

液体粘性传动技术

魏宸官 赵家象 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

液体粘性传动技术/魏宸官,赵家象著. —北京:国防工业出版社,1996. 1

ISBN 7-118-01464-8

I. 液… I. ①魏… ②赵… II. 液体-粘性-液压传动-液压技术 N. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 06558 号

国防工业出版社发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{1}{2}$ 188 千字

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000册 定价:14.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图

书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第一届评审委员会组成人员

主任委员	邓佑生		
副主任委员	金朱德	太史瑞	
委员	尤子平	朵英贤	刘琯德
(按姓氏笔画排列)	何庆芝	何国伟	张汝果
	范学虹	金 兰	柯有安
	侯 迁	高景德	莫梧生
	曾 铎		
秘书长	刘琯德		

前 言

液体粘性传动的研究是国家自然科学基金资助的项目。

液体粘性传动是流体传动中一门新兴的学科,它与液压传动和液力传动在基本概念和工作原理上有着本质的不同。液压传动基于帕斯卡定律,以液体的压能来传递动力;液力传动基于欧拉方程,以液体动量矩的变化来传递动力;而液体粘性传动基于牛顿内摩擦定律,以液体的粘性或油膜剪切来传递动力。牛顿内摩擦定律虽然早已知晓,但利用它发展液体粘性传动,却是近些年的事。因此,编写本书的第一个目的,就是为了全面和系统地介绍这一新的学科。

液体粘性传动问世以来,立即在许多工程技术领域中获得了应用,取得了明显的经济效益和社会效益。由于液体粘性传动具有许多优良性能,各国都竞相开发这类新的产品,例如液体粘性调速离合器、硅油风扇离合器、液体粘性测功器、液体粘性制动器、液体粘性联轴器、与液力变矩器组合成一种新型的液力变矩器等。目前,许多科技人员对液体粘性传动产生了浓厚的兴趣,渴望对它进行了解、设计和应用。因此,编写本书的第二个目的,就是为了满足这些读者的需要。

10多年来,作者从事了液体粘性传动的理论研究、试验研究、产品设计、生产和使用等工作,取得了一些成果,将其加以总结并推广,对高校学生和科技人员有重要的意义。本书的主要内容,在出版前曾多次用于对高年级本科生和研究生的讲授,起到了激励学生的创新和开拓精神,培养了理论联系实际的能力。因此,编写本书的第三个目的,就是对10多年来科研工作的总结,期望读者从中有所收益。

为了达到上述目的,本书编写中力求作到以下几点:

(1)由于液体粘性传动是一门新的学科,国内外尚未发现这类专著,可供参考的文献资料有限,而我们通过 10 多年的科研工作,取得了一些成果,并获得了国内外的多种荣誉。因此本书取材立足于所取得的科研成果,并希望通过本书将能振奋我国科技工作者立足于世界先进科技之林的精神,走开拓和创新之路。

(2)贯彻学以致用、理论联系实际的原则。知识来源于实践,同时更应指导实践。因此本书所介绍的知识,要能够真正地指导实践,使读者可以进行液体粘性传动装置的设计并解决生产和使用中所遇到的实际问题。

(3)从发展一门学科的角度出发,充分注意全书内容的完整性和系统性,所介绍的理论、设计和使用,力求概念确切、简明扼要、实用性强,易于为读者所掌握。

本书的编写出版,是我们的一种大胆尝试,由于学术水平有限,谬误不当之处,敬请指正。

著者

目 录

第一章 绪论	1
1.1 液体粘性传动的定义和分类	1
1.2 液体粘性传动的工作原理	2
1.3 液体粘性传动的特点	4
第二章 液体粘性传动的工作液体	5
2.1 对工作液体的要求	5
2.2 润滑油	6
2.3 润滑油中的添加剂	9
2.4 硅油	12
第三章 液体粘性调速离合器结构	15
3.1 HC 型液体粘性调速离合器	15
3.2 美国的液体粘性调速离合器	29
3.3 TL 型液体粘性调速离合器	30
3.4 液体粘性调速离合器的转速控制系统	32
第四章 液体粘性调速离合器理论	51
4.1 液体粘性调速离合器的转矩计算	51
4.2 液体粘性调速离合器的特性	54
4.3 液体粘性调速离合器的油膜受力分析	59
4.4 液体粘性调速离合器的油膜承载力	64
4.5 液体粘性调速离合器的转速稳定性	77
第五章 液体粘性调速离合器设计	83
5.1 液体粘性调速离合器主机的设计	83
5.2 液体粘性调速离合器液压系统的设计	138
第六章 硅油风扇离合器结构、理论与设计	153
6.1 硅油风扇离合器结构	153
6.2 硅油风扇离合器理论	159

6.3 硅油风扇离合器设计	166
第七章 液体粘性传动装置的工程应用	177
7.1 在风机、水泵中的应用	177
7.2 在液力变矩器中的应用	207
7.3 在汽车四轮驱动系统中的应用	210
7.4 在制动器及测功器中的应用	219
参考文献	219

第一章 绪 论

1.1 液体粘性传动的定义和分类

液体粘性传动是利用液体的粘性或油膜剪切作用来传递动力的流体传动,也称为油膜剪切传动。

要发展液体粘性传动必须冲破两个传统的观念,即:必须改变那种认为在两个相对运动的金属表面间加入工作油,只是起到减小摩擦阻力的润滑作用,否则,使人很难想到可以利用油膜的剪切作用来传递很大的动力;必须改变那种认为长期处于相对运动的摩擦面,由于打滑会导致发热,甚至引起摩擦面的烧伤和工作油的温度过高而无法继续工作。液体粘性传动正是在结构上和技术上解决了上述两个问题后才得到发展和应用的。

液体粘性传动的分类如下:

(1)根据油膜的几何形状可分为圆柱油膜、圆锥油膜和圆盘油膜(图 1.1-1)。当然,油膜也可以有其它的几何形状,但必须易于加工制造。

(2)根据在工作过程中油膜厚度是否变化可分为油膜厚度不变的液体粘性传动和油膜厚度可变的液体粘性传动。通常把对发动机风扇进行调速用的油膜厚度不变的液体粘性传动称为硅油风扇离合器,而把对风机水泵调速用的油膜厚度可变的液体粘性传动称为滑差离合器、调速离合器、奥米伽离合器和同步传动(SYNCHRODRIVE)等,后者正确的称呼应是液体粘性调速离合器。

(3)根据主被动件的工作情况不同可分为主动件旋转而被动件不动和主被动件均旋转。

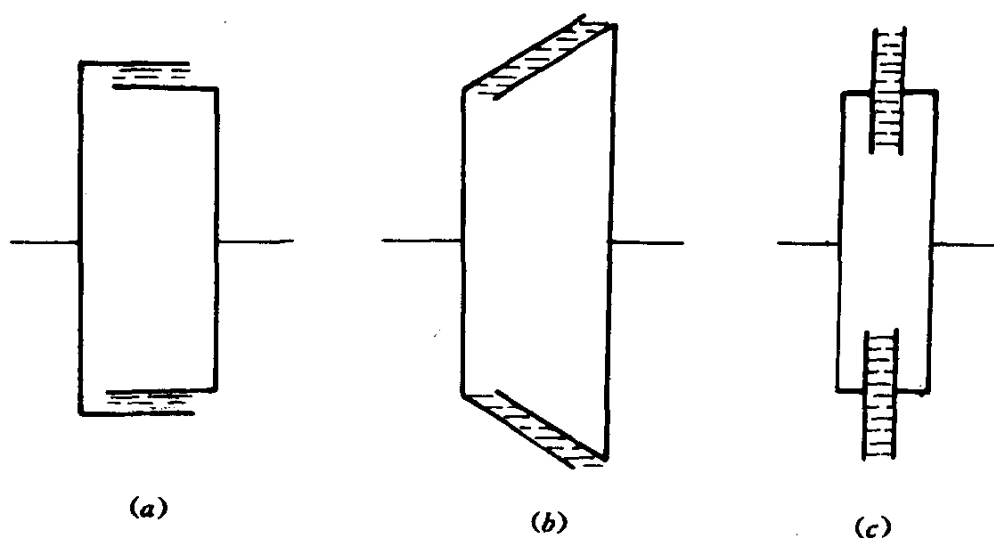


图 1.1-1 油膜的几何形状

(a)圆柱油膜； (b)圆锥油膜； (c)圆盘油膜。

(4)根据液体粘性传动是否与其它类型传动联合可分为单一式液体粘性传动和复合式液体粘性传动。

1.2 液体粘性传动的工作原理

1. 牛顿内摩擦定律

液体粘性传动基于牛顿内摩擦定律,其大致内容如下(图 1.2-1):在两块平行放置的平板之间,充满粘性的牛顿流体,油膜厚度为 δ 。当下板保持固定,上板以速度 v 平行于下板运动时,则板间流体受到剪切。当速度不太高时,流体相邻层间的流动状态可看作是相互平行移动的层流,粘附在下板表面上流体分子的速度为零,粘附在上板表面上流体分子的速度为 v ,其间变化规律为一直线。此时为了保持上板恒定的运动速度 v ,则所需要的力 F 与板的面积 A 和速度梯度 v/δ (或剪切率)成正比。即

$$F \propto A \frac{v}{\delta}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{v}{\delta}$$

式中 F ——油膜的剪切力(N);

- τ ——油膜的切应力(Pa);
 μ ——流体的动力粘度(Pa·s);
 v ——两平板的相对速度,或油膜的剪切速度(m/s);
 δ ——油膜厚度(m);
 A ——承受油膜剪切作用的面积(m²)。

由此可见,切应力 τ 与动力粘度 μ 和剪切速度 v 成正比,与油膜厚度 δ 成反比。只要结构和各参数选取合理,就可以设计出传递很大功率的液体粘性传动装置。

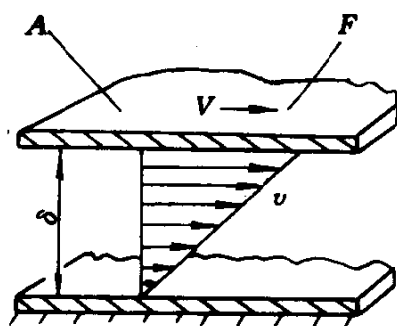


图 1.2-1 流体的内摩擦

2. 硅油风扇离合器的工作原理

硅油风扇离合器在径向有许多圆柱油膜用来传递动力,工作过程中油膜厚度保持不变,而是通过改变充油量和油膜剪切面积的大小进行调速。硅油风扇离合器的主动部分与发动机相联,被动部分与风扇相联,工作液体为粘度较大的硅油。当主动部分转速一定时,如果发动机水温低,则使充油量少,油膜剪切面积小,传递转矩小,风扇转速低;如果发动机水温高,则使充油量多,油膜剪切面积大,传递转矩大,风扇转速高。这样,可以使发动机经常在最适宜温度下工作,节省燃油,降低噪声,延长发动机寿命。

3. 液体粘性调速离合器的工作原理

液体粘性调速离合器在轴向有许多圆盘油膜用来传递动力,工作过程中,通过改变油膜厚度进行调速。液体粘性调速离合器的主动轴通常与电动机相联,输入转速可视为常量,被动轴与负载(水泵或风机)相联,输出转速为变量,工作液体为粘度较小的润滑

油。当主动轴转速一定时,如果需要流量小,则使油膜厚度大,传递转矩小,负载转速低;如果需要流量大,则使油膜厚度小,传递转矩大,负载转速高;如果需要流量最大,则使油膜厚度为零,并将主动盘和被动盘压紧成一体,负载转速等于电动机转速,是为同步传动。这样,根据生产工艺流程需要不同的流量时,可以通过调节负载的转速来实现,从而避免阀门调节所造成的功率损失,可以大量节电。

1.3 液体粘性传动的特点

液体粘性传动具有以下特点:

- (1)可实现对输出转速的无级调节;
- (2)调速的灵敏度高;
- (3)采用闭环控制时,转速的稳定精度高;
- (4)易于实现转速调节的遥控和自动控制;
- (5)对于油膜厚度不变的液体粘性传动,输出转速永远小于输入转速,即永远有转速差和功率损失;
- (6)对于油膜厚度可变的液体粘性传动,可实现无转速差的同步传动,此时无功率损失,传动效率为100%(理论值);
- (7)可使电机在轻载下启动,缩短启动电流对电网的冲击时间;
- (8)在启动惯性较大的负载时,可使之缓慢加速,防止传动系统过载;
- (9)可以自动限制传递的转矩,因而对传动系统起到保护作用;
- (10)当主动轴的旋转方向不同时,不影响其传动性能。

液体粘性传动具有上述特点,在冶金、发电、化工、矿山、起重、车辆、船舶等部门获得了广泛应用,具有很大发展前途和应用价值。

第二章 液体粘性传动的工作液体

2.1 对工作液体的要求

工作液体在液体粘性传动中的作用是传递动力、冷却散热和润滑,应具有以下性能:

(1)有符合传动要求的粘度。工作液体的粘度涉及转矩传递、油膜形成、承载能力、油泵功率等问题。对于硅油风扇离合器,其运动粘度为 $2000\sim 10000\text{mm}^2/\text{s}$ 或更高;对于液体粘性调速离合器,其运动粘度为 $20\sim 50\text{mm}^2/\text{s}$ 。

(2)有良好的润滑性能(油性和极压性)。粘性和润滑性能不同,粘度大的工作液体,不一定润滑性能好。油性可以降低摩擦和减少磨损,极压性可减小边界摩擦时的磨损,缩小转速不稳定工作区。对于液体粘性调速离合器,在传递大转矩时,油膜变薄,片间压力增大,转速差减小,处于边界摩擦状态,输出转速不稳定,此时需要有良好的极压性能。

(3)有良好的氧化安定性。工作液体在长期的使用或贮存过程中,在一定的条件下与氧气或空气接触便会氧化变质,生成酸、胶质和沥青等氧化产物,这些氧化产物溶解或分散在工作液体中,会使油的颜色变暗、粘度和酸值增大,并生成大量沉淀,同时对金属产生腐蚀作用并影响传递转矩的能力。

(4)有较高的比热容和较高的热导率。比热容大,热导率高,吸收的热量多,散热效果好。目前,润滑油的比热容大致在 $(0.4\sim 0.5)\times 4187\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 范围内,其热导率在 $0.116\sim 0.151\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。

除了上述要求外,工作液体还应具有如下的性能,即防锈作

用、抗泡沫能力、凝固点要低、闪点应高、不易挥发、无毒等等。

液体粘性传动常用的工作液体有润滑油与硅油,都可看作是牛顿流体,其动力粘度不随剪切速度而变,切应力与剪切速度成正比。

2.2 润 滑 油

一、机械油

机械油由浅度精制的石油润滑油馏分添加(有的不加)适量的抗氧剂、抗泡剂制成。粘度等级分为:N5、N7、N10、N15、N22、N32、N46、N68、N100、N150 共 10 个等级,后 7 个牌号适用于液压系统。它们的质量指标如表 2-1 所示。

表 2-1 机械油质量指标

名 称 项 目	机械油 GB443—84							试验方法
	质 量 指 标							
	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150	
运动粘度(mm ² /s), 40℃	13.5~16.5	19.8~24.2	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	90.0~110	135~165	GB265
凝点(℃), 不高于	-15	-15	-15	-10	-10	0	0	GB510
残炭(%), 不大于	0.15	0.15	0.15	0.25	0.25	0.5	0.5	GB268
灰分(%), 不大于	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	GB508
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	无	GB259
酸值 KOH(mg/g), 不大于	0.14	0.14	0.16	0.20	0.35	0.35	0.35	GB264
机械杂质(%), 不大于	0.005	0.005	0.005	0.007	0.007	0.007	0.007	GB511
水分(%)	无	无	无	无	无	痕迹	痕迹	GB260
闪点(开口)(℃), 不低于	165	170	170	180	190	210	220	GB267
腐蚀(T3 铜 100℃ 3h)	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	SY2620
色度(号), 不深于	9	13	15	20	20	24	24	SY2211

二、普通液压油

普通液压油是以精制的石油润滑油馏分并添加有抗氧化、抗泡沫、防锈蚀等添加剂而制成。普通液压油的质量指标如表 2-2 所示。

表 2-2 普通液压油的质量指标

项 目	石油部标准 SY1227-82 质量指标					试验方法
	YA-N32	YA-N46	YA-N68	YA-N32G	YA-N68G	
代号(GB2512-81)						
相近的原牌号(mm ² /s), 50℃	20	30	40	20	40	—
运动粘度(mm ² /s), 40℃	28.8~35.2	41.4~50.6	61.2~74.8	28.8~35.2	61.2~74.8	GB265
粘度指数, 不小于	90	90	90	90	90	GB2541
闪点(开口)(℃), 不低于	170	170	170	170	170	GB267
凝点(℃), 不高于	-10	-10	-10	-10	-10	GB510
水分	无	无	无	无	无	GB260
机械杂质	无	无	无	无	无	GB511
铜片腐蚀(T3 铜片, 100℃3h)	合格	合格	合格	合格	合格	SY2620
水溶性酸或碱(基础油)	无	无	无	无	无	GB259
氧化安定性(酸值至 2°)(h), 不小于	1000	1000	1000	1000	1000	SY2680
防锈性(蒸馏水)	无锈	无锈	无锈	无锈	无锈	SY2674
最大无卡咬负荷(N), 不小于	600	600	600	600	600	SY2665
抗泡沫性(93℃)(mL)						SY2669
泡沫倾向, 不大于	50	50	50	50	50	