

《机械工程基础实验》

实 验 指 导 书

机械设计实验 2

机械传动综合实验

减速箱装拆及结构分析实验

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 9 月

实验三 机械传动综合实验

一、概述

机械传动包括啮合传动，如齿轮、蜗杆传动、链传动，摩擦传动，例如带传动、摩擦无级变速器，流体传动。这里不介绍流体传动，主要介绍齿轮传动、链传动与带传动的实验分析与研究。齿轮传动、蜗杆传动、链传动与带传动是广泛应用的机械传动形式。在汽车、机床、国防等行业中，上述三种传动的正确设计是非常重要的内容。

通常整套机械传动系统由两级传动或多级传动组成，这样可以充分发挥不同机械传动形式的特点，实现机器设计的功能与价格比最优化；另一方面，机械传动系统的布置设计（总体设计）也是非常重要的，设计者必须对每种机械传动的特点有全面深入的了解。

机械传动的运动学与动力学参数测试原理与方法是机械科学与技术人员必须掌握的基本能力。机械传动综合实验将对上述三方面内容进行探讨，以典型机械传动为对象研究机械传动的组成、结构、运动学与动力学参数测试原理与技术。

二、机械传动总体设计

带传动、链传动、齿轮传动与蜗杆传动是常用的机械传动形式，如何布置这些传动形式，即如何总体设计传动链是首先要解决的问题。在机械传动系统设计中，为了合理设计传动链，有以下几条原则：（1）传递载荷能力小的（例如带、圆锥齿轮）放在高速级；（2）有动载荷的（例如链传动、连杆传动、凸轮传动）放在低速级；（3）传动平稳的（例如斜齿轮、闭式齿轮传动）放在高速级，传动平稳性较差的（例如直齿轮、开式齿轮传动）放在低速级；（4）传动链中有摩擦传动的（例如带与摩擦轮传动），制动器应放在工作机前，才能对工作机实现有效制动。

在机器及机械设备设计中，为了实现功能/成本的最大化，或由于机械的功能要求，常常用不止一种的传动设计来完成运动形式、参数、力或力矩的大小的转变。在传动链中可采用不同形式的机械传动来实现要求的功能，每种传动的机械效率是衡量该传动的能量损耗的指标参数，而能量损耗对机械的成本与机器中零件的寿命有决定性的影响。

本实验分为两种，其一是在一定的电机运转速度下实验分析带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动的机械效率；也可试验分析带—齿轮传动、齿轮—链传动、带—链传动等的综合机械效率。其二，是实验研究在不同电机转速下，带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动的机械效率；也可试验分析带—齿轮传动、齿轮—链传动、带—链传动等的综合机械效率，电机转速的调节由 MM420-150/3 变频器来实现。

试验系统总体结构如图 3-1 所示：

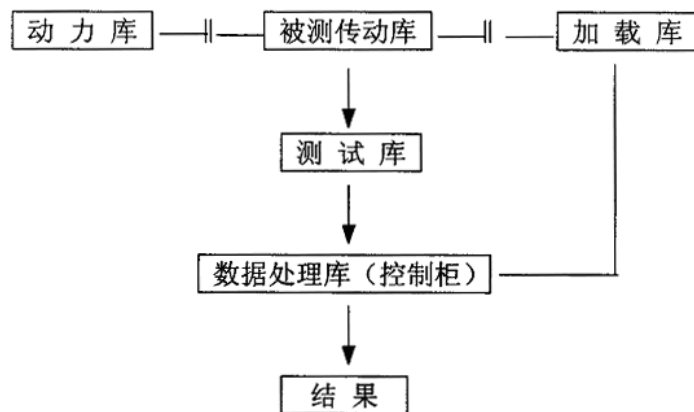


图 3-1 试验系统总体

三、机械传动参数测试原理

(一) 转矩转速的测量

试验机中采用 JCO、JC1A 型转矩转速传感器, JX-1A 转矩转速功率测量仪来拾取输入轴的转矩、转速, 输出轴的转矩、转速, 再在软件部分按下式计算出机械传动当时的效率。

$$\eta = \frac{T_o \omega_o}{T_i \omega_i}$$

式中, T_o, ω_o 分别是输出轴的转矩与角速度; T_i, ω_i 分别为输入轴的转矩与角速度。

转矩传感器的结构如图 3-2 所示。主要由扭力轴、磁检测器, 转筒和壳体四部分组成。磁检测器包括配对的两组内、外齿轮, 永久磁钢和感应线圈。外齿轮安装在扭力轴测量段的两端; 内轮装在卷筒内, 和外齿轮相对, 永久磁钢紧接内齿轮安装在卷筒内。永久磁钢、内外齿轮构成环形闭合磁路, 感应线圈固定在壳体的两端盖内。在驱动电机带动下, 内齿轮随同转筒旋转。

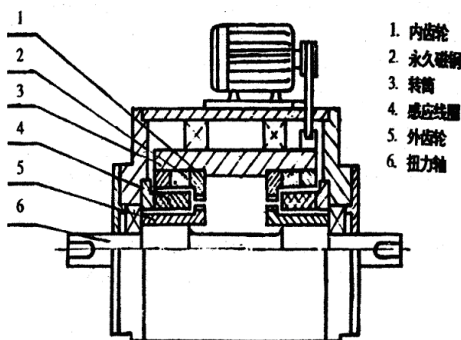


图 3-2 转矩传感器的结构

内外齿轮是变位齿轮, 并不啮合, 齿顶留有工作气隙。内外齿轮的齿顶相对时、气隙最窄; 齿顶和齿槽相对时, 气隙最大。内外齿轮在相对旋转运动时, 齿顶与齿槽交替相对, 相对转动一个齿位时, 工作气隙发生一个周期的变化, 磁路的磁阻和磁通随之相应作周期变化, 因此检测线圈中感应近似正弦波的电压信号, 信号电压瞬时值的变化和内外齿轮的相对位置的变化是一致的。

如果两组检测器的齿轮的投影互相重合时、两组电压信号的相位差为零。安装时, 两只内齿轮的投影是重合的。而扭力轴上的两只外齿轮是按错动半个齿安装的。因此, 两个电压信号具有半个周期的相位差, 即初始相位差为 180° 。若齿轮为 120 齿, 分度角为 3° , 则相位差角为 180° , 相应外齿轮错动 1.5° 。

当扭力轴受到扭矩作用时, 产生扭角 β , 两只外齿轮的错位角变为 $1.5^\circ \pm \beta$, 两个电压信号的相差角相应变为: $\alpha = 120 \times (1.5^\circ \pm \beta) = 180^\circ \pm 120\beta$ 。

扭角和扭矩是成正比例的, 因此扭角的变化和扭矩成正比, 即相位差角的变化 $\Delta\alpha$ (度) 和扭矩 M (牛顿·米) 有如下关系:

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 = \pm 120\beta = 120K_1 M = KM$$

式中， K_1 为相位差角和扭矩的比例系数；“±”表示转动方向。

设扭力轴测量段的直径为 d ，长度为 L ，扭力轴材料的剪切弹性模量为 G ，则

$$K_1 = \frac{32L}{\pi dG}$$

将传感器的两个电压信号输入到 JX-1A 效率仪，经过仪表将电压信号进行放大、整形、检相、变换成计数脉冲，然后计数和显示，便可直接读出扭矩和转速的测量结果。传感器适用于环境温度 $0\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，以及相对湿度不超过 90% 的条件下工作，具体参数如表 3-1 所示。

表 3-1 传感器参数

型号	额定扭矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)	转速范围 (转/分)	单只联轴器重量 ($\leq \text{kg}$)
JC0	20	0~10000	0.5
JC1A	50	0~6000	1.5

(二) 加载装置

本试验系统采用 CZ-5 型磁粉制动器来加载扭矩载荷。磁粉制动（加载）器是根据电磁原理和利用磁粉来传递转矩的，它具有激磁电流和传递转矩基本成线性关系的特性，在同滑差无关的情况下能够传递一定的转矩，响应速度快，结构简单，是一种多用途、性能优越的自动控制元件。它广泛应用于各种机械中不同目的的制动、加载以及卷绕系统中放卷张力控制等。

CZ-5 型磁粉制动器的激磁电流与转矩基本成线性关系，通过调节激磁电流可以控制力矩的大小，其特性如图 3-3A 所示。制动力矩与转速无关，保持定值。静力矩和动力矩没有差别，其特性如图 3-3B 所示。

磁粉加载器的滑差效率，在散热条件一定时，是定值。因此滑差功率确定后，力矩与转速允许相互补偿。例如，转速高，则允许力矩减小，其特性如图 3-4 所示。但最高转速一般不高于额定状态下包含转速的 2 倍。

磁粉加载器用直流电作激磁电源，WLK-1 型稳流电源是其专配的电源。磁粉加载器在运输过程中，常使磁粉聚集到某处，有时甚至会出现“卡死”现象，此时只要将制动器整体翻动，使磁粉松散开来，或用杠杆撬动，同时在使用前应进行跑合运转，并先通过 20% 左右的额定电流运转几秒后断电再通电，反复几次。磁粉加载器运转后通水。磁粉加载器有允许的最大加载力矩，在实验中，注意不要超过最大加载力矩。磁粉加载器的常见故障分析见表 3-2。

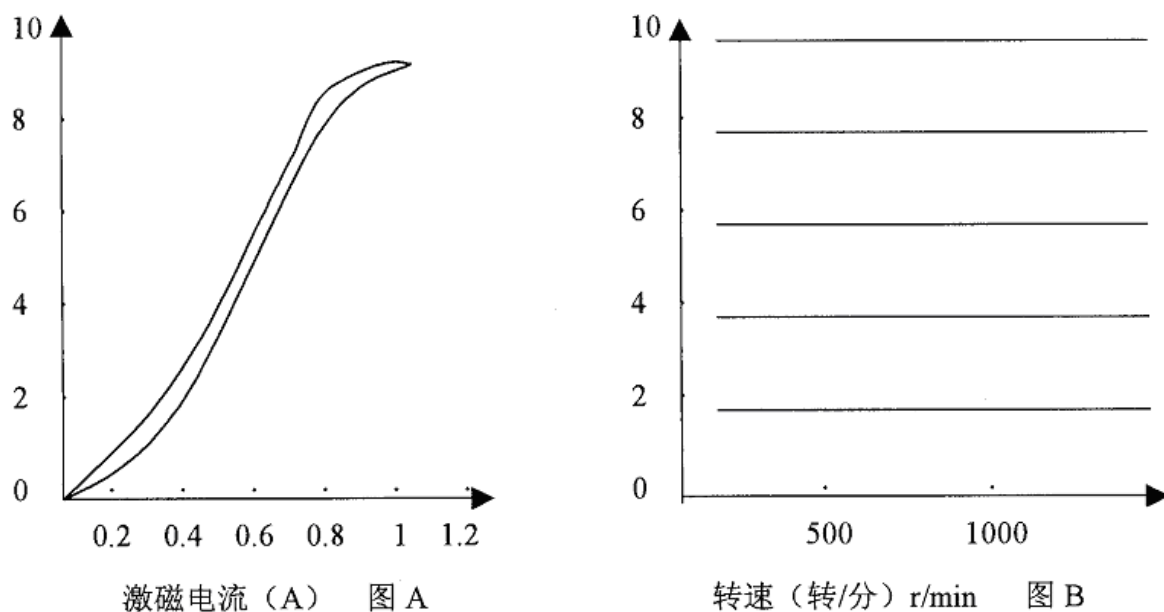


图 3-3 磁粉加载器特性

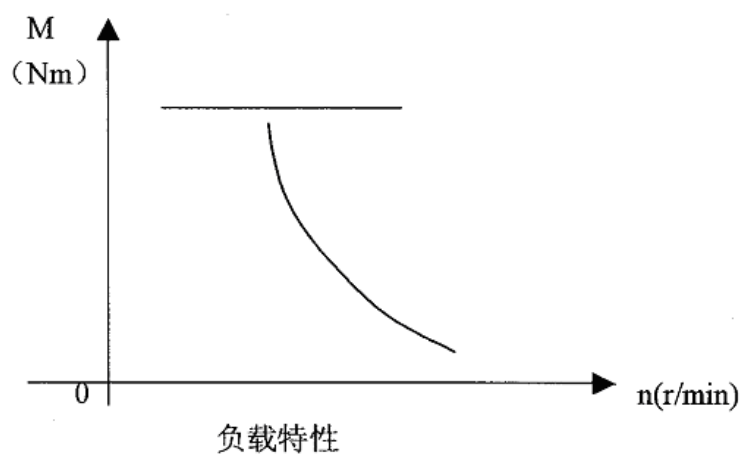


图 3-4 负载特性

表 3-2 常见故障分析

序号	出现状况	产生原因	排除方法
1	正常工作状态下力矩很不稳定	1、磁粉经异常高温，引起了部分结疤 2、部分工作表面啃伤	1、将原腔磁粉筛选再增加些新磁粉，达到规定重量 2、修光工作表面
2	在额定激磁电流下滑差力矩降到 70% 以下	1、磁粉经长时间使用后，接近老化 2、磁粉经异常高温，部分烧伤，失去功能	更换新粉
3	在额定激磁电流下，力矩不随电流增大而增大	1、水冷却磁粉加载器，水进入工作面，磁粉不能磁化 2、磁粉失去功能	1、更换密封圈，将湿粉烘干 2、更换新粉
4	在额定激磁电流下运行，转	工作间隙中，大量疤结聚集，	砂擦工作面，更换新粉

	子突然被卡死	引起了过盈	
5	调节稳流电源电位器，无力矩输出	1、线圈断路 2、稳流电源无电流输出	1、换用线圈 2、更修稳流电源
6	水盖下方滴水孔漏水	旋转水封磨损	更换水封，注意不能堵塞滴水孔

四、实验设备及仪器

带传动试验台

齿轮传动试验台

蜗杆传动试验台

带—齿轮传动试验台

齿轮—链传动试验台

带—链传动试验台

五、实验方法及步骤

1、在有带、链的实验装置中，为防止压轴力直接作用于传感器上，影响测试精度，一定要安装本实验台配置的专用轴承座。

2、带轮、链轮与轴联接采用新型紧定锥套结构，装拆方便、快捷，安装时应保证固定可靠；拆卸时应用螺钉拧入顶出孔，顶出锥套。

3、实验数据测试前，应对测试设备进行调零。调零时，应将传感器负载侧联轴器脱开，启动电动机，调节 JX-1A 效率仪的零点，以保证测量精度。

4、在施加试验载荷前，应将用于水冷却的水源打开；试验结束后，应卸去载荷，关闭水源。

5、在施加试验载荷时，应平稳旋动 WLY-1A 稳流电源的激磁旋钮，并注意输入传感器的最大转矩，不应超过其额定值 20%。

6、无论做何种试验，均应先启动电机，后加载荷。严禁先加载后开机。

7、在试验过程中，如遇电机转速突然下降或出现不正常的噪音和振动时，必须卸载或紧急停车，以防电机转速突然过高，烧坏电机、电器及其它意外事故。

8、测试时，应按测试系统软件操作。严禁删除计算机内的文件

六、实验结果

根据实验要求完成实验台传动效率测试，并将传动实验测试数据及效率曲线图附在实验报告上。

七、分析思考题

1、机械传动链应如何设计布置？

2、本实验系统是几级传动，采用了哪些机械类型的机械传动？

3、影响机械传动效率的因素有哪些？可以采用哪些措施来提高机械传动的效率？

实验四 减速箱装拆及结构分析实验

一、实验问题的提出

为了提高电动机的效率，原动机提供的回转速度一般比工作机械所需的转速高，因此齿轮减速器、蜗杆减速器在机器设备中被广泛采用。例如宝山钢铁公司就有 10 多万台减速器，在其它机器中减速器也有大量应用。由于功用的不同，减速器种类繁多，结构各异。那么在减速箱结构设计中应注意些什么问题呢？作为机械类专业的学生有必要熟悉减速器的结构与设计以及主要零件的加工工艺等，通过实验并结合“机械设计课程设计”这一课程环节，对于减速器技术设计过程有一个详细的了解。

二、实验目的

- 1、熟悉减速箱的基本结构，了解常用减速箱的用途及特点。
- 2、了解减速箱各组成零件的结构及功用，并分析其结构工艺性。
- 3、了解减速箱中零件的装配关系及安装、调整过程。
- 4、学习减速箱的基本参数测定方法。

三、实验原理

（一）减速箱的基本结构是由传动零件（齿轮、蜗杆蜗轮等）、轴和轴承、箱体、润滑和密封装置以及减速器附件等组成。

- 1、箱体是支承和固定减速器零件和保证传动件啮合精度的重要机件，其重量约占减速器总重量的一半，对减速器的性能、尺寸、重量和成本均有很大影响。箱体的具体结构与减速器传动件、轴系和轴承部件以及润滑密封等密切相关，同时还应综合考虑使用要求、强度、刚度及铸造、机械加工和装拆工艺等多方面因素。
- 2、齿轮减速箱的特点是效率及可靠性高，工作寿命长，但受外廓尺寸及制造成本的限制，其传动比不能太大。蜗杆减速器的特点是在外廓尺寸不大的情况下。可以获得大的传动比，且工作平稳，噪声较小，但效率较低。
- 3、为使轴和轴上零件在机器中有正确的位置，防止轴系轴向窜动和正常传递轴向力，轴系应予以轴向固定。同时为防止轴受热伸长，轴系轴向游隙应有调整。
- 4、减速箱中传动件和轴承在工作时都需要良好的润滑。传动件通常采用浸油润滑，浸油深度与传动速度有关。轴承的润滑方式通常有飞溅润滑、刮油润滑、浸油润滑；轴承室外侧密封形式有皮碗式密封、毡圈式密封、间隙式密封、离心式密封、迷宫式密封、联合式密封等；轴承室内侧密封形式有封油环、挡油环等
- 5、减速箱附件主要有轴承盖、调整垫片、油标、排油孔螺塞、检查孔盖板、通孔气、起吊装置、定位销、起盖螺钉等。

（二）在了解减速箱基本结构、各零部件连接方式的基础上，确定拆卸的次序，进行合理有序的拆卸，并对传动件进行测绘，这是进行机械产品反求设计和创新设计以及产品零部件的改进设计和替代设计的基本技能。

四、实验台结构及工作原理

- 1、单级圆柱齿轮减速器，为了避免外廓尺寸过大，其最大传动比一般为 $i_{\max}=5\sim 8$ ，当 $i>8$ 时，就应采用两级的圆柱齿轮减速器。
- 2、展开式二级圆柱齿轮减速器，是两级减速器中最简单、应用最广泛的一种。它的齿轮相对于支承位置不对称，当轴产生弯扭变形时，载荷在齿宽上分布不均匀，因此轴应设计得具有较大的刚度，并使齿轮远离输入或输出端。一般用在中心距总和 $a_{\Sigma} \leq 1700\text{mm}$ 的情况下。
- 3、分流式两级圆柱齿轮减速器，有高速级分流和低速级分流两种。两者中以高速级分流时性能较好，在实际应用中也比低速级分流式应用更广。分流式减速器的外伸轴位置可由任意一边伸出，便于进行机器的总体配置。分流级的齿轮均做成斜齿，一边右斜，一边左斜，以抵消轴向力。其中的一根轴能作稍许轴向游动，以免卡死齿轮。
- 4、同轴式两级圆柱齿轮减速器，由于两级齿轮的中心距必须一致，所以高速级齿轮的承载能力难以充分利用，而且位于减速器中间部分的轴承润滑比较困难。此外，减速器的输入输出端位于同一轴线的两端，给传动装置的总体配置带来一些限制。
- 5、单级圆锥齿轮减速器，用于需要输入轴与输出轴成 90° 配置的传动中，传动比为 $i=1\sim 5$ 。当传动比较大时应采用两级或三级的圆锥-圆柱齿轮减速器。由于大尺寸的圆锥齿轮较难精确制造，因而圆锥齿轮总是作为高速级，以减小其尺寸。
- 6、蜗轮蜗杆减速器，根据蜗杆位置可分为上置式、下置式、侧置式。在蜗杆圆周速度较小时，常采用下置式，当圆周速度较大时，为了减少搅油损耗，可采用上置式。

测量工具：游标卡尺、钢皮尺、活络扳手、卡尺等。

五、实验步骤及注意事项

- 1、结合挂图等，先了解减速器的使用场合、作用及其主要特点。
- 2、观察减速器的外貌，用手来回推动减速器的输入输出轴，体会轴向窜动；再用扳手旋開箱盖上的有关螺钉，打开减速器箱盖，详细分析减速箱的各部分结构。
 - (1) 箱体结构：窥视孔，透气孔，油面指示器，放油塞，轴承座的加强筋的位置及结构；定位销孔的位置；螺钉凸台位置（并注意扳手空间是否合理）；吊耳活吊钩的型式；铸造工艺特点（如分型面、底面及壁厚等）以及减速器箱体的加工方法。
 - (2) 轴及轴系零件的结构：分析传动零件所受的径向力和轴向力向机体基础传递的过程，分析轴上零件的轴向和轴向定位的方法，分析由于轴的热胀冷缩时轴承预紧力的调整方法。
 - (3) 润滑与密封结构：分析齿轮与轴承的调整方法；油槽位置、形状及加工方法；加油方式、放油塞，油面指示器的位置和结构。
 - (4) 分析传动零件的结构及其材料，毛坯种类。
- 3、利用钢皮尺、卡尺等简单工具，测量减速箱各主要部分参数与尺寸。
 - (1) 测出各齿轮的齿数，求出各级分传动比及总传动比。
 - (2) 测出中心距，并根据公式计算出齿轮的模数，斜齿轮螺旋角的大小。
 - (3) 测量各齿轮的齿宽，算出齿宽系数；观察并考虑大、小齿轮的齿宽是否应完全一样。
 - (4) 齿轮与箱壁间的间隙，油池深度，滚动轴承型号等。
 - (5) 齿轮的接触斑点试验：先擦净一对相互啮合齿轮的齿面，然后在一齿轮的 $2\sim 3$ 各齿面上涂上一层薄的红丹粉，在转动齿轮；由于齿轮轮齿的相互啮合，在另一齿轮的齿面上

可观察到红丹粉的斑点。观察接触斑点的大小，画下简图，并分别求出齿面实际接触面积在齿宽及齿长方向的百分数。

4、确定装配顺序，仔细装配复原。

六、实验报告与实验结果分析

- 1、画出你所装拆的减速箱的机构运动简图，并标出输入、输出轴的转向。
- 2、分析减速器的润滑方式及轴承室的密封形式，试述其是否合理。
- 3、试述减速器中哪些地方在安装时需要调整？用什么方法调整？
- 4、分析减速器主要传动零件的作用。
- 5、测量减速箱主要参数，并记录实测数据。
- 6、绘制输入和输出轴轴上零件的结构示意图，并标注装配尺寸和配合符号。
- 7、写出装拆减速器实验的体会，对所装拆的减速器设计提出改进意见。
 - (1) 传动零件，轴系与箱体结构是否合理？
 - (2) 对轴承选择、安装调整，固定拆卸、润滑与密封等方面是否合理？
 - (3) 其它方面的体会和改进意见。

表 4—1 减速器的组成

箱体	
齿轮及键	
轴承	
润滑	
密封	

表 4—2 减速器的主要参数

齿数	小齿轮		大齿轮	
	高速级	$Z_1 =$	$Z_2 =$	
	低速级	$Z_3 =$	$Z_4 =$	
转动比 $i = i_f i_s$		高速级 i_f	低速级 i_s	总传动比 i
中心距 a		高速级	低速级	
模数	m_t	高速级		
		低速级		
	m_n	高速级		
		低速级		
齿宽及齿宽系数 B, ϕ_a	高速级			
	低速级			
输入和输出轴的位置				
轴承型号、套数	高速级			
	低速级			

圆锥齿轮的锥顶角	$\delta_1 =$		$\delta_2 =$	
蜗杆参数	$q =$	$Z_1 =$	$\beta =$	$\lambda =$
接触斑点				
	斑点长度 $a =$ 斑点宽度 $c =$	$\frac{ac}{Bh} \times 100\%$ B —齿轮宽度 h —齿轮的齿高		估计齿轮接触精度

七、分析思考题

- 1、啮合传动的减速器的箱体可用哪几种机械制造方法制造？在设计减速器时，其结构有何差别？
- 2、为什么一般对一根轴上的滚动轴承，选用的两套轴承外径大小要一样？
- 3、在何种场合采用滚动轴承？在哪些场合又要选用滑动轴承？