

文章编号: 1004-4353(2020)04-0371-04

## 液力变矩器仿生叶片压降性能试验

袁哲<sup>1,2</sup>, 刘春宝<sup>1</sup>, 岳利维<sup>3</sup>, 杨化龙<sup>1</sup>

( 1. 吉林大学 机械与航空航天工程学院, 吉林 长春 130022; 2. 杭州前进齿轮箱集团股份有限公司,  
浙江 杭州 311203; 3. 吉林省体育局 冬季竞技运动保障中心, 吉林 长春 130000 )

**摘要:** 为了提高液力变矩器的性能和效率,在改变叶轮和叶片常规参数的基础上,将仿生学技术融入到叶片设计和试验当中,首先介绍了仿生植物叶片表面和仿生动物皮肤表面设计叶片的思想,然后给出了仿生叶片的制造过程,最后利用研制的试验台对设计的仿生叶片进行了压降性能测试.试验表明,该仿生叶片的减阻特性优于光滑叶片,进而可减小液力变矩器的内部流动损失,提高液力变矩器的整体效率.该试验设计思路和实施过程还可如何为利用仿生学的思想解决工程实践中遇到的问题提供借鉴.

**关键词:** 机械设计; 液力变矩器; 仿生叶片; 压降性能

**中图分类号:** TH137.332

**文献标识码:** A

## Pressure drop performance test of bionic blades in hydrodynamic torque converter

YUAN Zhe<sup>1,2</sup>, LIU Chunbao<sup>1</sup>, YUE Liwei<sup>3</sup>, YANG Hualong<sup>1</sup>

( 1. *School of Mechanical and Aerospace Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China;*  
2. *Hangzhou Advance Gearbox Group Co. Ltd., Hangzhou 311203, China;*  
3. *Winter Sports Guarantee Center of Jilin Province Sports Bureau, Changchun 130000, China* )

**Abstract:** In order to improve the performance and efficiency of the hydrodynamic torque converter, the bionics technology was integrated into the blade designing and testing on the basis of changing the conventional parameters of impeller and blade. Firstly, the designing ideas of bionic plant surface and bionic animal surface were introduced, then the manufacturing process of bionic blade was introduced. Finally, the pressure drop performance of the bionic blade was tested by using the developed test bench. The test showed that the drag reduction characteristic of the bionic blade is better than that of the smooth blade, which could reduce the internal flow loss and improve the overall efficiency of the hydrodynamic torque converter. The designing idea and implementation process of this test could provide a reference for how to use bionics to solve the difficult problems in engineering practice.

**Keywords:** machine design; hydrodynamic torque converter; bionic blade; pressure drop performance

### 0 引言

液力变矩器是被广泛应用于工程机械、矿山机械、起重运输机械等机械中的一种非常重要的液力传动元件.传统的三元件液力变矩器主要由

泵轮、涡轮及导轮组成.近年来随着技术的发展,一些新型液力变矩器相继出现,如双涡轮液力变矩器、双泵轮液力变矩器、导叶可调液力变矩器等<sup>[1-3]</sup>.为了进一步提高液力变矩器的性能,近年来国内众多研究者对液力变矩器的叶片参数进行

收稿日期: 2020-10-04

作者简介: 袁哲(1984—),男,博士,高级工程师,研究方向为液力传动与自动变速.

基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20200953KJ);浙江省博士后科研项目(ZJ2020069)

了设计和优化.例如:郑恒玉分析了叶片数及进出口角对液力变矩器性能的影响,其所得结果可为变矩器的设计提供理论基础<sup>[4]</sup>;闫清东等选取液力变矩器的入口角作为参数,并基于存档的小种群移传算法优化了液力变矩器的性能<sup>[5]</sup>;石祥钟等研究了液流角与叶片安放角间的关系,探讨了两级涡轮叶片安放角的优化方案,并优化了 YJSW315 双涡轮液力变矩器的性能<sup>[6]</sup>.

2016 年,刘春宝等将仿生学应用于叶片设计当中,并利用 CFD 计算证明了仿生叶片的减阻效果优于光滑叶片<sup>[7-8]</sup>.为了验证 CFD 数值计算的正确性,通常需要通过搭建试验台进行压降性能试验;但若单独为每个叶栅方案设计一套模具来制造样机并进行试验,不仅耗时,而且成本巨大.为此,本文研究团队自主研发了一种叶轮机械压降性能试验台,并通过压降性能测试验证了其有效性.

## 1 试验内容

### 1.1 液力变矩器仿生叶片的设计

液力变矩器的仿生叶片是根据自然界中生物表面的超疏水及低黏附特性进行设计的,其目的是通过减阻增效来提高液力变矩器的效率.

### 1.2 液力变矩器仿生叶片的制造

利用数控机床等设备对设计出的液力变矩器仿生叶片进行加工,并进行相应的化学处理,最终完成仿生叶片的制造.

### 1.3 液力变矩器压降性能的试验

利用流体机械压降性能试验台对制造出的液力变矩器仿生叶片进行压降性能测试,以此证明仿生叶片的减阻性能优于光滑叶片.

## 2 试验设备

自主研发的液力变矩器压降性能测试的试验台如图 1 所示.试验台主要由电机、齿轮泵、密封舱、控制阀、油箱、压力传感器、流量传感器、计算机等设备组成.密封舱为试验台的核心部件,测试前先将仿生叶片固定在密封舱内的螺杆上,封闭后再进行测试.在密封舱的进出口处各放置一个压力传感器和流量传感器,分别用以测量压强和

流量.控制阀和变频器控制的电机用来调节管路的流量和压强,压强值与流量值可在计算机中读出.由于此试验台选用的流量传感器精度较高,因此为了延长传感器的使用寿命,本设计在油箱中加入了过滤器,以此过滤油液中的杂质.齿轮泵在电机的带动下,将油液抽入到管路当中,形成封闭的循环管路.



图 1 自制的试验台

## 3 试验流程

本文的试验流程如图 2 所示,具体表述如下:

- 1) 仿生设计液力变矩器的光滑叶片,得到仿生叶片;
- 2) 机械加工设计得到的仿生叶片,得到试验样件;
- 3) 对光滑叶片和仿生叶片进行压降性能对比试验;
- 4) 采集试验数据,并进行分析.如果仿生叶片的减阻性能低于光滑叶片的减阻性能,则需重新设计仿生叶片,直至其减阻性能优于光滑叶片.
- 5) 整理试验数据,撰写测试报告.

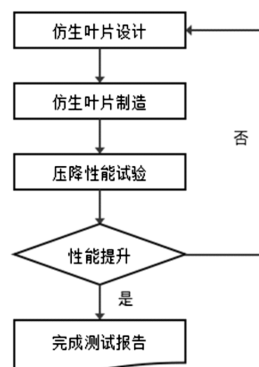


图 2 试验流程图

## 4 试验操作步骤

### 4.1 仿生叶片的设计

1)仿植物叶片表面特性的叶片设计.研究表明,许多植物都具有良好的超疏水结构<sup>[9]</sup>.东北地区常见的狗尾草的叶子呈线状披针形,叶片扁平,且叶片表面分布着有规律的棱槽结构.利用接触角测量仪测量其叶片表面的接触角和滚动角得知,其接触角大于 $150^{\circ}$ ,滚动角小于 $10^{\circ}$ .由此结果表明,狗尾草叶片表面也具有优良的超疏水特性.因此,本文通过仿建狗尾草叶片上的棱槽结构并将其布置在液力变矩器光滑叶片中能量损失较大的区域,用以减少液力变矩器内部由于回流、涡旋等原因造成的液流损失,进而提高变矩器的效率.

2)仿动物皮肤表面特性的叶片设计.经实验发现,海豹皮肤表面分布着近似于L型的沟槽结构,可以起到优良的减阻效果,进而可使海豹在水中快速游动.另外,通过CFD数值计算得知,L型沟槽的仿生叶片的减阻率优于V型沟槽仿生叶片.因此,本文选择L型沟槽的仿生叶片作为仿动物皮肤表面特性的设计方案.

### 4.2 液力变矩器仿生叶片的制造

为减小试验误差,需对设计好的液力变矩器仿生叶片进行精细加工,以使制造出来的样件尽可能与设计方案相一致.制造仿生叶片的主要步骤如下:

- 1)利用数控机床制造出未经改进的光滑叶片;
- 2)利用线切割机床在光滑叶片表面的相应区域构建仿生微结构;
- 3)利用超声波清洗机对加工的仿生叶片进行化学清洗;
- 4)将清洗后的仿生叶片放入干燥箱中干燥,干燥后即得加工样件.

### 4.3 液力变矩器压降性能的试验

利用本文自制的叶轮机械压降性能试验台对仿生叶片样件和光滑叶片样件进行性能测试和对比.压降测试的试验步骤如下:

- 1)按照图1所示的结构搭建用于测试的试验台,并保证各个元器件都能正常使用.
- 2)搭建好试验台后,将密封舱上盖密封(此时不将液力变矩器叶片放入仓内).

3)打开电源后,电机带动齿轮泵开始工作(齿轮泵将油箱中的液压油抽入到管路中,并使整个管路逐渐充满油液,形成一个循环回路).油管充油一段时间后,将密封舱上端的阀门打开,排出气体.当阀门气孔处有油液均匀溢出时(表明此时密封舱已经为全充液状态)关闭密封舱上盖的阀门.采集数据时,利用计算机读出密封舱两端的油压值,由此计算所得的差值即为压降值.按此方法测试多组压降值后,将平均值作为试验数据的修正值.

4)得到修正的数据后,关闭电源,打开密封舱上盖,将仿生叶片固定在上盖下端的螺杆上,并调整好角度后放入密封舱中.密封好密封舱的上盖后,接通电源,利用变频器调节电机转速,同时通过调节管路中的控制阀改变密封舱两端油液的流量,并记录不同工况下的油压.

5)关闭电源,将密封舱内固定的仿生叶片换为光滑叶片,其摆放角度与仿生叶片的摆放角度相同.在此基础上,测量不同工况下密封舱两侧的油压,并记录.

6)通过计算采集的数据得到液力变矩器仿生叶片和光滑叶片的压降值,然后据此计算仿生叶片的减阻率.

## 5 结论

为了提高液力变矩器的性能,将仿生学思想融入到变矩器的叶片设计当中,并利用自制的叶轮机械压降性能试验台对液力变矩器光滑叶片和仿动物皮肤表面特性叶片的压降性能进行了对比.研究表明,不同工况下仿动物皮肤表面特性的叶片均具有不同程度的减阻效果,其中最大减阻率为8.98%.另外,通过CFD计算仿生叶片的压降值显示,该压降值与试验结果的误差小于5%,由此说明CFD计算具有良好的可靠性.对仿植物叶片表面特性的叶片进行CFD计算显示,仿植物叶片表面特性的叶片的减阻率也优于光滑叶片的减阻率.因此,本文方法对提高液力变矩器的效率和缩短变矩器的设计周期具有很好的参考价值.除此,本试验方法还可应用于仿生学课程和液力传动课程的实验教学,且有助于提高实验教学质量 and 降低试验成本.

## 参考文献:

- [1] 马文星. 液力传动理论与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 马文星, 刘春宝, 雷雨龙. 工程机械液力变矩器现代设计方法及应用[J]. 液压气动与密封, 2012, 10: 71-76.
- [3] 马文星, 王佳欣, 刘春宝. 液力变矩器流动数值模拟的发展与应用[J]. 液压与气动, 2019, 5: 1-8.
- [4] 郑恒玉. 基于 CFD 的叶片参数对液力变矩器的性能影响分析[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [5] 闫清东, 李新毅, 魏巍. 基于多目标优化的液力变矩器叶形角度设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(9): 69-75.
- [6] 石祥钟, 荣琼艳, 董雪, 等. YJSW315 双涡轮液力变矩器优化改型研究[J]. 机械设计与制造, 2020(2): 117-120.
- [7] 刘春宝, 刘长锁, 马文星, 等. 基于鱼体结构的仿生型液力变矩器叶片换量分配规律[J]. 北京理工大学学报(自然科学版), 2016, 36(9): 887-892.
- [8] 杨化龙. 液力变矩器叶片仿生非光滑表面减阻研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [9] 卜卫羊. 仿生超疏水叶片的制备及其表面流体运动形态的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.

~~~~~  
(上接第 343 页)

## 参考文献:

- [1] 朱春鹏, 张喜发, 张冬青, 等. 季节性冻土地区道路冻深的研究[J]. 辽宁交通科技, 2004, 27(4): 16-18.
- [2] 吴青柏, 董献付, 刘永智. 青藏公路沿线多年冻土对气候变化和工程影响的响应分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(1): 50-54.
- [3] HAISEY L A, VITT D H, ZOITAI S C. Disequilibrium response of permafrost in boreal continental western Canada to climate change [J]. Climatic Change, 1995, 30(5): 57-73.
- [4] 陈博, 李建平. 近 50 年来中国季节冻土与短时冻土的时空变化特征[J]. 大气科学, 2008, 33(3): 432-443.
- [5] 张森琦, 王永贵, 赵永真, 等. 黄河源区多年冻土退化及其环境反映[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 1-6.
- [6] 罗栋梁, 金会军, 林琳, 等. 青海高原中、东部多年冻土及寒区环境退化[J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 538-546.
- [7] 张明, 刘吉洁, 肖鸿志. 长春市近 50 年冻土变化特征分析[J]. 吉林农业, 2015, 27(2): 90.
- [8] 张菁, 宋晓巍, 李石, 等. 沈阳地区冬春季冻土深度特征对气候变化的响应[C]//第 35 届中国气象学会年会 S6 应对气候变化、低碳发展与生态文明建设. 安徽: 中国气象学会, 2018: 538.
- [9] 李佳, 周祖昊, 王浩, 等. 松花江流域最大冻土深度的时空分布及对气温变化的响应[J]. 资源科学, 2017, 39(1): 147-156.
- [10] 任景全, 刘玉汐, 王冬妮, 等. 吉林省季节冻土冻结深度变化及对气候的响应[J]. 冰川冻土, 2019, 41(5): 1098-1106.
- [11] 延边朝鲜族自治州地方志编纂委员会. 延边年鉴 2015[M]. 延吉: 延边人民出版社, 2015: 21-22.
- [12] 延边朝鲜族自治州地方志编纂委员会. 延边年鉴 2007[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2009: 9-10.
- [13] 高成, 董长虹, 郭磊, 等. 小波分析与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 1-28.
- [14] 陈彦光. 基于 MATLAB 的地理数据分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 180-192.
- [15] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2002, 34(6): 14-17.
- [16] 刘东, 付强. 基于小波变换的三江平原低湿地井灌区年降水序列变化趋势分析[J]. 地理科学, 2008, 28(3): 380-384.
- [17] LIU D L, LIU X Z, LI B C, et al. Multiple time scale analysis of river runoff using wavelet transform for Dagujia Riverbasin, Yantai, China [J]. Chinese Geographical Science, 2009, 19(2): 158-167.
- [18] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 9-19.