

文章编号: 1000-582X(2013)03-001-05

## 螺旋槽水润滑橡胶合金轴承摩擦学性能实验

周广武<sup>1</sup>, 王家序<sup>1</sup>, 李俊阳<sup>1</sup>, 邱 茜<sup>1</sup>, 李金明<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044;  
2. 上海汽车集团股份有限公司技术中心, 上海 200041)

**摘 要:**通过螺旋槽和直槽结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦学性能对比实验, 研究螺旋槽结构对水润滑轴承的润滑特性及泥沙和杂质排泄能力的影响, 结果表明螺旋槽结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦学性能优于直槽, 更容易形成弹性流体动压润滑, 降低摩擦磨损, 具有良好的泥沙和杂质排泄能力, 对延长使用寿命和保护设备正常运行具有很好的作用。

**关键词:**水润滑轴承; 滑动轴承; 螺旋槽

**中图分类号:** TH117.1

**文献标志码:** A

### Experimental investigation of tribological properties for spiral groove water lubricated rubber bearings

ZHOU Guangwu<sup>1</sup>, WANG Jiaxu<sup>1</sup>, LI Junyang<sup>1</sup>, QIU Qian<sup>1</sup>, LI Jinming<sup>2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission,  
Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Technology Center, SAIC Motor Corporation Limited, Shanghai 200041, China)

**Abstract:** The effect of spiral groove structure on properties and silt-impurity excretion ability of water lubricated bearings lubrication is studied through comparison experiments on tribology properties of spiral groove and straight groove water lubricated rubber bearings. The results show that the tribological properties of spiral groove water lubricating rubber bearings are superior to the straight groove's. The spiral groove water lubricating rubber bearings is easier to form elastic hydrodynamic lubrication, reduce friction and wear, have good capacity of silt and impurity discharge, and have very good effect on extending the service life and protecting the normal operation of the equipment.

**Key words:** water lubricated bearings; journal bearings; spiral groove

水润滑橡胶合金轴承是以水替代油作为润滑介质, 用非金属复合材料替代金属作为摩擦副, 具有摩擦系数小、减振降噪、安全可靠、长寿命及无污染等优点, 因此在船舶领域得到广泛应用<sup>[1-6]</sup>。但是, 在泥沙含量较大以及水藻丰富的水域, 水润滑橡胶轴

承的摩擦磨损较为严重, 其使用寿命低于预期<sup>[7-9]</sup>。为了解决这个问题, 重庆大学王家序教授等<sup>[10]</sup>发明了螺旋槽水润滑橡胶合金轴承。

国内外学者针对水道槽结构对水润滑轴承润滑性能的影响进行了相关研究。Majumdar 等<sup>[11]</sup>模拟

**收稿日期:** 2012-10-12

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(51175521); 重庆市“两江学者”计划专项经费资助项目; 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS1111137)

**作者简介:** 周广武(1984-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事摩擦学与动力学研究。

王家序(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (E-mail)jxwang@cqu.edu.cn。

实际润滑方式分析了三纵向沟槽水润滑轴承的稳态性和动态特性,研究表明水润滑轴承水膜最大压力并不是出现在轴承的中部,而是沿轴向逐步下降。Pai 等<sup>[12-13]</sup>研究了四沟槽和多沟槽的水润滑轴承动态特性。Tanamal 等<sup>[13]</sup>和荀振宇等<sup>[14]</sup>分析了不同沟槽数量、布置方式以及润滑剂种类对水润滑轴承承载能力和摩擦系数的影响。李金明等<sup>[15]</sup>利用 ANSYS CFX 进行了螺旋槽水润滑橡胶轴承的流体域仿真分析,结果表明在沟槽内部出现明显的漩涡效应,有利于泥沙等杂质的流出,对排污更有效。在实验研究方面,王优强等<sup>[16]</sup>对潜水泵上常用的纵向八沟槽水润滑橡胶轴承的润滑机理进行了实验研究。根据实验结果分析了影响摩擦系数的主要因素及其影响规律,并据此提出了一组实用设计参数。上述研究主要针对直槽结构的水润滑轴承,对于螺旋槽水润滑轴承的摩擦学性能研究还有待进一步深入。

笔者通过螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承的摩擦学性能对比实验,研究螺旋槽结构对水润滑轴承的润滑特性及泥沙和杂质排泄能力的影响,为揭示螺旋槽水润滑橡胶合金轴承的润滑机理及其工程应用提供依据。

## 1 实验装置与实验方法

### 1.1 试样与实验装置

为了充分掌握螺旋槽水润滑橡胶合金轴承的摩擦学性能,选取同规格的直槽水润滑橡胶合金轴承进行对比实验。螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承试样均为 8 沟槽与多圆弧曲面的橡胶轴承。轴承规格为内径 40 mm,外径 55 mm,长度 80 mm。试样实物如图 1 所示。

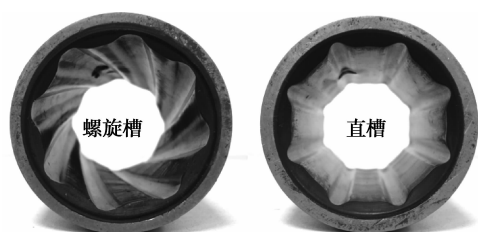


图 1 螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承实物图

实验装置为重庆大学机械传动国家重点实验室改进的 MPV-20D 摩擦磨损试验机,如图 2 和图 3 所示。该装置主要由驱动部分、试验部分、加载部分和测试部分组成。驱动部分采用交流变频电机驱动。试验部分包括主轴、支架、联轴器和供水系统。

加载系统由液压缸、液压泵及阀路组成,实现径向加载,模拟螺旋桨的悬重而使艉轴偏斜所造成的边缘负荷。测试部分由扭矩仪和工控机组成,被测物理量传输到计算机,通过测试软件进行数据存储和处理。



图 2 MPV-20D 摩擦磨损试验机

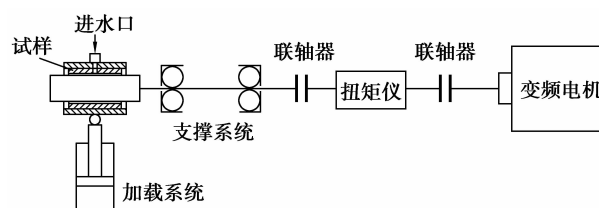


图 3 MPV-20D 摩擦磨损试验机原理图

### 1.2 实验方法

实验在 MPV-20D 摩擦磨损试验机上进行,所有试样在实验前均浸泡在水中 12 h。通过加载系统施加在试样的加载力为恒定值,分别为 1.2、1.4、1.6、1.8 和 2.0 kN。在某一恒定载荷下,通过变频电机调节主轴转速从 1 000 r/min 开始,依次递减 200 r/min,测量各种工况下的水润滑轴承摩擦系数,并做好记录。在含泥沙条件下的水润滑轴承实验结束时,做好水润滑橡胶合金轴承泥沙分布的拍照记录。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 无泥沙环境下的摩擦性能实验

在无泥沙环境下,进行了螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承的摩擦性能对比实验。图 4 和图 5 分别为螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承在各种工况下的摩擦系数曲线。结果表明两种结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦系数随着转速增大而减小,这是由于在低速条件下,弹性流体动压润滑作用不明显,随着转速的提升,动压润滑逐渐明显,摩擦系数减低。随着载荷增大,橡胶的弹性变形区域增大,承载面积

增大,故摩擦系数略有降低。但是,在同等工况下,螺旋槽结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦系数小于直槽结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦系数,特别是在低速条件下表现得尤为显著。这说明螺旋槽的润滑结构具有漩涡效应,更有利于形成弹性流体动压润滑水膜,减少摩擦。

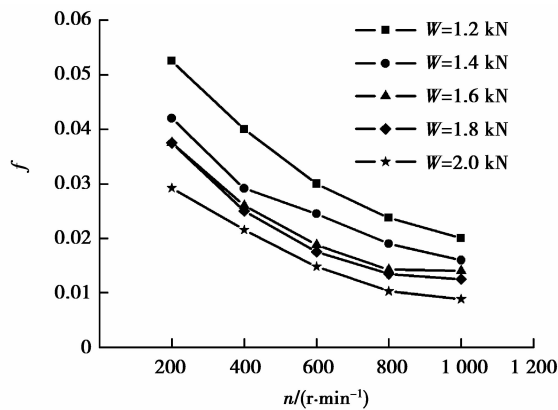


图4 螺旋槽水润滑轴承摩擦系数曲线(无泥沙)

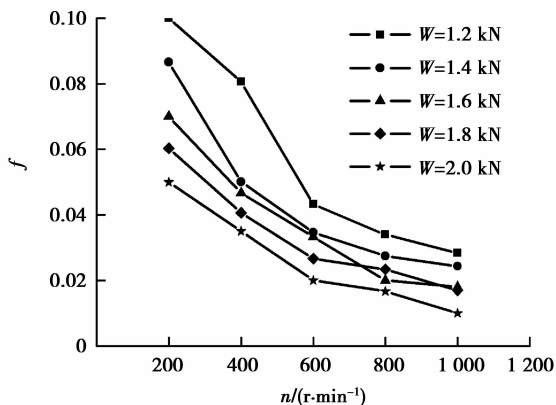


图5 直槽水润滑轴承摩擦系数曲线(无泥沙)

## 2.2 含泥沙环境下的摩擦性能实验

针对不同水域的含沙量不同,本次实验配置了含沙量分别为 0.27% 和 3.38% 的润滑水,其中选用的河沙粒径为 0.25 mm,然后进行了两种含沙量环境下的螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承的摩擦性能对比实验。图6和图7分别为含沙量为 0.27% 环境下的螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承在各种工况下的摩擦系数曲线。与无泥沙环境下一致,两种结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦系数随着转速增大而减小,随着载荷增大而略有降低。

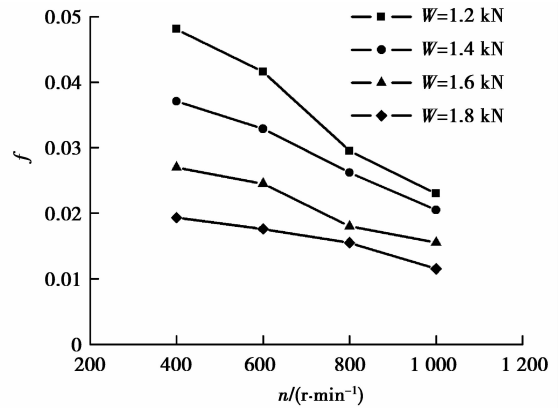


图6 螺旋槽水润滑轴承摩擦系数曲线  
(含沙量 0.27%)

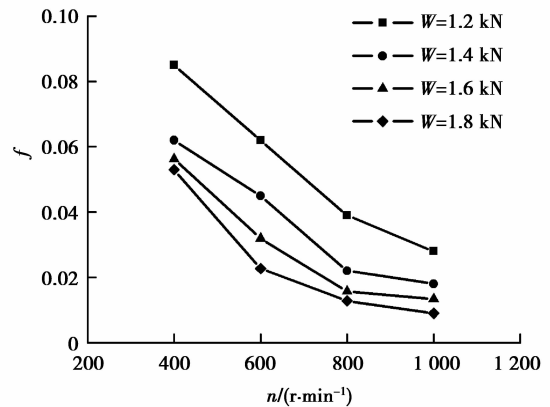


图7 直槽水润滑轴承摩擦系数曲线  
(含沙量 0.27%)

图8和图9分别为含沙量为 0.27% 环境下的螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承泥沙分布情况。通过对比发现:螺旋槽水润滑橡胶合金轴承内的残余沙较少,且分布于橡胶螺旋沟槽内,而橡胶承载面上几乎没有泥沙;直槽水润滑橡胶合金轴承内的残余泥沙较多,分布于橡胶沟槽内和橡胶承载面上。



图8 螺旋槽水润滑轴承泥沙分布  
(含沙量 0.27%)



图9 直槽水润滑轴承泥沙分布  
(含沙量 0.27%)

图10和图11分别为含沙量为3.38%环境下的螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承在各种工况下的摩擦系数曲线。与无泥沙和含沙量0.27%环境下相反,两种结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦系数随着转速增大而增大,随着载荷增大而增大。这是因为在含沙量大的环境下,泥沙易进入到橡胶承载面上,导致轴与泥沙直接接触而产生摩擦,故摩擦系数增大。同时,随着主轴转速提高,单位时间内轴与泥沙接触的机会越大,故摩擦力越大,摩擦系数越大;随着载荷增大,轴承的承载面积增大,轴与泥沙的接触面积增大,摩擦越显著,故摩擦系数越大。

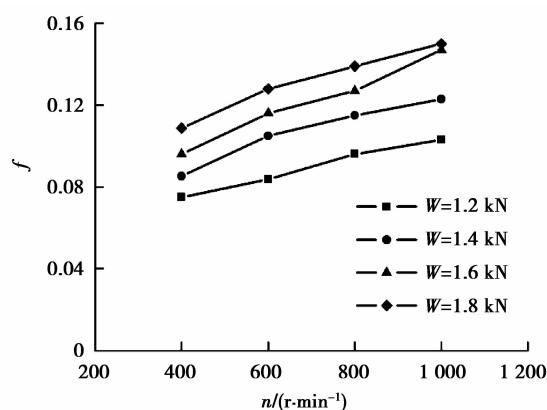


图10 螺旋槽水润滑轴承摩擦系数曲线(含沙量 3.38%)

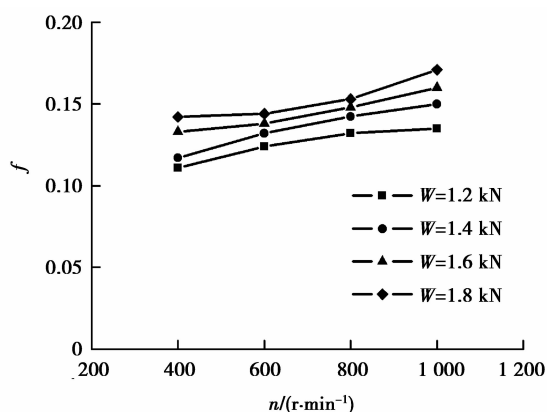


图11 直槽水润滑轴承摩擦系数曲线(含沙量 3.38%)

图12和图13分别为含沙量为3.38%环境下的螺旋槽和直槽水润滑橡胶合金轴承泥沙分布情况。图中可以看出,在含沙量较大环境下水润滑橡胶合金轴承泥沙明显多于含沙量小的环境。螺旋槽水润滑橡胶合金轴承内的残余沙较少,主要分布于橡胶螺旋沟槽内,在承载面上只有少量泥沙;而直槽水润滑橡胶合金轴承内的残余泥沙较多,橡胶沟槽内和承载面上均分布大量泥沙。可见,螺旋槽水润滑橡胶合金轴承具有良好的排污能力,与同类轴承相比具有更长的使用寿命。



图12 螺旋槽水润滑轴承泥沙分布  
(含沙量 3.38%)



图13 直槽水润滑轴承泥沙分布  
(含沙量 3.38%)

### 3 结 语

通过对比实验,进行了螺旋槽和直槽结构的水润滑橡胶合金轴承摩擦学性能研究。结果表明螺旋槽水润滑橡胶合金轴承摩擦学性能优于直槽水润滑橡胶合金轴承,特别是在含泥沙环境中,它的漩涡效应使得它的杂质排泄能力显著,与同类轴承相比具有更长的使用寿命。同时,在后续研究中应考虑凹槽结构(包括周向和轴向结构)对水润滑橡胶轴承的摩擦学性能影响,建立其数学模型,为进一步优化和改进水润滑橡胶轴承性能提供理论支持和实验条件。

## 参考文献:

- [1] Orndorff R L, Jr. Water-lubricated rubber bearings, history and new developments [J]. Naval Engineers Journal, 1985, 97(7):39-52.
- [2] Kraker A D, Ostayen R A J V, Rixen D J. Calculation of Stribeck curves for (water) lubricated journal bearings [J]. Tribology International, 2007, 40(3): 459-469.
- [3] Tanamal T K H R. Modelling of fluid flow in multiple axial groove water lubricated bearings using computational fluid dynamics [D]. Australia: Queensland University of Technology, 2007.
- [4] Zhou Y, Li G X, Wang J X. Analysis of frictional noise for water lubricated rubber bearings system [J]. Advanced Materials Research, 2011, 156/157: 607-610.
- [5] Peng E G, Liu L L, Tian Y Z, et al. Experimental study on friction-induced vibration of water-lubricated rubber stern bearing at low speed [J]. Applied Mechanics and Materials, 2010, 44/45/46/47: 409-413.
- [6] Wang J X, Han Y F, Zhou G W, et al. Numerical analysis of concave-slab type water lubricated rubber alloy bearings' lubrication [J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 86:805-808.
- [7] Litwin W. Water-lubricated bearings of ship propeller shafts-problems, experimental tests and theoretical investigations [J]. Polish Maritime Research, 2009, 16(4):41-49.
- [8] 董从林,袁成清,刘正林,等. 水润滑艉轴承磨损可靠性寿命评估模型研究 [J]. 润滑与密封, 2011(12): 40-43.  
DONG Conglin, YUAN Chenqing, LIU Zhenglin, et al. Study on evaluation model of wear reliability life of water lubricated stern tube bearing [J]. Lubrication Engineering, 2011(12):40-43.
- [9] 姚世卫,王娟,王隽,等. 水润滑橡胶轴承摩擦行为及试验研究 [J]. 舰船科学技术, 2009,31(12):32-35.  
XIAO Shiwei, WANG Juan, WANG Jun, et al. Vibration and noise generation theory and experiment of water-lubricated rubber bearings [J]. Ship Science and Technology, 2009, 31(12):32-35.
- [10] 王家序,王帮长. 螺旋槽水润滑橡胶合金轴承:中国, CN200510057179.5[P]. 2006-01-11.
- [11] Majumdar B C, Pai R, Hargreaves D J. Analysis of water-lubricated journal bearings with multiple axial grooves [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2004, 218(2):135-146.
- [12] Pai R S, Pai R. Stability of four-axial and six-axial grooved water-lubricated journal bearings under dynamic load [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2008, 222(5):683-691.
- [13] Pai R S, Pai R. Non-linear transient analysis of multiple axial groove water-lubricated journal bearings [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 2008, 222(4):549-557.
- [14] 荀振宇,徐鹏,张少凯,等. 水槽结构对水润滑尾轴承润滑性能的影响研究 [J]. 江苏船舶, 2010(3):23-25.  
XU Zhenyu, XU Peng, ZHANG Shaokai, et al. Research on effect of marine water lubrication stern shaft lubrication with water trough structure [J]. Jiangsu Ship, 2010(3):23-25.
- [15] 李金明,王家序,肖科,等. 橡胶合金螺旋槽水润滑轴承流体域仿真分析 [J]. 润滑与密封, 2011,36(12):26-31,54.  
LI Jinming, WANG Jiaxu, XIAO Ke, et al. Simulation analysis and research for flow field in rubber alloy water-lubricated bearing [J]. Lubrication Engineering, 2011, 36(12):26-31,54.
- [16] 王优强,王龙,黄丙习,等. 水润滑橡胶轴承摩擦试验研究 [J]. 农业机械学报, 2006,37(2):136-140.  
WANG Youqiang, WANG Long, HUANG Bingxi, et al. Experimental study on friction and wear mechanism between rubber/nickel coating on steel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(2):136-140.

(编辑 张 苹)