

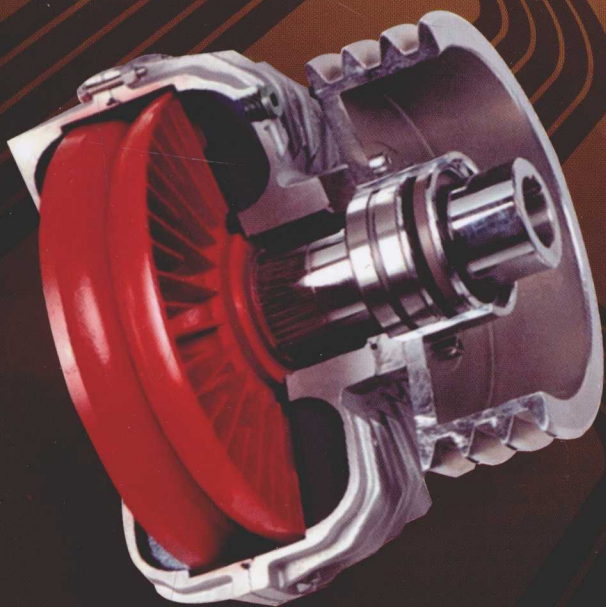
杨贵华 编著

液力传动节能装置

——液力偶合器、液黏调速离合器

YELI CHUANDONG
JIENENG ZHUANGZHI

YELI OUHEQI
YENIAN TIAOSU
LIHEQI



化学工业出版社

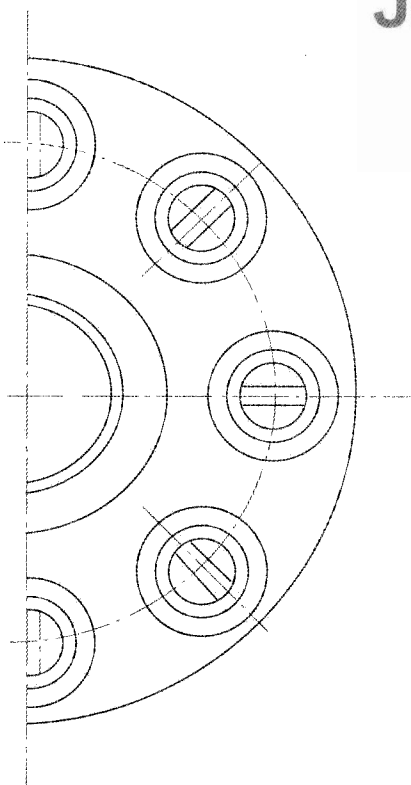
杨贵华 编著

液力传动节能装置

——液力偶合器、液黏调速离合器

YELI CHUANDONG
JIENENG ZHUANGZHI

YELI OUHEQI
YENIAN TIAOSU
LIHEQI



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液力传动节能装置——液力耦合器、液黏调速离合器/杨贵华编著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-122-06950-4

I. 液… II. 杨… III. ①液力耦合器-基本知识
②黏性流体-离合器-基本知识 IV. ①TH137.331
②TH133.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 195096 号

责任编辑: 贾娜
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 267 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

欢迎订阅化工版液压与气动技术图书

液力偶合器实用手册	2008 年/16 开/69 元
液力偶合器应用与节能技术	2006 年/16 开/38 元
常用液压测试仪器及使用入门	2009 年/大 32 开/20 元
液压维修入门	2009 年/大 32 开/28 元
现代液压技术应用 220 例 (第二版)	2009 年/16 开/82 元
典型液压元件结构 600 例	2009 年/16 开/78 元
液压气动系统常见故障分析与处理	2009 年/16 开/49 元
液压设备故障诊断与维修案例精选	2009 年/16 开/48 元
液压维修工速查手册	2009 年/大 64 开/39 元
液压与气动图形符号及识别技巧	2009 年/大 32 开/25 元
液压泵及液压马达原理、使用与维护	2009 年/16 开/48 元
液压识图 100 例	2008 年/B5 开/29 元
液压阀原理、使用与维护 (第二版)	2009 年/16 开/88 元
液压实用回路 360 例	2008 年/16 开/36 元
液压维修技术问答	2008 年/16 开/36 元
液压辅件——实用液压技术丛书	2008 年/B5 开/30 元
液压站——实用液压技术丛书	2008 年/B5 开/35 元
液压系统使用与维修手册	2008 年/16 开/138 元
液压气动工——机械工人模块化学习与训练丛书	2008 年/大 32 开/18 元
液压元件使用指南	2008 年/16 开/48 元
液压与气动元件操作训练	2007 年/大 32 开/20 元
液压气动技术实用问答	2007 年/16 开/39 元
液压识图	2007 年/16 开/28 元
蓄能器实用技术	2007 年/B5 开/28 元
工程机械液压系统及故障维修	2007 年/16 开/38 元
机床液压系统及故障维修	2007 年/16 开/28 元
汽车液压系统及故障维修	2007 年/16 开/26 元
液压工必读	2007 年/大 32 开/18 元
液压气动技术速查手册	2007 年/16 开/86 元
液压挖掘机	2007 年/16 开/22 元
液压系统设计丛书——液压元件及选用	2007 年/16 开/58 元
液压系统设计丛书——液压控制系统及设计	2006 年/16 开/49 元
液压系统设计丛书——液压系统使用与维修	2006 年/16 开/35 元
液压系统设计丛书——液压传动系统及设计	2005 年/16 开/56 元

以上图书由化学工业出版社 机械·电气出版分社出版。如要以上图书的内容简介和详细目录,或者更多的专业图书信息,请登录 www.cip.com.cn。如要出版新著,请与编辑联系。

地址:北京市东城区青年湖南街 13 号 (100011)
 购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686)
 编辑电话:010-64519276
 E-mail: jiana@cip.com.cn

前 言

我国是一个能源相对缺乏的国家，又是能源消耗大国。随着经济的快速发展，国家所承载的资源、能源压力越来越重。从能源的利用情况来看，我国的工业用电占全国耗电量的67%，风机、水泵用电占全国耗电量的30%，而液力行业的主导产品正是主要为风机、水泵运行配套的节能产品。

自1978年我国引进液力偶合器专有技术以来，在国家大力扶持和推广下，液力传动工业获得了很大发展，液力偶合器在各部门的应用逐步拓展并取得了显著的技术经济效益。虽然液力偶合器具有显著的节能效果且应用推广已初见成效，但与我国的节能需要相比，还有很大差距，究其原因，主要是液力传动这项先进节能技术仍不为更多的人所了解。本书的编写，正是为了更好地推广应用节能技术，推广液力偶合器和液黏调速离合器这两项已经经过实践检验的液力传动节能装置，希望能为国家节能事业和液力行业的发展略尽薄力。

本书系统地介绍了两类目前应用最广的节能装置——液力偶合器和液黏调速离合器的工作原理、设计计算、试验方法、试制、台架试验、常见故障及处理、使用维护及检修等内容，并列举了首钢使用液力偶合器及液黏调速离合器实现大量节能的具体实例。本书理论联系实际、通俗易懂、深入浅出、内容丰富、实用性强，适合液力传动节能装置的设计、制造与使用单位的技术人员阅读，也可供工科院校相关专业师生学习参考。

本书由杨贵华编著。编写过程中，得到了国内外同行的大力帮助，并借鉴了先辈和同行们的宝贵经验，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 液力传动装置	1
1.1 液力传动简介	1
1.1.1 液力传动定义	1
1.1.2 液力传动发展简史	1
1.1.3 液力传动研究现状与发展趋势	3
1.2 各种变速传动装置的性能、适用范围及选用原则	5
1.2.1 各种变速传动装置的性能及适用范围	5
1.2.2 各种变速传动装置的选用原则及建议	5
1.3 液力偶合器与液体黏性调速离合器优缺点对比	6
1.4 首钢采用液力传动装置取得的节能效果	6
第 2 章 液力偶合器	9
2.1 液力偶合器的工作原理	9
2.1.1 偶合器的基本工作过程	9
2.1.2 偶合器转矩的传递	11
2.1.3 偶合器的流量	13
2.2 偶合器的特性	14
2.2.1 偶合器的外特性	14
2.2.2 偶合器的基本计算方程	16
2.2.3 偶合器的原始特性	16
2.2.4 偶合器的通用特性	17
2.2.5 偶合器部分充液时的工作特性	18
2.3 液力偶合器分类及其结构性能	19
2.3.1 液力偶合器型式和基本参数	19
2.3.2 液力偶合器的基本分类及其结构性能	21
2.3.3 液力偶合器的传动装置	32
2.4 液力减速(制动)器	34
2.4.1 液力减速(制动)器原理和分类	34
2.4.2 机车用液力减速(制动)器	35

2.4.3	汽车用液力减速（制动）器	36
2.4.4	固定设备用液力减速（制动）器	38
2.4.5	液力减速（制动）器的优缺点	41
2.4.6	堵转阻尼型液力耦合器	41
第3章	首钢 YOTC-900 液力耦合器	43
3.1	设计特点	43
3.2	主要技术性能	43
3.3	工作原理、结构特点	44
3.4	使用维护	47
3.4.1	试车	47
3.4.2	验收	48
3.4.3	使用维护注意事项	48
3.5	液力耦合器常见故障、原因及排除方法	49
3.6	液力耦合器检修周期、内容及质量标准	49
3.6.1	检修周期	49
3.6.2	检修内容	49
3.6.3	检修方法及质量标准	50
3.6.4	检修中应特别注意的问题	51
3.7	耦合器的拆装	52
第4章	液体黏性调速离合器	53
4.1	概述	53
4.2	液体黏性调速离合器的主要类型及结构	54
4.2.1	HC 型液体黏性调速离合器	54
4.2.2	TL 型液体黏性调速离合器	61
4.3	液体黏性调速离合器的转速控制系统	62
4.3.1	概述	62
4.3.2	HC 系列液体黏性调速离合器的转速控制系统	65
4.3.3	国外液体黏性调速离合器的转速控制系统	70
4.4	液体黏性调速离合器设计	72
4.4.1	液体黏性调速离合器的特性	72
4.4.2	液体黏性调速离合器主机的设计	75
4.4.3	液体黏性调速离合器液压系统的设计	107
4.5	液体黏性调速离合器的工程应用	115
4.5.1	液体黏性调速离合器与其他调速方法的比较	115

4.5.2	在风机、水泵中的应用	119
4.5.3	在液力变矩器中的应用	126
4.5.4	在汽车四轮驱动系统中的应用	127
4.5.5	在制动器及测功器中的应用	133
第5章	首钢液体黏性调速离合器的设计	134
5.1	设计计算过程	134
5.1.1	设计要求	134
5.1.2	计算转矩的确定	135
5.1.3	轴径的确定	135
5.1.4	摩擦副的计算	136
5.1.5	压紧力的计算	136
5.1.6	单位摩擦面积最大滑摩功率的计算	137
5.1.7	摩擦片花键参数的确定及强度校核	137
5.1.8	键连接计算	138
5.1.9	活塞受力分析及弹簧的受力计算	139
5.1.10	润滑-控制油路系统的设计计算	145
5.1.11	驱动润滑油泵齿轮的设计计算	152
5.2	台架试验	154
5.2.1	试验目的和内容	154
5.2.2	试验设备及测试仪器	154
5.2.3	试验台布置	155
5.2.4	试验程序	155
5.2.5	试验结果	157
5.2.6	结论	158
5.3	液体黏性调速离合器的使用维护与检修	159
5.3.1	使用维护注意事项	159
5.3.2	常见故障、原因及排除方法	159
5.3.3	检修周期及检修内容	159
5.3.4	拆卸与重新装配	161
参考文献		162

第 1 章 液力传动装置

1.1 液力传动简介

1.1.1 液力传动定义

现代机械种类繁多，机械系统也越来越复杂。但从实现系统功能的角度分解，机械系统主要包括动力系统、执行系统、传动系统、操纵系统、框架支撑系统等子系统。

传动系统是机器的重要组成部分，其作用是将动力系统产生的运动和转矩传递给执行机构；在传递运动和转矩的同时调节或变换动力系统的性能，满足执行系统的要求，以实现预定功能。按照传递能量的方式，传动系统分为四种类型，即机械传动、电力传动、流体传动和复合传动。

在传动系统中，若有一个或一个以上的环节以液体为工作介质传递动力，则此传动系统定义为液体传动系统。在液体传动系统中，以液体传递动力的环节称为液体传动元件，简称液体元件。若工作介质为气体，则为气压传动。

在液体元件传递能量过程中，机械能首先转变为液体能，再由液体能转变为机械能。液体能量以三种形式存在：动能、压能、位能。

在液体元件中液体相对高度位置没有变化或变化很小，位能变化可以忽略不计。因此，在液体元件中运动液体的能量变换主要表现为动能和压能两种形式。

主要依靠工作液体压能的变化传递或实现能量变换的液体元件称为液压元件，如液压泵、液压马达和液压缸。在传动系统中有一个或一个以上的环节采用液压元件传递动力时称为液压传动。主要依靠工作液体动能的变化传递或实现能量变换的液体元件称为液力元件，如液力耦合器和液力变矩器。在传动系统中有一个或一个以上的环节采用液力元件传递动力时称为液力传动。

1.1.2 液力传动发展简史

(1) 液力传动的出现与发展

液力传动的研究与应用出现于 20 世纪初，液力传动最早应用于船舶工业，作为船舶动力机构（汽轮机）与执行机构（螺旋桨）之间的传动机构。大功率、高转速汽轮机的出现，为船舶工业提供了新型的动力。但由于螺旋桨受到气蚀的限制，转速不能很高。因此，在汽轮机与螺旋桨之间需要设置大功率的减速装置。在当时的技术条件下，齿轮的制造技术水平相对低下，不能制造所要求的精度和表面粗糙度的大直径齿轮。在此情况下，德国的盖尔曼·弗丁格尔教授提出如下设想：把离心式水泵和水轮机用粗管连接，用原动机带动离心式

水泵, 集水槽中的水被水泵抽上来以后, 通过管道进入水轮机, 冲击水轮机叶片, 使水轮机旋转, 水轮机则带动工作机转动, 见图 1-1。

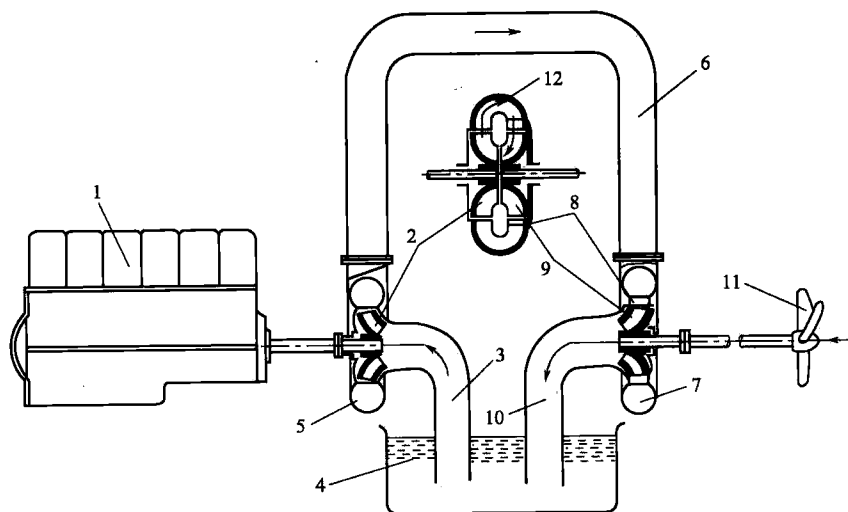


图 1-1 液力传动原理

- 1—发动机; 2—离心泵的工作轮; 3—离心泵的进水管; 4—集水槽; 5—泵的涡壳; 6—连接管路;
7—水轮机的涡壳; 8—导水机构; 9—水轮机的工作轮; 10—水轮机的尾水管;
11—螺旋桨; 12—液力传动的原理简图

这种传动方法可以解决高低转速的变换问题, 而且可以解决螺旋桨在推动船只运行过程中转矩的变化问题。但这种方案的缺点是传动效率太低, 小于 70%, 这样的传动效率无法得到实际应用。为了提高传动效率, 盖尔曼·费丁格尔教授将离心泵和水轮机的工作轮尽量靠近, 取消进、出水管和水槽等不必要的机构(如图 1-1 中的 12 所示), 以具有新的几何形状的泵轮和涡轮取代离心泵和水轮机, 构成一个共同的工作液体循环腔。当构成试验功率为 75kW、变矩比 $K=5$ 的液力变矩器时, 效率达到 83%。液力传动及其传动元件——液力变矩器从此诞生, 并在船舶工业中得到成功应用和发展。1912 年德国客轮“切勒比茨”号上安装的液力变矩器传动效率达到了 88.5%。

伴随着科学技术的发展, 机械加工制造业得到了迅速的发展。在第一次世界大战前, 齿轮制造工艺获得很大发展, 船舶工业中的液力传动元件被制造精密的齿轮传动所代替。但在船舶工业应用液力传动的过程中, 人们对液力传动的性能特点有所了解和认识, 如涡轮转速随负载的变化而自动变化, 对传动系统的缓冲与减振等。这些功能对船舶来说不一定那么重要, 但对于陆地行驶的车辆却是非常理想和重要的。

根据液力变矩器的这些特性以及陆上行驶车辆对传动系统的要求, 在 20 世纪 30 年代, 瑞典的阿尔夫·里斯豪姆与英国的史密斯合作, 设计了里斯豪姆-史密斯三级液力变矩器, 并将其成功应用于城市公共汽车。液力变矩器本身所具有的特殊性能极大地改变了公共汽车的传动特性, 因此, 许多其他类型的车辆相继安装了液力变矩器。自此, 液力变矩器重新得到发展。尤其自第二次世界大战以来, 随着军事工业的迅速发展, 液力传动得到进一步的发展和应用。

(2) 液力传动在国外的应用

军事工业对液力变矩器的成功应用, 引起世界民用工业, 如拖拉机、汽车、工程机械、

建筑机械等制造行业的注意,并将液力变矩器广泛应用到各种轮胎和履带式车辆以及内燃机车的传动系统中。国外的汽车、拖拉机、坦克、自动火炮、装甲运输车、装载机、铲运车、挖掘机以及内燃机车等很多机械和车辆采用了液力传动。美国自20世纪70年代起,每年在轿车上液力变矩器的装备率达90%以上;而在市区公共汽车上液力变矩器的装备率几乎达到100%。在某些专门用途的车辆,如重型载重汽车及非公路车辆上液力变矩器的装备率亦在70%以上。在各种工程机械中,液力传动已经占绝对的优势地位。液力传动不仅广泛应用于各种车辆中,而且也被广泛应用于诸如石油钻探机械、冶金机械、化工机械、矿山机械、食品机械等各种工业机械中,甚至在航空航天机械中也得到成功应用,例如在美国的B-1型战略轰炸机上,燃气轮机的启动也采用液力传动。

在汽车工业中,美国的通用汽车公司、福特汽车公司,日本的丰田、日产公司,德国的奔驰、ZF公司、伦克公司,瑞典的斯堪尼亚公司以及意大利的非亚特公司等都生产了有液力传动配二挡、三挡或四挡自动变速箱的汽车。

在工程机械方面,日本生产的KLD100装载机、美国卡特皮勒公司生产的950B和966D装载机,日本小松公司生产的D85-12A型推土机,美国卡特皮勒公司生产的T25D、日本丰田公司生产的42-4FG14型、日产公司生产的135DL和长河MFL-460型、意大利非亚特公司生产的D115C型叉车都装备了液力传动装置。

(3) 液力传动在我国的发展与应用

在20世纪50年代,有关工厂、高等院校、科研单位共同协作,为大功率的“卫星”号内燃机车和“红旗”牌轿车配套研制液力变矩器,成功研制出液力传动系统,开创了我国独立设计、制造液力传动的历史。从此,液力传动在我国获得稳步发展。

1958年,我国机车工业自行设计制造了“卫星号”(即“东方红I型”)液力传动内燃机车。该内燃机车采用两套735kW柴油机和液力传动机组。液力传动由三个液力变矩器组成:一个启动液力变矩器,两个相同的运转液力变矩器。以后又研制开发出“东方红(DFH)”型系列液力传动内燃机车。DFH1型装备一套735kW马力柴油机——液力传动机组,作为调车机车;DFH2型装备两套735kW柴油机——液力传动机组,作为客运机车。DFH型内燃机车的液力传动系统为SF2010型液力变速箱,该变速箱包含两个性能不同、但相互配合很好的液力变矩器。同时,440kW的红旗型和“东方红4”型2001号液力传动内燃机车设计制造成功。1970年,4400kW的“北京号”(2×2200kW)液力传动内燃机车设计制造成功,从而使我国进入世界制造大功率液力传动内燃机车的行列。

我国汽车工业自动设计并批量生产的液力传动红旗牌轿车CA-770,采用了四元件综合式液力变矩器配两挡行星自动变速箱和液压操纵的液力传动系统。在此基础上还设计制造了CA-774型红旗牌轿车,它是CA-770型的改进型。目前,许多轿车(如奥迪、捷达、别克等)均有装备液力传动自动变速的型号。

我国自行设计并批量生产的上海牌32吨自卸载重汽车(SH180)采用了包含四元件综合式液力变矩器、固定轴式变速箱、液压操纵的液力传动系统。

1.1.3 液力传动研究现状与发展趋势

近年来,随着计算流体力学、计算机技术以及流动测试技术的不断发展,对液力传动的研究已经逐渐深入到各个层面,不仅包括液力传动元件本身的结构特点、三维流动计算、三维设计方法、流动测量、相关特性等方面,而且涉及与液力传动相关的动力装置和传动系

的特性及其对液力传动元件特性参数的影响、液力传动元件与动力特性优化研究等各个相关方面的研究,并已取得很多进展。

(1) 多普勒激光测速(LDA)和粒子图像测速(PIV)技术

LDA技术实现了对流场的无接触测量,测量反射光相对于原入射光多普勒频移量,计算粒子运动速度。LDA测量方法属单点测量。

PIV技术用计算机采集流动图像,并通过专门编辑的程序对其进行图像分析,掌握液力变矩器内部流体在不同转速、不同负载条件下的流动过程、流场规律及其模化流动物理过程。在此基础上研究液力变矩器工作轮叶片的三维设计理论以及其他部件的设计计算方法。PIV粒子图像测速技术的关键问题是粒子速度方向二义性的辨识。可采用三曝光三相关技术使其自动辨识速度方向,并采用专门软件对速度信息进行处理,得到三维流动内流场的速度矢量和数值。

液力传动的发展与实验技术是息息相关的。试验手段的先进与否决定了实验的可靠性与精确性。PIV、LDA实现了流场的非接触测量和可视化,是近些年来流动试验的主导测试手段。

(2) CFD专用软件对流场进行数值模拟与仿真

目前有一些比较成熟的CFD流动计算软件。国外利用CFD软件对液力变矩器三维流场进行模拟,模拟过程及结果显示了软件优越的性能。国内也正在利用CFD软件对液力变矩器的内部流场进行仿真研究,模拟的初始条件和边界条件可由激光PIV和IDA测量试验给出,仿真结果的正解性和精度也可通过试验验证。

(3) 三维流动理论叶片设计方法

目前液力传动元件工作轮叶片的设计方法主要采用保角变换法、环量分配法和两类相对流面法。由于两类相对流面的局限性,该设计方法在实际设计中应用的不是很多。叶轮机械三维流动理论、先进的试验手段以及CFD专用软件进行的三维流动数值模拟和仿真,为叶片设计新方法——基于三维流动理论的叶片设计法的深入研究提供了条件。鉴于三维流动叶片设计法所具有的有效性、精确性、可验证性,必将成为国内外液力传动行业所追求和深入研究的叶片精确设计方法。

(4) 动态特性研究

对液力变矩器而言,车辆起步、加速、通过障碍、换挡、制动等负载变化剧烈的工作环境称为非稳定工况。液力变矩器在非稳定工况下所表现的特性称为动态特性。

长期以来,液力变矩器动态特性研究均采用一维束流理论。但一维束流理论存在许多假设和简化,影响其分析、计算的精确性,从而限制了它的应用范围。基于快速性、准确性等瞬态指标进行液力元件动态实验研究和理论分析很少有公开的报道。采用系统辨识方法对液力变矩器的动态特性进行理论建模,并对变矩器进行试验辨识,可以获得其动态特性数学模型。利用专门编译的系统辨识仿真软件,通过试验对所建模型的参数进行辨识的结果表明,采用动态特性辨识方法对液力变矩器动态特性进行研究,可行且精度较高。

(5) 动态匹配

液力变矩器在各个领域越来越多地得到应用。在实际应用中必然涉及动态匹配的问题,即发动机和液力变矩器以及整个传动系的动态匹配问题。分析发动机和液力变矩器的共同工作特性,通过动态匹配改善车辆传动系以输出功率为目标的换挡规律,并实现经常使发动机在低油耗区工作,使液力变矩器在高效区工作。

1.2 各种变速传动装置的性能、适用范围及选用原则

1.2.1 各种变速传动装置的性能及适用范围

① 调速型液力耦合器。调速范围 (33~97)%。调速灵敏, 使用可靠, 价格中等, 只要匹配合理, 是国内技术上成熟的节能设备。目前首钢机械工程总公司、上海交大附属工厂、上海 711 研究所 101 厂、大连、蚌埠液力机械厂均有产品, 其型号基本可满足用户需要。调速型耦合器存在的问题是: a. 在额定工况下有 3% 滑差损失; b. 对大功率低转速液力耦合器, 存在体积大、重量重、价格高等问题, 推广应用受到一定限制。它适用于中、大功率, 中、高速传动, 价格约为电机(同容量)的 1~2.5 倍。具有国内先进水平。

② 液体黏性调速离合器 (亦称奥美伽离合器)。调速范围 1:10, 被日本称之为“划时代的传动”。国内首钢机总、杭州齿轮箱厂、北京理工大学、上海交通大学等单位已研制成功, 正生产试用。有的已取得专利或鉴定, 但品种规格尚不够齐全。此类离合器是机械变速的发展方向。其性能、效率、价格均优于液力耦合器, 价格约为同容量电机 1~2 倍。应加速开发研制, 大力推广, 不断提高质量。

③ 电磁调速电机。传动比 1:10, 具有恒力矩特性, 转速最高可达 1350r/min, 节电及调节中等, 适于中小功率低速传动。目前国内可生产 520kW 装置, 其价格 (包括制动器) 约为同容量电机的 3.5~6 倍, 价格高于前两种调速装置。

④ 变级调速 (即多速电机传动)。包括切换开关约为同容量电机价格的 3 倍。因一般只达 2 级变速, 仍需与挡板调节结合, 故效率不高, 尚不能无级变速, 限于低压小功率传动, 电力设计单位很难选用。

⑤ 调压调速。是利用电力电子装置在电机低负荷时降低电源电压, 减少铁损和励磁电流, 以提高电机功率因素和效率, 增大滑差降低转速。优点是价格低, 为配用电机的 0.5~1 倍, 但节电效率不高, 目前功率只可到 200kW。

⑥ 变频调速。是以电力电子装置按需要连续降低或升高电源频率, 以达到大范围无级变速。一般电源电压也与频率成比例升降, 故亦称变压变频 (VVVF) 调节。调速范围广, 理论效率高, 调节性能好。适于各种型号容量转速交流机组, 是今后交流变速发展方向。但其价格昂贵, 约为同容量电机价的 12~15 倍, 推广使用受到很大限制。需加速开发品种, 降低成本, 目前较难推广应用。

1.2.2 各种变速传动装置的选用原则及建议

① 对 $n \leq 3000\text{r/min}$, 中小容量高速风机、水泵, 宜采用液力耦合器和液黏调速离合器, 立式凝结泵可采用调压或变频装置。

② 对大容量机组高压给水泵, 目前应采用液力耦合器, 今后逐步过渡到液黏调速离合器。

③ $n \leq 1000\text{r/min}$ 低速机组锅炉引风机、循环水泵、中速风扇及除尘风机、污水泵等, 可采用液黏调速离合器及双速电机传动的 JZFT 系列电磁离合器或变级变压调速系统。

④ 高压 1000r/min 风机水泵可选液力耦合器或液黏调速离合器。

⑤ 对 $n = 1500\text{r/min}$ 中速机组如排粉机、风扇、高速引风机、循环泵、射水泵等, 按容

量及要求选用。中等容量且调节要求较高时可选液力偶合器或调速离合器；小容量且调节要求不高的可选变级调压调速系统。

1.3 液力偶合器与液体黏性调速离合器优缺点对比

液力偶合器与液体黏性调速离合器是两类应用最多的液力传动装置，其优缺点对比见表 1-1。

表 1-1 液体黏性调速离合器与液力偶合器比较表

比较内容	液体黏性调速离合器	液力偶合器
传动原理	液体黏性传动是依靠油膜剪切来传递动力变换扭矩	液力传动主要依靠液体的动能传递动力变换扭矩
传递扭矩依靠对象	靠旋转油缸与活塞中的油压 P_w 来调节主动片与从动片之间的间隙；把电动机的机械能经油膜传给从动摩擦片和从动轴来带动风机或水泵工作	靠泵轮、涡轮通过工作液体由泵轮机械能转换成工作液动能，再传给涡轮转变成机械能带动风机或水泵工作
优缺点	除具备了偶合器的全部优点外，还具有以下特点 (1) 它可实现 $n_1 = n_2$, 100% 传动 (2) 节能效果比偶合器好，可多节省 3% (3) 可以一机多用，如除起离合器作用外，也可当制动器、试验台功率吸收装置等使用，它是一个万能型液力偶合器 (4) 不用价格较贵的铸铝合金，造价便宜，与同功率同转速的相比，造价少 50% 左右，售价低，易于推广应用	(1) 偶合器有 3% 滑差，不可能实现 100% 传动 (2) 节能效果比液黏离合器差 (3) 不能一机多用 (4) 价格比液黏离合器贵，投资较大
发展前途预测	从长远看，比偶合器应用前景好	近期比液黏离合器销售量大，但从长远看，发展前景不如液黏离合器

1.4 首钢采用液力传动装置取得的节能效果

① 首都钢铁公司机电设计研究院自行设计研究成功的首钢 YOTC-800 液力偶合器，功率 $N=460\text{kW}$ ，主动轴转速 $n_1=985\text{r/min}$ ，1977 年 7 月在首钢二高炉出铁厂除尘风机投产应用，两用一备。经北京理工大学台架试验和现场实测，每年可节电 401.80 万千瓦时，按工业用电 0.48 元/度计算，每年可节省电费 192.89 万元，节电率 52%，经济效益非常显著。1983 年，冶金工业部邀请全国专家进行鉴定，决定在全国推广应用。到 2009 年，已安全运行 30 年，累计节电 5786.7 万千瓦时，累计节省电费 2777.6 万元，1984 年荣获北京市科技成果二等奖。

② 首钢自行设计研制的首钢 YOTC-900 液力偶合器，功率 $N=780\text{kW}$ ，主动轴转速 $n_1=985\text{r/min}$ ，1983 年 2 月在首钢三、四高炉出铁厂除尘风机投产使用，四用一备。经北京理工大学现场测试每年可节电 1284.20 万千瓦时，节省电费 616.42 万元，节电费 49%，已安全运行 26 年，累计节电 33389.2 万千瓦时，累计节省电费 16026.8 万元，1985 年获得

北京市新技术开发优秀项目三等奖。同年, 首钢 YOTC-800 和 YOTC-900 被评为北京市优秀节能新产品二等奖。

③ 首钢 1986 年自行研制成功首钢 YNT-02 液体黏性调速离合器, 功率 $N=460\text{kW}$, 主动轴转速 $n_1=1450\text{r/min}$, 1986 年 2 月在首钢试验厂转炉除尘风机投产使用, 它比调速型液力偶合器更先进, 没有 3% 的滑差损失, 被日本称为“划时代的传动”, 经北京理工大学台架试验和北方工业大学测试研究所现场实测, 每年可节省电能 386.4 万千瓦时, 节省电费 185.28 万元, 节电率 50%, 已安全运行 8 年, 累计节电 3091.2 万度, 累计节省电费 1483.8 万元, 1986 年被中国专利局评为实用型专利。

④ 首钢 YOTGC 1000/3700/1500/700 液力偶合器传动装置 1985 年在首钢二炼钢厂 210 吨转炉二次除尘风机投产使用, 两用一备, $N=3700\text{kW}$, $n_1=1450/700\text{r/min}$ 。经北京理工大学现场实测每年可节电 2983.6 万千瓦时, 节省电费 3111.55 万元, 节电率 48%, 已安全运行 24 年, 累计节电 71606.4 万千瓦时, 累计节省电费 34371.07 万元。

⑤ 首钢自行设计研制 YOTC-1000 液力偶合器。偶合器 $N=1000\text{kW}$, $n_1=1000\text{r/min}$, 1993 年 1 月在首钢焦化厂新一焦炉焦侧除尘风机投产使用, 经北方工业大学测试研究所现场实测每年可节电 420.0 万度, 节省电费 281.6 万元, 节电率 50%。该偶合器经北京新技术研究所查新, 为国内首创, 1994 年冶金工业部邀请全国专家评审, 达到国内外先进水平, 已安全运行 16 年, 累计节省电能 3225.6 万千瓦时, 累计节省电费 1548.3 万元, 1994 年荣获北京市新技术开发优秀项目三等奖。

⑥ 首钢 YNT40/460/150 液黏调速离合器。传递功率 $N=460\text{kW}$, 转速 $n_1=1450\text{r/min}$; $n_2=1450\text{r/min}$, 两用一备。

1986 年 1 月 2 日在首钢试验厂转炉与 D250 风机匹配投产, 一次试车成功。经北京理工大学和北方工业大学测试研究的现场实测, 实现了 $n_1=n_2$, 100% 传动。

经实测, 每年可节电 386.40 万千瓦时, 每年可节省电费 185.47 万元, 节电率 50%。

从投产到三炼钢 210t 转炉建成, 安全运转 8 年, 累计节电 3091.20 万千瓦时, 累计节省电费 1413.71 万元, 经济效益非常显著。

1986 年被中国专利局批准为实用新型专利。

1986 年在里斯本国际发明展览会荣获尤利卡奖二级骑士勋章。

1986 年, 中国发明家协会授予工程师杨贵华“发明创新奖”, 入中国发明家名人录。首钢只用 3 万元人民币节省了 50 万美金。经中国科技信息研究所查新, 其技术经济指标达到世界先进水平。

⑦ 首钢 YOCJH 1000/3700/1500/700 液力传动装置。传递功率 $N=3700\text{kW}$, 电机转速 $n_1=1450\text{r/min}$ 。经一对齿轮减速风机转速 $n_4=700\text{r/min}$, 在 $n_4=686\sim140\text{r/min}$, 无级变速, 滑差 $S<3\%$ 。

经北方工业大学测试研究所现场实测, 每年可节电 2983.60 万千瓦时, 每年可节省电费 1432.13 万元。节电率 48%。到 2009 年 1 月已安全运转 24 年, 累计节电 71606.40 万千瓦时, 累计节省电费 34371.07 万元人民币。

经中国科技信息研究所查新, 为国内首创, 填补了国内空白, 其技术经济指标达到了世界先进水平, 售价仅为上海宝钢集团引进的日本同类产品之 1/4。

⑧ 首钢 YOX 限矩型液力偶合器。传递功率 $N=30\sim100\text{kW}$, 转速 $n=700\sim1450\text{r/min}$ 。到 1997 年 1 月已使用 200 台, 经实测节电率 6%, 已安全运转 12 年, 每年可节电 403.20 万千瓦时, 每年可节省电费 198.54 万元, 累计节电 6840.91 万千瓦时, 累计节省电

费 4242.00 万元。

以上 8 种高效节能设备到 2009 年 1 月，已为首钢累计节电 14.211 亿千瓦时，累计节省电费 6.82 亿元人民币，按国际先例，每节约 1 元可增加基建投资 4.5 元，则共可为国家增加基建投资 $= 6.82 \text{ 亿元} \times 4.5 = 30.69 \text{ 亿元}$ ，经济效益非常显著。

首钢为风机变速运行大量节电闯出一条新路子，为全国树立了好榜样，其经验值得推广。

第2章 液力耦合器

2.1 液力耦合器的工作原理

2.1.1 耦合器的基本工作过程

如果把简单三元件液力变矩器中的导轮去掉,则其不能再变矩,而是转变为液力耦合器的工作过程。液力耦合器(简称耦合器)是另一种利用液体来传递能量的结构简单的液力元件,一般由泵轮、涡轮和泵轮罩三部分组成(见图2-1)。耦合器能保证主动轴和从动轴间的柔性接合,并且当工作液体与叶轮相互作用时,理论上能将主动轴上的转矩大小不变地传递给从动轴。因此,耦合器也称为液力联轴器。

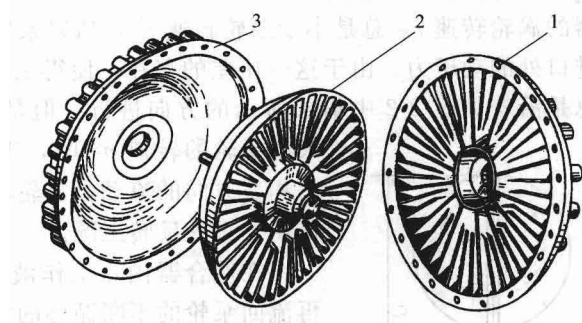


图 2-1 耦合器的工作轮
1—泵轮; 2—涡轮; 3—泵轮罩

耦合器按其结构型式不同,可分为有内环耦合器和无内环耦合器两类(见图2-2)。泵轮和涡轮的内、外侧两个环形曲面,分别称为内环和外环。人们在使用实践中发现,内环对耦合器的工作并非必要,甚至有时会起有害作用。因此现在使用的耦合器大多数为无内环耦合器。

通常将耦合器的泵轮和涡轮统称为工作轮或叶轮。耦合器的工作轮中设置许多径向分布的叶片,为了减小叶片在循环流动过程中对液流的“阻塞”,每隔一个叶片,将其尾部去掉一部分(见图2-1)。在工作过程中,发动机带动与泵轮1刚性连接的主动轴旋转,其转速为 n_B ,位于泵轮内的工作液体由于受到泵轮叶片的作用,随泵轮一起旋转,离心力迫使液体沿如图2-2中所示箭头方向向外缘流动,从而把发动机的机械能转变成泵轮内工作液体的动能。

由泵轮流出的液流进入涡轮入口,并冲击它的叶片,同时液流被迫沿涡轮叶片间流道流