500 r/min时海水泵内部空化流动的图像数据,并对海水泵工作转速与泵内空化特征的关系进行了分析,分析得到:随着转速的增大,气泡脱落周期变短,空化流动速度加快,空化现象愈显剧烈。因此,在设计海水泵时,适当降低电机转速,可有效抑制泵内空化现象、提高海水泵的吸水能力。

参考文献

- [1] LIU Yinshui, GUO Zhanjun, ZHU Bihai, et al. Underwater Tool System Driven by Seawater Hydraulic Power [J]. Ocean Technology, 2006,25(4): 65-69.
- [2] 李东林,方梦思,邓亦攀,刘银水,吴德发. 水液压柱塞泵柱塞副材料实验研究[J]. 液压与气动,2017,(11): 12-16.
- [3] 赵展,何东升. 柱塞泵的气穴现象与其最高转速的研究[J]. 机床与液压,2010,38(17): 109-110.
- [4] 孙泽刚,许明恒,肖世德,戴元龙. 水压轴向柱塞泵柱塞腔空化的仿真及影响研究[J]. 系统仿真学报,2018,30(01): 221-227.
- [5] 刘春节,吴小锋,干为民,何亚峰. 基于全空化模型的柱塞泵内空化流动数值模拟[J]. 中国机械工程,2015,26(24): 3341-3347.

两种溢流口形状对水力旋流器性能影响

张 力, 吴 杰, 张 旭, 仝 宇

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 为了研究圆柱形溢流口和圆台形溢流口对水力旋流器分离过程性能的影响, 该文通过 ANSYS 软件分别求解其内部速度流场和压力场, 分析流场的稳定性。研究表明: 圆台形溢流口水力旋流器中心轴处的切向速度为零, 往外延伸速度不断增大, 但在旋流器内壁处, 切向速度骤降为零; 圆柱形溢流口水力旋流器的切向速度变化规律与之相似, 但圆台形溢流口的切向速度变化规律更加平稳。圆台形溢流口水力旋流器整体压降要比圆柱形溢流口水力旋流器大 13 kPa; 进一步分析两种水力旋流器的分离效率和湍流强度, 发现圆台形溢流口的分离效率和湍流强度比圆柱形溢流口略高, 固-液两相流在旋流器内部停留的时间更长, 分离效率更好。

关键词: 水力旋流器; 溢流口形状; 速度流场; 压力场; 固液两相流

中图分类号: TH137, TV93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2021)05-0020-05

The Effect of the Two Spill Shapes on the Hydrocyclone Performance

ZHANG Li, WU Jie, ZHANG Xu, TONG Yu

(Lanzhou University of Technology Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Lanzhou 730050, China)

Abstract: in order to study the effect of cylindrical overflow and circular spillway on the separation performance of hydraulic cyclone, the internal velocity flow field and pressure field were solved by ANSYS software, and the stability of flow field was analyzed. The results show that the tangential velocity is zero on the central axis of the circular spillway hydraulic cyclone, and the outward extension speed is increasing. At the inner wall of the cyclone, the tangential velocity drops to zero, and the tangential velocity of the cylindrical spillway hydraulic cyclone is similar. However, the shear velocity of circular spillway is more stable. The overall pressure drop of the hydrocyclone is 13 kPa greater than that of the hydrocyclone. The separation efficiency and turbulence intensity of the two hydrocyclone are further analyzed. It is found that the separation efficiency and turbulence intensity of the round-shaped overflow port are higher than those of the cylindrical overflow port, and the solid-liquid two-phase flow stays longer in the hydrocyclone.

Key words: hydrocyclone; spill shape; speed flow field; pressure fields; solid liquid two-phase flow

0 引言

水力旋流器是通过介质中固体与液体之间的密度差和离心力来完成混合介质的分离和分级, 因其结构简单、操作方便、分离效率高、占地面积小, 目前被广泛应用于农业灌溉、水利等领域的水沙分离处理^[1]。Cullivon J C^[2] 等人利用流体力学对水力旋流器旋流器流场和分离机理进行分析; 邹小艳^[3] 和喻黎明^[1] 利用

CFD-DEM 耦合对水利旋流器分离过程性能进行仿真分析, 得出水力旋流器的结构尺寸、外界影响因素、混合介质特性对其性能的影响; 唐兆家^[4] 利用 ELM 模型分析水力旋流器的多个结构参数组合对其性能的影响; 孙丽媛^[5] 对水力旋流器的影响因素进行了总体概括, 主要包括: 水力旋流器直径、水力旋流器开口尺寸、溢流管插入深度、溢流管壁厚、筒体柱段长、进料固相浓度、进料固相粒度组成、进料黏度、液相和固相密度、进口压力、安装倾角、底流排泄方式。虽然他们对水力旋流器分离过程的影响因素进行了详细的分析, 但是都没有研究溢流口形状对水力旋流器分离过程性能有何影响。本文通过设计不同形状的溢流口形状, 针对

收稿日期: 2020-06-15

作者简介: 张力(1965-), 女, 甘肃兰州人, 教授级高级工程师, 本科, 主要研究方向: 农业节水灌溉和石油钻采机械设备研究。

[6] 冀宏, 王洋. 轴向柱塞泵工作腔吸油气穴数值解析[J]. 兰州理工大学学报, 2013, 39(03): 34-37.
[7] 築地徹浩, 陈卓, 陈晶晶. 轴向柱塞泵内部空化流的可视化分析[J]. 液压与气动, 2015, (02): 1-7.

[8] 李长江, 陈文毅, 吕伟领. 海水泵内部空化可视化测试研究[J]. 船舶工程, 2019, 41(S2): 235-236+271.
[9] 赵鹏坤, 林言丕, 李清华, 郑直. 渐扩型流道空化特征的实验研究[J]. 液压气动与密封, 2020, 40(03): 16-19.