

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 13



液体粘性调速离合器工作 机理研究与模糊控制器试制

- 作者：洪 跃
- 专业：机械电子工程
- 导师：刘 谨

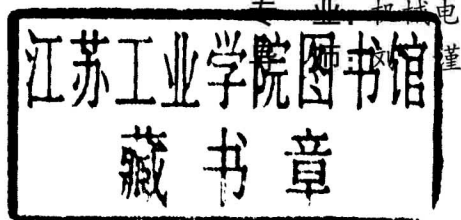


2005 年上海大学博士学位论文 13

液体粘性调速离合器工作 机理研究与模糊控制器试制

作 者：洪 跃

专 业：机械电子工程



上海大学出版社

· 上海 ·

Shanghai University Doctoral
Dissertation (2005)

Study Behavior of Speeding Wet Clutch and Fuzzy Controller

Candidate: Hong Yue

Major: Mechatronic Engineering

Supervisor: Prof. Liu Jin

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合
上海大学博士学位论文质量要求.

答辩委员会名单:

主任:	胡德金	教授,上海交通大学	200030
委员:	翁世修	教授,上海交通大学	200030
	邵鸣阳	教授,上海理工大学	200093
	林财兴	教授,上海大学	200072
	张国贤	教授,上海大学	200072
导师:	刘 瑾	教授,上海大学	200072

评阅人名单:

翁世修	教授, 上海交通大学	200030
梅雪松	教授, 西安交通大学	710049
王宛山	教授, 东北大学	110004

评议人名单:

冯培恩	教授, 浙江大学	310027
郭东明	教授, 大连理工大学	116024
张福润	教授, 华中科技大学	430074
张国贤	教授, 上海大学	200072

答辩委员会对论文的评语

洪跃同学的博士论文《液体粘性调速离合器工作机理研究与模糊控制器试制》选题正确、具有前沿性及重要的学术意义与应用价值. 论文主要研究成果及创新体现在以下几个方面:

(1) 构造了基于非牛顿流体、摩擦副几何形状、表面粗糙度等因素的粘性调速离合器摩擦副工作机理的分析模型, 揭示了输入、输出轴之间的运动、动力特性与上述因素之间的关系, 为粘性调速离合器的设计、正确运行提供了理论基础;

(2) 分析了粘性调速离合器在不同工作点的动态模型, 用模糊技术实现调速与控制的分析仿真, 为模糊控制技术在粘性调速器中的应用建立了理论基础;

(3) 设计和制造了一个数字模糊控制器, 经过调速器的闭环控制实验, 得出了比较满意的结果.

论文资料确凿、论据充分、论证严谨、表述规范、结构合理. 从论文中可以看出作者具有扎实的基础理论和专业知识, 具有独立科研能力与创新能力. 在答辩中, 阐述清楚, 回答问题正确.

答辩委员会表决结果

答辩委员会成员通过评议和无记名投票表决,全票同意通过洪跃同学的博士论文答辩,并建议授予博士学位.

答辩委员会主席: **胡德金**

2004 年 9 月 17 日

摘 要

液体粘性调速离合器是利用多个摩擦圆盘间的油膜剪切力来传递动力,并通过改变油膜厚度实行无级调速.本文主要从其工作机理的解析入手,分析液体粘性调速离合器的工作机理与输出特性,讨论了影响粘性调速离合器工作性能的各种因数,同时采用模糊技术,探讨实现模糊控制的可行性,并对模糊控制器的研制作了尝试.

鉴于近年来工程中广泛采用聚 α -稀烃型、聚酯型等合成油作润滑剂;在调速范围内,液体粘性调速离合器中的摩擦副往往工作在流体润滑、混合润滑、边界润滑直到直接接触的工况.基于这些特点,笔者采用了幂律型非牛顿流体模型、Patir-Cheng的平均流量模型、GT两粗糙平面接触模型构建了粘性调速离合器摩擦副工作机理的研究模型,同时计入了油膜的惯性与热效应影响.文章详细地研究与推导了适应粘性调速离合器摩擦副工作机理的雷诺方程、摩擦副之间的流体平均能量方程、摩擦副表面微凸体接触的压力方程和固体传热方程;在流体润滑、流体混合润滑状态下,进行了数值计算;对粘性调速离合器的摩擦副材料、沟槽形状、表面粗糙度、热效应等对传递转矩、平均推进压力、输出转速以及膜厚比的影响进行了讨论分析.研究结果表明:被动盘表面开设沟槽不但可以形成动力润滑,而且更重要的是可以对摩擦副表面起冷却作用;不同沟槽形状对工作机理的影响不大,但沟槽数量与沟槽角度会对工作

特性有一定的影响;对于粘性调速离合器而言,其摩擦副的热效应主要由于相对转速所致,相对转速越大,则热效应越显著;流体惯性效应通常不显著,只有当摩擦盘半径较大且绝对转速高于 $1\,500\text{ r/min}$ 时,才需考虑.本文还揭示了摩擦副工作时所涉及的输出转速、传递转矩、平均推进压力以及摩擦副间隙等参数之间的相互关系,所有这些将对粘性调速离合器的设计有着指导意义.

根据粘性调速离合器的运行特性,作者建立了动态分析模型,采用近似线性控制理论对其进行了定量分析与仿真,讨论了调速稳定性的基本要素.当粘性调速离合器工作在动力润滑区域,系统是稳定的;但进入混合润滑状态时,系统工作处于不稳定状态,需要采用反馈闭环系统来实现稳定控制.考虑到粘性调速离合器属于非线性系统,很难用数学方程组来描述其系统状态特性,所以尝试用模糊控制技术来实现调速控制.文章主要从实际应用的角度阐述了模糊控制技术的基本方法,对模糊控制技术在粘性调速离合器上的应用进行了讨论,建立了模糊控制的研究模型,构建了模糊变量、控制规则控制表,完成了控制仿真,证实了实现模糊控制的可行性.本文还根据现有的技术与硬件条件,完成了模糊控制器的研制以及控制试验.这些分析与试验为未来控制器设计提供了依据.

关键词 粘性调速离合器,模糊控制器,摩擦副,幂律流体

Abstract

Multi-frictional disks are employed to transmit the torque in speeding wet clutch, and the oil thickness within frictional disks could be adjusted for practical output speeding. The paper presents the analysis for behavior and output characteristics of speeding wet clutch, discusses factors which have impact on the speeding wet clutch. The fuzzy technology is applied for estimating feasibility of speeding wet clutch control. The fuzzy controller is made on trial and error.

Since oil combined with α -hydrocarbon or polyester is getting widely used as lubricant and the frictional disks in speeding wet clutch work within hydrodynamic lubrication, mixture lubrication, boundary lubrication and contact situation, the author establishes the analysis model for investigating the behavior of frictional disks in speeding wet clutch based on above characters, which covers the power-law fluid model, Patir-Cheng average flow model, 'GT asperity contact model, oil film inertia and thermal effect. The paper describes and deduces the formulas for speeding wet clutch in detail, which are Reynolds equation, mean energy equation, aspect pressure equation, and heat conduction equation. The numeral calculation is executed in hydrodynamic lubrication and mixture lubrication. The analysis is presented for

frictional material, groove shape, surface roughness, and thermal effect impacted on transmitted torque, mean push pressure, output speed, and film thickness rate in speeding wet clutch. The paper indicates that the groove in the passive frictional dish not only forms hydrodynamic film, but also cools surface of frictional dish, that the different shapes of the groove are less influence on the speeding wet clutch working behavior, but number and angle of the groove in speeding wet clutch have effect on the speeding wet clutch working behavior, that the more relative speed is, the more thermal effect does for speeding wet clutch, and that the fluid inertia could be ignored while the relative speed is less than 1,500 rad/min, otherwise the thermal influence should be considered. The paper also discovers the relationship with output speed, transmitted torque, mean push pressure, and film thickness rate, which is significant to speeding wet clutch design.

The writer sets up dynamic analysis model. An approximate linear control theory is used to consider essential of speeding stability after quantitative analysis and simulation are executed. The speeding system is stable while the speeding wet clutch works in the hydrodynamic region, and is unstable while the speeding wet clutch works in the mixed hydrodynamic region. The feedback is employed in order to realize to stable control. As the speeding wet clutch works as nonlinear and complex, the fuzzy control technology is attempted to make speeding control because it is difficult to

obtain exact mathematical model to describe the speeding manner. The thesis states the fuzzy control technology application in speeding wet clutch after expanding fundamental knowledge and approach of fuzzy control technology, sets up the fuzzy control research model, constructs fuzzy variables, makes control rules, completes control simulation, and verifies the feasibility of fuzzy control. The paper describes the fuzzy controller made with technique and hardware in hand and its testing. The analysis and discussion of fuzzy control application mentioned above are helpful to future fuzzy control design.

Key words speeding wet clutch, fuzzy controller, friction dish, power-law fluid

目 录

第一章 引言	1
1.1 粘性调速离合器简介	1
1.2 粘性调速离合器运行的几个关键问题	5
1.3 粘性调速离合器国内外研究概况	7
1.4 粘性调速离合器研究内容	12
1.5 粘性调速离合器研究方法	13
1.6 粘性调速离合器研究的特点	15
第二章 基本方程	17
2.1 摩擦副的雷诺方程	17
2.2 摩擦副传递的转矩	30
2.3 摩擦副中油膜的平均热能量方程	33
2.4 摩擦副的热传导方程	35
第三章 数值计算	36
3.1 数值计算的基本方法	36
3.2 雷诺方程的离散	41
3.3 平均能量方程的离散	43
3.4 摩擦副传热方程离散	46
3.5 摩擦副传递的转矩	48
3.6 摩擦副推力的计算	49
3.7 计算流程	49

第四章 计算结果与分析	51
4.1 牛顿流体与非牛顿流体的影响	52
4.2 几何参数的影响	57
4.3 热效应的影响	59
4.4 负荷影响	61
4.5 铜基材料	62
4.6 基本结论	66
第五章 粘性调速离合器模糊控制分析与控制器设计	70
5.1 粘性调速离合器的动态分析	70
5.2 粘性调速离合器系统的模糊控制与控制器设计	77
5.3 粘性调速离合器系统模糊控制技术的实现	84
第六章 粘性调速离合器模糊控制器试验	99
6.1 控制器的速度检测	99
6.2 磁传感器反馈的调速控制器	101
6.3 编码器反馈的调速控制器	103
第七章 主要结论与展望	106
7.1 主要结论	106
7.2 展望	109
参考文献	111
致谢	120

第一章 引言

1.1 粘性调速离合器简介

液体粘性调速离合器(图 1.1)简称粘性调速离合器,亦称奥美伽离合器,是一种利用液体粘性和油膜剪切作用无级可控的高新技术节能产品,它可广泛应用于需要无级调速的各种场合,并且特别适用于大功率风机水泵的调速节能,是此领域的一个最佳选择.

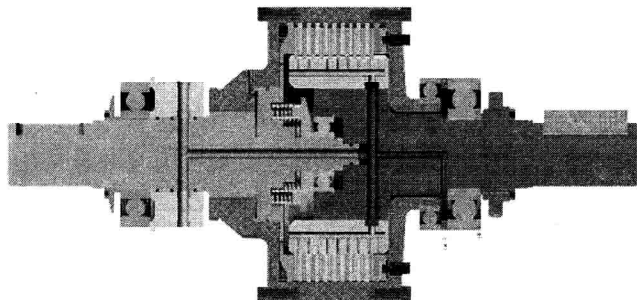


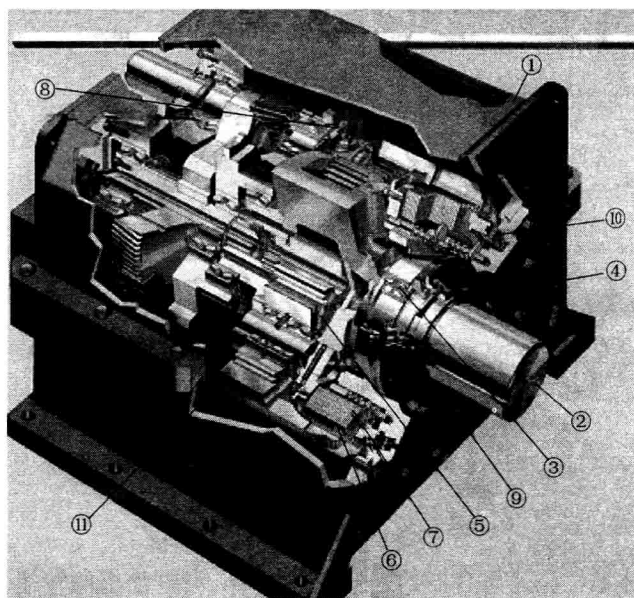
图 1.1 液体粘性调速离合器的结构简图

当不考虑轴承和密封等摩擦损失时,液体粘性调速离合器输入转矩等于输出转矩,输出转速可以从异步到同步无级可调. 所以广泛用于重载工况下实行“软启动”,即可控制地逐步克服整个系统的惯性而平稳地启动.“软启动”不仅能够大幅度减轻传动系统本身所受到的启动冲击,延长关键零部件的使用寿命,同时还能大大缩短电动机启动电流的冲击时间,减小对电动机的热冲击负荷及对电网的影响,从而节约电能并延长电动机的工作寿命.

液体粘性调速离合器通常应用于大型的风机和水泵上,对其进行无级调速,并起到了良好的节能效果. 据统计全国风机和水泵的总耗电量约占全国总发电量的 31%,接近全国工业用电量的 50%. 而在电力系统的火力发电厂,风机和水泵的总耗电量约占全厂用电量的 82%. 因此,降低风机和水泵的电耗对节能挖潜具有重大意义. 降低风机水泵的电耗,除了提高风机或水泵与本身的效率外,采用调速驱动是一种极为有效的措施. 有资料表明:在“十五”期间,据预测在全国电力系统,平均每年电力的需求量递增 5%,考虑到有些机组退役,因此还会有 6 000~7 000 万 kW 投产. 与风机直接相关的火力发电机组,主要发展火力发电机组是 30 万 kW 以上高参数、高效率、调峰性能好的洁净燃煤机组、燃气蒸汽联合循环机组. 在石油化工行业,天然气的西气东输项目,每 50 km 需要一个加压站. 在“十五”期间将要落实 30 万 t/年合成氨装置的国产化,该装置需要配 4 万 m³/h 的空分装置. 冶金工业将在结构的调整中,发展大型转炉、电炉、炉外精炼、连铸与薄板轧钢. 在“十五”期间,农业发展的集约化、城市基础设施建设都会有巨大的发展. 以上各产业的发展规划均隐含了风机与水泵的大市场,也间接地反映了液体粘性调速离合器应用的市场潜力.

液体粘性调速离合器与齿轮组合可以成为高效的传动装置如图 1.2 所示. 液体粘性调速离合器工作在啮合与分离工作状态可用作联轴器,它是四轮驱动汽车的主要部件. 将液体粘性调速离合器的被动轴固定,或将被动摩擦片与固定的壳体相连,则就改造成了“液体粘性制动器”,由于制动器依靠转速差和油膜厚度的变化来获得所需的制动转矩,因此其最大的优点是制动平稳,制动转矩可控,寿命长.

液体粘性调速离合器是属于液体粘性传动的一种,它是利用液体的粘性及油膜剪切来传递动力的. 其基本原理是牛顿内摩擦定律:两平行的平板间充满粘性的液体,形成一定的油膜厚度. 当两平板作相对运动时,其间的平板受到剪切作用,动力由主动摩擦盘传向从动摩擦盘. 油膜所传递的切应力大小与液体的动力粘度成正比,与两平板的相对速度成正比,与油膜厚度成反比. 液体粘性调速离合器通过



① 齿轮减速箱 ② 输出轴 ③ 轴承 ④ 密封环 ⑤ 齿轮 ⑥ 静摩擦片
⑦ 动摩擦片 ⑧ 润滑油管道 ⑨ 速度传感器 ⑩ 推力油缸 ⑪ 热传感器

图 1.2 液体粘性调速离合器与齿轮组合结构

调节油膜厚度来改变所传递动力的大小,从而达到无级调速的目的.该传动技术不同于液压传动与液力传动.液压传动是基于帕斯卡定律,以液体的压能来传递动力的.液力传动是基于欧拉方程,以液体动量矩的变化来传递动力,典型的产品有液力耦合器、液力变矩器.

液体粘性调速离合器的结构主要由工作部件与控制部件组成(图 1.3).工作部件是主动摩擦盘和被动摩擦盘,它们分别通过花键与主动轴和被动轴相连接.在主、被动摩擦盘之间有均匀分布的油膜,这种油膜就是传递扭矩的工作介质.扭矩由主动轴经花键传给主动摩擦盘,再通过油膜剪切力传给被动摩擦盘,最后经花键传给被动轴.主、被动摩擦盘不是一片,而是多片,它们交替排列成一组.所有摩擦片均可以沿轴向滑动,来改变它们之间的距离.控制部件由电液