



机械设计基础实验

主编：邵圆圆



山东农业大学

机械与电子工程学院

前 言

《机械设计基础》课程，与工程制图、电工学、工程力学等一样，是我国高等工业学校机械类、近机械类和非机械类各专业的一门技术基础课。根据国家教委 1995 年颁发修订的《机械设计基础课程教学基本要求》中，实验课是其中一个重要教学环节。通过实验教学使学生了解机器是由机构组成的，了解机器基本组成要素——机械零件在各类机械中的功用及性能，以便更好的学习《机械设计基础》课程，为学习专业设备中的机械部分提供必要的基础。

为了搞好本课程的实验教学，我们挑选了机构认识、机械零件认识、机构运动简图测绘、齿轮范成原理、直齿圆柱齿轮参数测定与分析、齿轮传动、带传动和减速器结构分析及拆装等 8 项实验供任课教师根据不同专业选选择。

本指导书中术语、名词、计量单位等全部符合国家最新标准。

由于水平有限，书中错误和不适之处敬请广大教师和同学提出批评指导。

机械设计基础实验室

2006.4

山东农业大学学生实验守则

1. 学生应按照课程教学计划，准时上实验课，不得迟到早退。
2. 实验前认真阅读实验指导书，明确实验目的、步骤、原理，预习有关的理论知识，并接受实验教师的提问和检查。
3. 进入实验室必须遵守实验室的规章制度。不得高声喧哗和打闹，不准抽烟、随地吐痰和乱丢杂物。有净化要求的实验室，进入必须换拖鞋。
4. 做实验时必须严格遵守仪器设备的操作规程，爱护仪器设备，节约使用材料，服从实验教师和技术人员指导。未经许可不得动用与本实验无关的仪器设备及其它物品。
5. 实验中要细心观察，认真记录各种试验数据。不准敷衍，不准抄袭别组数据，不得擅自离开操作岗位。
6. 实验时必须注意安全，防止人身和设备事故的发生。若出现事故，应立即切断电源，及时向指导教师报告，并保护现场，不得自行处理。
7. 实验完毕，应主动清理实验现场。经指导教师检查仪器设备、工具、材料和实验记录后方可离开。
8. 实验后要认真完成实验报告，包括分析结果、处理数据、绘制曲线及图表。在规定时间内交指导教师批改。
9. 在实验过程中，由于不慎造成仪器设备、器皿、工具损坏者，应写出损坏情况报告，并接受检查，由领导根据情况进行处理。
10. 凡违反操作规程，擅自动用与本实验无关的仪器设备、私自拆卸仪器而造成事故和损失的，肇事者必须写出书面检查，视情节轻重和认识程度，按章程予以赔偿。

山东农业大学
2006. 4

目 录

实验一	机构认识实验	1
实验二	机械零件认识实验	2
实验三	机构运动简图测绘实验.....	12
实验四	齿轮范成原理实验.....	17
实验五	直齿圆柱齿轮参数的测定与分析实验.....	21
实验六	带传动实验.....	29
实验七	减速器结构分析及拆装实验	36

实验一 机构认识实验

一、实验目的

1. 初步了解《机械原理》课程所研究的各种常用机构的结构、类型、特点及应用实例。

2. 增强学生对机构与机器的感性认识。

二、实验方法

陈列室展示各种常用机构的模型，通过模型的动态展示，增强学生对机构与机器的感性认识。实验教师只作简单介绍，提出问题，供学生思考，学生通过观察，对常用机构的结构、类型、特点有一定的了解。对学习机械原理课程产生一定的兴趣。

三、实验内容

(一)对机器的认识

通过实物模型和机构的观察，学生可以认识到：机器是由一个机构或几个机构按照一定运动要求组合而成的。所以只要掌握各种机构的运动特性，再去研究任何机器的特性就不困难了。在机械原理中，运动副是以两构件的直接接触形式的可动联接及运动特征来命名的。如：高副、低副、转动副、移动副等。

(二)平面四杆机构

平面连杆机构中结构最简单，应用最广泛的是四杆机构，四杆机构分成三大类：即铰链四杆机构；单移动副机构；双移动副机构。

1. 铰链四杆机构分为：曲柄摇杆机构、双曲柄机构、双摇杆机构，即根据两连架杆为曲柄，或摇杆来确定。

2. 单移动副机构，它是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副演化而成的。可分为：曲柄滑块机构，曲柄摇块机构、转动导杆机构及摆动导杆机构等。

3. 双移动副机构是带有两个移动副的四杆机构，把它们倒置也可得到：曲柄移动导杆机构、双滑块机构及双转块机构。

(三)凸轮机构

凸轮机构常用于把主动构件的连续运动，转变为从动件严格地按照预定规律的运动。只要适当设计凸轮廓线，便可以使从动件获得任意的运动规律。由于凸轮机构结构简单、紧凑，因此广泛应用于各种机械，仪器及操纵控制装置中。

凸轮机构主要有三部分组成，即：凸轮(它有特定的廓线)、从动件(它由凸轮廓线控制着)及机架。

凸轮机构的类型较多，学生在参观这部分时应了解各种凸轮的特点和结构，找

出其中的共同特点。

(四) 齿轮机构

齿轮机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构。具有传动准确、可靠、运转平稳、承载能力大、体积小、效率高等优点，广泛应用于各种机器中。根据轮齿的形状齿轮分为：直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、圆锥齿轮及蜗轮、蜗杆。根据主、从动轮的两轴线相对位置，齿轮传动分为：平行轴传动、相交轴传动、交错轴传动三大类。

1. 平行轴传动的类型有：外、内啮合直齿轮机构、斜齿圆柱齿轮机构、人字齿轮机构、齿轮齿条机构等。

2. 相交轴传动的类型有圆锥齿轮机构，轮齿分布在一个截锥体上，两轴线夹角常为 90° 。

3. 交错轴传动的类型有：螺旋齿轮机构、圆柱蜗轮蜗杆机构，弧面蜗轮蜗杆机构等。

在参观这部分时，学生应注意了解各种机构的传动特点，运动状况及应用范围等。

4. 齿轮机构参数

齿轮基本参数有齿数 z 、模数 m 、分度圆压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 等。

参观这部分时，学生需要掌握：什么是渐开线？渐开线是如何形成的？什么是基圆和渐开线发生线？并注意观察基圆、发生线、渐开线三者间关系，从而得出渐开线有什么性质？

再就观察摆线的形成，要了解什么是发生圆？什么是基圆？动点在发生圆上位置发生变化时，能得到什么样轨迹的摆线？

同时还要通过参观总结出：齿数、模数、压力角等参数变化对齿形有何影响？

(五) 周转轮系

通过各种类型周转轮系的动态模型演示，学生应该了解什么是定轴轮系？什么是周转轮系？根据自由度不同，周转轮系又分为行星轮系和差动轮系。它们有什么差异和共同点？差动轮系为什么能将一个运动分解为两个运动或将两个运动合成为一个运动？

周转轮系的功用、形式很多，各种类型都有它自己的缺点和优点。在我们今后的应用中应如何避开缺点，发挥优点等等都是需要学生实验后认真思考和总结的问题。

(六) 其他常用机构

其他常用机构常见的有棘轮机构；摩擦式棘轮机构；槽轮机构；不完全齿轮机构；凸轮式间歇运动机构；万向节及非圆齿轮机构等。通过各种机构的动态演示学生应知道各种机构的运动特点及应用范围。

(七)机构的串、并联

展柜中展示有实际应用的机器设备、仪器仪表的运动机构。从这里可以看出，机器都是由一个或几个机构按照一定的运动要求串、并联组合而成的。所以在学习机械原理课程中一定要掌握好各类基本机构的运动特性，才能更好地去研究任何机构(复杂机构)特性。

实验二 机械零件认识实验

一、实验目的

1. 初步了解《机械设计》课程所研究的各种常用零件的结构、类型、特点及应用。
2. 了解各种标准零件的结构形式及相关的国家标准。
3. 了解各种传动的特点及应用。
4. 了解各种常用的润滑剂及相关的国家标准。
5. 增强对各种零部的结构及机器的感性认识。

二、实验方法

学生们通过对实验指导书的学习及“机械零件陈列柜”中的各种零件的展示，实验教学人员的介绍，答疑及同学的观察去认识机器常用的基本零件，使理论与实际对应起来，从而增强同学对机械零件的感性认识。并通过展示的机械设备、机器模型等，使学生们清楚知道机器的基本组成要素—机械零件。

三、实验内容

（一）螺纹联接

螺纹联接是利用螺纹零件工作的，主要用作紧固零件。基本要求是保证联接强度及联接可靠性，同学们应了解如下内容：

1. 螺纹的种类：常用的螺纹主要有普通螺纹、米制锥螺纹、管螺纹、梯形螺纹、矩形螺纹和锯齿螺纹。前三种主要用于联接，后三种主要用于传动。除矩形螺纹外，都已标准化。除管螺纹保留英制外，其余都采用米制螺纹。

2. 螺纹联接的基本类型：常用的有普通螺栓联接，双头螺柱联接、螺钉联接及紧定螺钉联接。除此之外，还有一些特殊结构联接。如专门用于将机座或机架固定在地基上的地脚螺栓联接，装在大型零部件的顶盖或机器外壳上便于起吊用的吊环螺钉联接及应用在设备中的T型槽螺栓联接等。

3. 螺纹联接的防松：防松的根本问题在于防止螺旋副在受载时发生相对转动。防松的方法，按其工作原理可分为摩擦防松、机械防松及铆冲防松等。摩擦防松简单、方便，但没有机械防松可靠。对重要联接，特别是在机器内部的不易检查的联接，应采机械防松。常见的摩擦防松方法有对顶螺母，弹簧垫圈及自锁螺母等；机械防松方法有开口销与六角开槽螺母、止动垫圈及串联钢丝等；铆冲防松主要是将螺母拧紧后把螺栓末端伸出部分铆死，或利用冲头在螺栓末端与螺母的旋合处打冲，利用冲点防松。

4. 提高螺纹联接强度的措施

1) 受轴向变载荷的紧螺栓联接, 一般是因疲劳而破坏。为了提高疲劳强度, 减小螺栓的刚度, 可适当增加螺栓长度, 或采用腰状杆螺栓与空心螺栓。

2) 不论螺栓联接的结构如何, 所受的拉力都是通过螺栓和螺母的螺纹牙相接触来传递的, 由于螺栓和螺母的刚度与变形的性质不同, 各圈螺纹牙上的受力也是不同的。为了改善螺纹牙上的载荷分布不均程度, 常用悬置螺母或采用钢丝螺套来减小螺栓旋合段本来受力较大的几圈螺纹牙的受力面。

3) 为了提高螺纹联接强度, 还应减小螺栓头和螺栓杆的过渡处所产生的应力集中。为了减小应力集中的程度, 可采用较大的过渡圆角和卸载结构。在设计、制造和装配上应力求避免螺纹联接产生附加弯曲应力, 以免降低螺栓强度;

4) 再就是采用合理的制造工艺方法, 来提高螺栓的疲劳强度。如采用冷镦螺栓头部和滚压螺纹的工艺方法或用采用表面氮化、氰化、喷丸等处理工艺都是有效方法。

在掌握上述内容, 通过参观螺纹联接展柜, 同学应区分出: ①什么是普通螺纹、管螺纹、梯形螺纹和锯齿螺纹; ②能认识什么是普通螺纹、双头螺纹、螺钉及紧定螺钉联接; ③能认识摩擦防松与机械防松的零件; ④了解联接螺栓的光杆部分做得比较细的原因是什么等问题。

(二) 标准联接零件

标准联接零件一般是由专业企业按国标 (GB) 成批生产, 供应市场的零件。这类零件的结构形式和尺寸都已标准化, 设计时可根据有关标准选用。通过实验学生们要能区分螺栓与螺钉; 能了解各种标准化零件的结构特点, 使用情况; 了解各类零件有那些标准代号, 以提高学生们对标准化意识。

1. 螺栓: 一般是与螺母配合使用以联接被联接零件, 无需在被联接的零件上加工螺纹, 其联接结构简单, 装拆方便, 种类较多, 应用最广泛。其国家标准有: GB5782~5786 六角头螺栓、GB31.1~31.3 六角头带孔螺栓、GB8 方头螺栓、GB27 六角头铰制孔用螺栓、GB37 T形槽用螺栓、GB799 地脚螺栓及 GB897~900 双头螺栓等。

2. 螺钉: 螺钉联接不用螺母, 而是紧定在被联接件之一的螺纹孔中, 其结构与螺栓相同, 但头部形状较多以适应不同装配要求。常用于结构紧凑场合。其国家标准有: GB65 开槽圆柱头螺钉; GB67 开槽盘头螺钉; GB68 开槽沉头螺钉; GB818 十字槽盘头螺钉; GB819 十字槽沉头螺钉; GB820 十字槽半沉头螺钉; GB70 内六角圆柱头螺钉; GB71 开槽锥端紧定螺钉; GB73 开槽平端紧定螺钉; GB74 开槽凹端紧定螺钉; GB75 开槽长圆柱端紧定螺钉; GB834 滚花高头螺钉; GB77~80 各种内六角紧定螺钉; GB83~86 各类方头紧定螺钉; GB845~847 各类十字自攻螺钉; GB5282~5284 各类开槽自攻螺钉; GB6560~6561 各类十字头自攻锁紧螺钉; GB825 吊环螺钉等。

3. 螺母: 螺母形式很多, 按形状可分为六角螺母、四方螺母及圆螺母; 按联接

用途可分为普通螺母，锁紧螺母及悬置螺母等。应用最广泛的是六角螺母及普通螺母。其国家标准有：GB6170~6171、GB6175~6176 1型及2型 A、B级六角螺母；GB41 1型 C级螺母；GB6172A、B级六角薄螺母；GB6173A、B六角薄型细牙螺母；GB6178、GB6180 1、2型 A、B级六角开槽螺母；GB9457、GB9458 1、2型，A、B级六角开槽细牙螺母；GB56六角厚螺母；GB6184六角锁紧螺母；GB39方螺母；GB806滚花高螺母；GB923盖形螺母；GB805扣紧螺母；GB812、GB810圆螺母及小圆螺母；GB62蝶形螺母等。

4. 垫圈：垫圈种类有平垫、弹簧垫及锁紧垫圈等。平垫圈主要用于保护被联接件的支承面，弹簧及锁紧垫圈主要用于摩擦和机械防松场合，其国家标准有：GB97.1~97.2、GB95~96、GB848、GB5287各类大、小及特大平垫圈；GB852工字钢用方斜垫圈；GB853槽钢用方斜垫圈；GB861.1及GB862.1内齿、外齿锁紧垫圈；GB93、GB7244、GB859各种类弹簧垫圈；GB854~855单耳、双耳止动垫圈；GB856外舌止动垫圈；GB858圆螺母止动垫圈。

5. 挡圈：常用于轴端零件固定之用。其国家标准有：GB891~892螺钉、螺栓紧固轴端挡圈；GB893.1~893.2A型 B型孔用弹性挡圈；GB894.1~894.2A型 B型轴用弹性挡圈；GB895.1~895.2孔用、轴用钢丝挡圈；GB886轴肩挡圈等。

（三）键、花键及销联接

1. 键联接：键是一种标准零件，通常用来实现轴与轮毂之间的周向固定以传递转矩，有的还能实现轴上零件的轴向固定或轴向滑动的导向。其主要类型有：平键联接、楔键联接和切向键联接。各类键使用的场合不同，键槽的加工工艺也不同。可根据键联接的结构特点，使用要求和工作条件来选择，键的尺寸则应符合标准规格和强度要求来取定。其国家标准有：GB1096~1099各类普通平键、导向键及各类半圆键；GB1563~1566各类楔键、切向键及薄型平键等。

2. 花键联接：花键联接是由外花键和内花键组成。适用于定心精度要求高、载荷大或经常滑移的联接。花键联接的齿数、尺寸，配合等均按标准选取，可用于静联接或动联接。按其齿形可分为矩形花键（GB1144）和渐线形花键（GB3478.1），前一种由于多齿工作，承载能力高、对中性好、导向性好、齿根较浅、应力集中较小、轴与毂强度削弱小等优点，广泛应用在飞机、汽车、拖拉机、机床及农业机械传动装置中；渐形线花键联接，受载时齿上有径向力，能起到定心作用，使各齿受力均匀，强度、寿命长等特点，主要用于载荷较大、定心精度要求较高以及尺寸较大的联接。

3. 销联接：销主要用来固定零件之间的相对位置时，称为定位销，它是组合加工和装配时的重要辅助零件；用于接接时，称为联接销，可传递不大的载荷；作为安全装置中的过载剪断元件时，称为安全销。

销有多种类型，如圆锥销、槽销、销轴和开口销等，这些均已标准化，主要国标代号有：GB119、GB20、GB878、GB879、GB117、GB118、GB881、GB877 等。

各种销都有各自的特点，如：圆柱销多次拆装会降低定位精度和可靠性；锥销在受横向力时可以自锁，安装方便，定位精度高，多次拆装不影响定位精度等。

以上几种联接，通过展柜的参观同学们要仔细观察其结构，使用场合，并能分清和认识以上各类零件。

（四）机械传动

机械传动有螺旋传动、带传动、链传动、齿传动及蜗杆传动等。各种传动都有不同的特点和使用范围，这些传动知识同学们在学习“机械设计”课程中都要详细讲授。在这里主要通过实物观察，增加同学们对各种机械传动知识的感性认识，为今后理论学习及课程设计打下良好基础。

1. 螺旋传动：螺旋传动是利用螺纹零件工作的，作为传动件要求保证螺旋副的传动精度，效率和磨损寿命等。其螺纹种类有矩形螺纹、梯形螺纹、锯齿螺纹等。按其用途可分传力螺旋、传导螺旋及调整螺旋三种；按摩擦性质不同可分为滑动螺旋、滚动螺旋及静压螺旋等。

滑动螺旋常为半干摩擦，摩擦阻力大、传动效率低（一般为 30~60%）；但其结构简单，加工方便，易于自锁，运转平稳，但在低速时可能出现爬行；其螺纹有侧向间隙，反向时有空行程，定位精度和轴向刚度较差，要提高精度必须采用消除机构；磨损快。滑动螺旋应用于传力或调整螺旋时，要求自锁，常采用单线螺纹；用于传导时，为了提高传动效率及直线运动速度，常采用多线螺纹（线数 $n=3\sim 4$ ）。滑动螺旋主要应用于金属切削机床进给；分度机构的传导螺旋，摩擦压力机及千斤顶的传动。

滚动螺旋因螺旋中含有滚珠或滚子，在传动时摩擦阻力小，传动效率高（一般在 90%以上）；起动力矩小，传动灵活、工作寿命长等优点，但结构复杂制造较难；滚动螺旋具有传动可逆性（可以把旋转动变为直线运动，也可把直线运动变成转动），为了避免螺旋副受载时逆转，应设置防止逆转的机构；其运转平稳，启动时无颤动，低速时不爬行；螺母与螺杆经调整预紧后，可得到很高的定位精度（ $6\mu\text{m}/0.3\text{m}$ ）和重复定位精度（可达 $1\sim 2\mu\text{m}$ ），并可提高轴的刚度；其工作寿命长、不易发生故障，但抗冲击性能较差。主要用在金属切削精密机床和数控机床、测试机械、仪表的传导螺旋和调整螺旋及起重、升降机构和汽车、拖拉机转向机构的传力螺旋；飞机、导弹、船舶、铁路等自控系统的传导和传力螺旋上。

静压螺旋是为了降低螺旋传动的摩擦，提高传动效率，并增强螺旋传动的刚性的抗振性能，将静压原理应用于螺旋传动中，制成静压螺旋。因为静压螺旋是液体摩擦，摩擦阻力小，传动效率高（可达 99%），但螺母结构复杂；其具有传动的可逆

性，必要时应设置防止逆转的机构；工作稳定，无爬行现象；反向时无空行程，定位精度高，并有较高轴向刚度；磨损小及寿命长等特点。使用时需要一套压力稳定、温度恒定、有精滤装置的供油系统。主要用于精密机床进给，分度机构的传导螺旋。

2. 带传动：是带被张紧（预紧力）而压在两个带轮上，主动轮带轮通过摩擦带动带以后，再通过摩擦带动从动带轮转动。它具有传动中心距大、结构简单、超载打滑（减速）等特点。常有平带传动、V型带传动，多楔带及同步带传动等。

平带传动结构最简单，带轮容易制造。在传动中心距较大的情况下应用较多；

V型带为一整圈，无接缝，故质量均匀，在同样张紧力下，V型带较平带传动能产生更大的摩擦力，再加上传动比较大、结构紧凑，并标准化生产，因而应用广泛；

多楔带传动兼有平带和V型带传动的优点，柔性好、摩擦力大、能传递的功率大，并能解决多根V型带长短不一使各带受力不均匀的问题。主要用于传递功率较大而结构要求紧凑的场合，传动比可达10，带速可达40m/s。

同步带是沿纵向制有很多齿，带轮轮面也制有相应齿，它是靠齿的啮合进行传动，可使带与轮的速度一致等特点。

3. 链传动：是由主动链轮齿带动链以后，又通过链带动从动链轮，属于带有中间挠性件的啮合传动。与属于摩擦传动的带传动相比，链传动无弹性滑动和打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高。按用途不同可分为传动链传动、输送链传动和起重链传动。输送链和起重链主要用在运输和起重机械中，而在一般机械传动中，常用的传动链。

传动链有短节距精密滚子链（简称滚子链），齿形链等。

在滚子链中为使传动平稳，结构紧凑，宜选用小节距单排链，当速度高、功率大时则选用小节距多排链。

齿形链又称无声链，它是由一级带有两个齿的链板左右交错并列铰链而成。齿形链设有导板，以防止链条在工作时发生侧向窜动。与滚子链相比，齿形链传动平稳、无噪声、承受冲击性能好、工作可靠。

链轮是链传动的主要零件，链轮齿形已标准化(GB1244、GB10855)链轮设计主要是确定其结构尺寸，选择材料及热处理方法等。

4. 齿轮传动：齿轮传动是机械传动中最重要的传动之一，型式多、应用广泛。其主要特点是：效率高、结构紧凑、工作可靠、传动比稳定等。可做成开式、半开式及封闭式传动。失效形式主要有轮齿折断、齿面点锈、齿面磨损、齿面胶合及塑性变形等。

常用的渐开线齿轮有直齿圆柱齿轮传动、斜齿圆柱齿轮传动、标准锥齿齿轮传动、圆弧齿圆柱齿传动等。齿轮传动啮合方式有内啮合、外啮合、齿轮与齿条啮合等。参观时一定要了解各种齿轮特征，主要参数的名称及几种失效形式的主要特征，

使实验在真正意义上的与理论教学上产生互补作用。

5. 蜗杆传动: 蜗杆传动是在空间交错的两轴间传递运动和动力的一种传动机构, 两轴线交错的夹角可为任意角, 常用的为 90° 。

蜗杆传动有下述特点: 当使用单头蜗杆(相当于单线螺纹)时, 蜗杆旋转一周, 蜗轮只转过一个齿距, 因此能实现大传动比。在动力传动中, 一般传动比 $i=5\sim 80$; 在分度机构或手动机构的传动中, 传动比可达 300; 若只传递运动, 传动比可达 1000。由于传动比大, 零件数目又少, 因而结构很紧凑。在传动中, 蜗杆齿是连续不断的螺旋齿, 与蜗轮啮合是逐渐进入与逐渐退出, 故冲击载荷小, 传动平衡, 噪声低; 但当蜗杆的螺旋线升角小于啮合面的当量摩擦角时, 蜗杆传动便具有自锁; 再就是蜗杆传动与螺旋传动相似, 在啮合处的有相对滑动, 当速度很大, 工作条件不够良好时会产生严重摩擦与磨损, 引起发热, 摩擦损失较大, 效率低。

根据蜗杆形状不同, 分为圆柱蜗杆传动, 环面蜗杆传动和锥面蜗杆传动。通过实验同学应了解蜗杆传动结构及蜗杆减速器种类和形式。

(五)轴系零、部件

1. 轴承: 轴承是现代机器中广泛应用的部件之一。轴承根据摩擦性质不同分为滚动轴承和滑动轴承两大类。滚动轴承由于摩擦系数小, 起动阻力小, 而且它已标准化(标准代号有: GB /T281、GB/T276、GB/T288、GB/T292、GB/T285、GB/T5801、GB/T297、GB/T301 及 GB/T4663、GB/T5859 等), 选用, 润滑、维护都很方便, 因此在一般机器应用较广。滑动轴承按其承受载荷方向的不同分为径向滑动轴承和止推轴承; 按润滑表面状态不同又可分为液体润滑轴承、不完全液体润滑轴承及无润滑轴承(指工作时不加润滑剂); 根据液体润滑承载机理不同, 又可分为液体动力润滑轴承(简称液体动压轴承)和液体静压润滑轴承(简称液体静压轴承)。

轴承理论课程, 将详细讲授机理、结构、材料等, 并且还有实验与之相配合, 这次实验同学们主要要了解各类, 各种轴承的结构及特征, 扩大自己的眼界。

2. 轴: 轴是组成机器的主要零件之一。一切作回转运动的传动零件(如齿轮、蜗轮等), 都必须安装在轴上才能进行运动及动力的传递。轴的主要功用是支承回转零件及传递运动和动力。

按承受载荷的不同, 可分为转轴、心轴和传动轴三类; 按轴线形状不同, 可分为曲轴和直轴两大类, 直轴又可分为光轴和阶梯轴。光轴形状简单, 加工容易, 应力集中源少, 但轴上的零件不易装配及定位; 阶梯轴正好与光轴相反。所以光轴主要用于心轴和传动轴, 阶梯轴则常用于转轴; 此外, 还有一种钢丝软轴(挠性轴), 它可以把回转运动灵活地传到不开敞的空间位置。

轴的失效形式主要是疲劳断裂和磨损。防止失效的措施是: 从结构设计上力求降低应力集中(如减小直径差, 加大过渡圆半径等, 可详看实物)再就是提高轴的表

面品质，包括降低轴的表面粗糙度，对轴进行热处理或表面强化处等。

轴上零件的固定，主要是轴向和周向固定。轴向固定可采用轴肩、轴环、套筒、挡圈、圆锥面、圆螺母、轴端挡圈、轴端挡板、弹簧挡圈、紧定螺钉方式；周向固定可采用平键、楔键、切向键，花键、圆柱销、圆锥销及过盈配合等联接方式。

轴看似简单，但轴的知识，内容都比较丰富，完全掌握是很不容易。只有通过理论学习及实践知识的积累(多看、多观察)逐步掌握。

(六)弹簧

弹簧是一种弹性元件，它可以在载荷作用产生较大的弹性变形。在各类机械中应用十分广泛。主要应用于：

1. 控制机构的运动，如制动器、离合器中的控制弹簧，内燃机气缸的阀门弹簧等。
2. 减振和缓冲，如汽车、火车车厢下的减振簧，及各种缓冲器用的弹簧等。
3. 储存及输出能量，如钟表弹簧，枪内弹簧等。
4. 测量力的大小，如测力器和弹簧秤中的弹簧等。

弹簧的种类比较多，按承受的载荷不同可分为拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧及弯曲弹簧四种；按形状不同又可分为螺旋弹簧、环形弹簧、碟形弹簧、板簧和平面涡卷弹簧等，观看时要看清各种弹簧的结构、材料，并能与名称对应起来。

(七)润滑剂及密封

1. 润滑剂：在摩擦面间加入润滑剂不仅可以降低摩擦，减轻磨损，保护零件不遭锈蚀，而且在采用循环润滑时还能起到散热降温的作用。由于液体的不可压缩性，润滑油膜还具有缓冲、吸振的能力。使用膏状润滑脂，既可防止内部的润滑剂外泄，又可阻止外部杂质侵入，避免加剧零件的磨损，起到密封作用。

润滑剂可分为气体、液体，半固体和固体四种基本类型。在液体润滑剂中应用最广泛的是润滑油，包括矿物油、动植物油、合成油和各种乳剂。半固体润滑剂主要是指各种润滑脂，它是润滑油和稠化剂的稳定混合物。固体润滑剂是任何可以形成固体膜以减少摩擦阻力的物质，如石墨、三硫化钼、聚四氟乙烯等。任何气体都可作为气体润滑剂，其中用的最多的是空气，主要用在气体轴承中。各类润滑剂润滑原理，性能教课中都会讲授。液体、半固体润滑剂，在生产中其成份及各种分类(品种)都是严格按照国家有关标准进行生产。学生们不但要了解展柜展出油剂，脂剂各种实物，润滑方法与润滑装置，还应了解其相关国家标准，如润滑油的粘度等级 GB3141 标准；石油产品及润滑剂的总分类 GB498 标准；润滑剂 GB7631.1~7631.8 标准等。国家标准中油剂共有 20 大组类、70 余个品种，脂剂有 14 个种类品种等。

2. 密封

机器在运转过程中及气动、液压传动中需润滑剂、气、油润滑、冷却、传力保

压等，在零件的接合面、轴的伸出端等处容易产生油、脂、水、气等渗漏。为了防止这些渗漏，在这些地方常要采用一些密封的措施。但密封方法和类型很多。如填料密封，机械密封、O形圈密封，迷宫式密封、离心密封、螺旋密封等。这些密封广泛应用在泵、水轮机、阀、压气机、轴承、活塞等部件的密封中。学生们在参观时应认清各类密零件及应用场合。

实验三 机构运动简图测绘实验

一、实验目的

- 1.初步掌握根据实际机器或机构模型绘制机构运动简图的技能。
- 2.验证和巩固机构自由度的计算方法。
- 3.通过实验机构的比较, 巩固对机构结构分析的了解。

二、实验设备和工具

- 1.若干个机器和机构模型;
- 2.自备三角尺、圆规、铅笔、稿纸等。

三、实验原理

机构的运动简图是工程上常用的一种图形, 是用符号和线条来清晰、简明的表达出机构的运动情况, 使人看了对机器的动作一目了然。在机器中各种机构尽管它们的外形和功用各不相同, 但只要是同种机构 其运动简图都是相同的。

机构的运动仅与机构所具有的构件数目和构件所组成的运动副的数目、类型、相对位置有关。因此在绘制机构运动简图时, 可以不考虑构件的复杂外形, 运动副的具体构造, 而用简单的线条和规定的符号(参看附表 GB4460)来代表构件和运动副, 并按一定的比例尺寸表示各运动副的相对位置, 画出能准确表达机构运动特性的机构运动简图。

四、实验方法和步骤

- 1.选择 5~8 种机构模型和机器, (根据不同专业要求, 规定必画模型, 选画模型)。
- 2.选好模型后缓慢地转动被测的机器或模型, 从原动件开始观察机构的运动, 认清机架, 原动件和从动件。
- 3.根据运动传递的顺序, 仔细分析相互连接两构件间的接触方式及相对运动形式, 确定组成机构的构件数目及运动副类型和数目。
- 4.合理选择投影面, 一般选择能够表达机构中多数构件的运动平面为投影面。
- 5.绘制机构的运动简图的草图。首先将原动件固定在适当的位置, (避开构件之间重合) 大致定出各运动副之间的相对位置, 用规定的符号画出运动副, 并用线条连接起来, 然后用数字 1、2、3……及字母 A、B、C……分别标注相应的构件和运动副, 并用箭头表示原动件的运动方向和运动形式, 量出机构对应运动副间的尺寸,

再将草图按比例画入实验报告中。
$$u_l = \frac{\text{构中的实际尺寸(米)}}{\text{图示尺寸(毫米)}}。$$

- 6.计算自由度, 并与实际机构对照, 观察原动件数与自由度是否相等; 计算公式:

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

7. 对机构进行结构分析，并判断机械的级别。
8. 举例绘制如图 3-1(a)所示的小型压力机的机构运动简图。

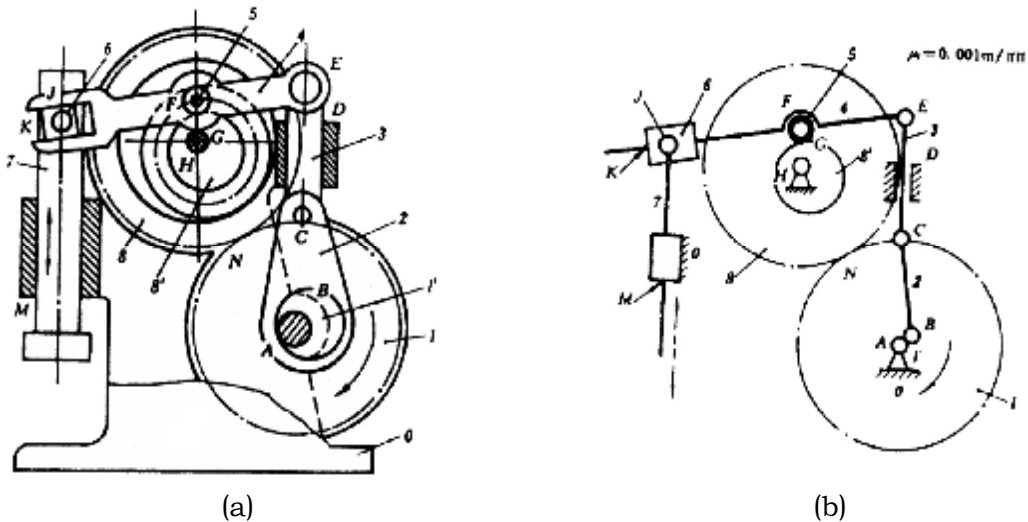


图 3-1

【解】该小型压力机的工作原理是电机带动偏心轮 1' 作顺时针转动，通过构件 2、3 将主运动传给构件 4；同时另一路运动自与偏心轮 1' 固联的齿轮 1 输出，经齿轮 8 及与其固联的槽型凸轮 8'，传递给构件 4；两路运动经构件 4 合成，由滑块 6 带动压头 7 作上下移动，实现冲压工艺动作。显然该压力机的机架是构件 0，原动件为组件 1-1'，其他为从动件。

仔细观察各连接构件之间的相对运动特点后可知，构件 0 和 1(1')、1' 和 2、2 和 3、3 和 4、4 和 5、6 和 7 及 0 和 8(8') 之间构成转动副；而构件 0 和 3、4 和 6 及 0 和 7 之间构成移动副；高副为 1 和 8、8' 和 5 之间形成。

选定视图投影面及比例尺 $m_L=0.001m/mm$ ，顺序确定转动副 A、H 和移动副导路 D、M 的位置，根据原动件 1' 的位置及各杆长等绘出转动副 B、C、E、F、J 的位置按规定符号绘出各运动副(包括高副 G、N)及各构件等，最后得到该压力机的机构运动简图，如图 3-1 (b)所示。

由上述分析可知，该机构活动杆件数为 8，转动副数为 7，移动副数为 3，高副为 2。但构件 4 与凸轮 8' 之间以滚子 5 实现滚动接触，故此处引进了一个局部自由度，应排除(即设想将滚子与构件 4 焊成一体)。这样 $n=7$ ； $P_L=9$ ； $P_H=2$ ；计算自由度得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 2 = 1$$

五、思考题

1. 一个正确的“机构运动简图”能说明那些问题？
2. 机构自由度的计算对测量绘制机构运动简图有何帮助？

六、实验报告

常用运动副、构件的表示法 (选自 GB4460)

		两运动构件所形成的运动副	两构件之一为机架时所形成的运动副
低副	转动副		
	移动副		
	移动副		
	螺旋副		
高副	凸轮副		凸轮从动件的符号
	齿轮副		
构件	双副元素构件		
	三副元素构件		
	多副元素构件		

机构运动简图实验报告

编号	机构名称	运 动 简 图	自由度计算	判 断 原动件 数及机 构级别
1			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
2			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
3			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
4			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	

编号	机构名称	运 动 简 图	自由度计算	判 断原 动件数及 机构级别
5			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
6			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
7			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	
8			$n=$ $P_L=$ $P_H=$ $F=$	

实验四 齿轮范成原理实验

一、实验目的

1. 掌握用范成法加工渐开线齿轮的基本原理，观察渐开线齿轮齿廓曲线的形成过程。
2. 了解渐开线齿轮齿廓的根切现象和用径向变位避免根切的方法。
3. 分析比较标准齿轮与变位齿轮齿形的异同。

二、实验仪器和工具

1. 齿轮范成仪(每人一台)。
2. 铅笔、橡皮、剪刀(学生自备)。

三、实验原理

由齿轮啮合原理可知：一对渐开线齿轮(或齿轮和齿条)啮合传动时，两轮的齿廓曲线互为包络线。范成法就是利用这一原理来加工齿轮的。用范成法加工齿轮时，其中一轮为形同齿轮或齿条的刀具，另一轮为待加工齿轮的轮坯。刀具与轮坯都安装在机床上，在机床传动链的作用下，刀具与轮坯按齿数比作定传动比的回转运动，与一对齿轮(它们的齿数分别与刀具和待加工齿轮的齿数相同)的啮合传动完全相同。在对滚中刀具齿廓曲线的包络线就是待加工齿轮的齿廓曲线。与此同时，刀具还一面作径向进给运动(直至全齿高)，另一面沿轮坯的轴线作切削运动，这样刀具的刀刃就可切削出待加工齿轮的齿廓。由于在实际加工时看不到刀刃包络出齿轮的过程，故通过齿轮范成实验来表现这一过程。在实验中所用的齿轮范成仪相当于用齿条型刀具加工齿轮的机床，待加工齿轮的纸坯与刀具模型都安装在范成仪上，由范成仪来保证刀具与轮坯的对滚运动(待加工齿轮的分度圆线速度与刀具的移动速度相等)。对于在对滚中的刀具与轮坯的各个对应位置，依次用铅笔在纸上描绘出刀具的刀刃廓线，每次所描下的刀刃廓线相当于齿坯在该位置被刀刃所切去的部分。这样我们就能清楚地观察到刀刃廓线逐渐包络出待加工齿轮的渐开线齿廓，形成轮齿切削加工的全过程。

四、齿轮范成仪的结构及使用方法简介

实验所用的范成仪有三种规格，它们的结构原理相同，仅介绍一种。范成仪结构如图4—1所示，由机座1，扇形盘2，旋钮3，齿条刀4，溜板5，螺母6等组成。机座上有两孔为 O_1 和 O_2 ；扇形盘可绕轴心(大扇绕 O_1 ，小扇 O_2)转动，扇形盘上装有扇形齿轮，溜板上装有齿条，它与扇形齿轮相啮合，在扇形齿轮的分度圆与溜板齿条的节线(分度线)上该有数字，移动溜板时可看到它们一一对应，即表示齿轮的分度圆与齿条的节线(分度线)作纯滚动。把一个分度圆直径与扇形齿轮的分度圆直径相等的待加工齿轮的纸坯固联在扇形盘上，把齿条型刀具固联在溜板上，随着扇

形齿轮与溜板齿条的啮合传动，轮坯的分度圆与齿条型刀具的某条节线作纯滚动。旋钮 3 是用来固联纸坯，螺母 6 可把齿条刀具固联在溜板上，松开螺母后可调整刀具与轮坯的相对位置。如果齿条刀具的中线与轮坯的分度圆相切(此时刀具的标线与溜板两侧标尺的“O”线对齐)，范成出标准齿轮的齿廓。如果改变齿条刀具与轮坯的相对位置，即刀具的中线与轮坯的分度圆不相切，有一段距离(距离 xm 值可在溜板两侧的标尺上直接读出)，则可按移距变位值的大小及方向分别范成出正变位齿轮或负变位齿轮。

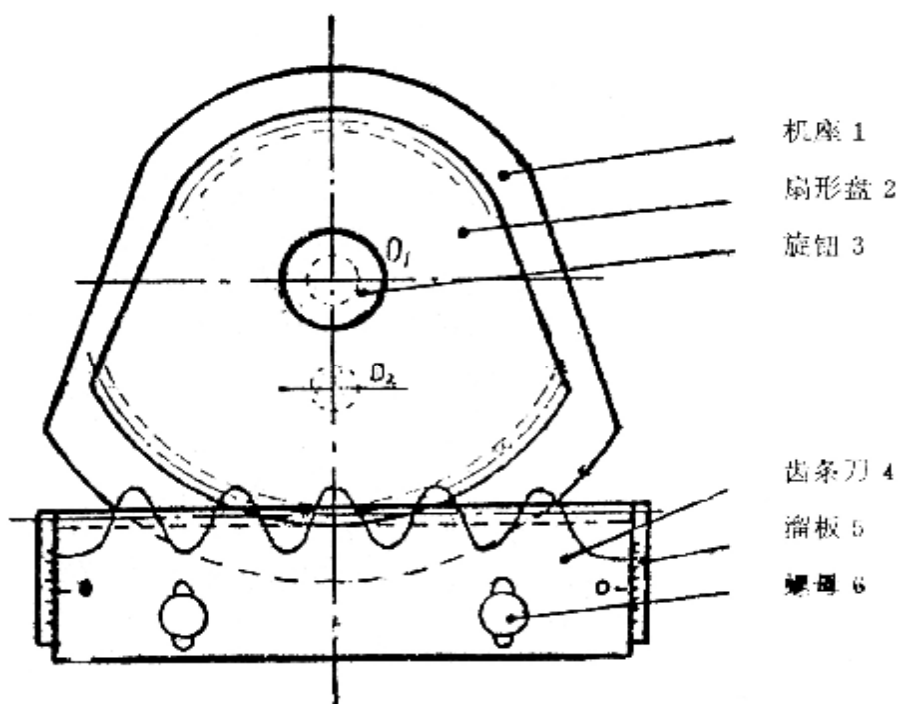


图 4-1 齿轮范成仪

五、实验步骤

1. 按照指导教师的要求剪好轮坯纸。

2. 标准齿轮的绘制。

(1)松开螺母 6 及旋钮 3，将轮坯纸放在刀具下面，且在圆盘上面，然后旋上旋钮 3，此时暂不要旋紧，将轮坯纸上已印好的 $X=0$ 的区域转到下方正中。

(2)调节齿条插刀，使刀具标线对准溜板两侧标尺上的 O 线，此时刀具中线与轮坯分度圆相切，然后旋紧旋钮 3 及螺母 6。

(3)开始“切制”齿廓时，先将溜板 5 推向左端，然后用左手将溜板向右推进 2-3mm，右手用铅笔在轮坯纸上描下刀具刀刃齿廓。随后依此重复，直到刀具推到右端为止，轮坯上所描下的一系列刀具齿廓所包络出的曲线就是渐开线齿形。最后用铅笔钩下

一个你认为是完整的齿形(即用“√”表示)

3. 正变位齿轮的绘制

(1)松开旋钮 3, 将轮坯纸旋转 120° , 使纸坯上印好的 $X=0.5$ 的区域位下方正中, 旋紧旋钮 3。松开螺母 6, 将齿条刀具远离轮坯中心 xm 距离, 其数据可在标尺上读出, 然后将螺母 6 拧紧。

(2)重复标准齿轮绘制方法的第(3)步骤。

4. 负变位齿轮的绘制

其绘制方法和步骤与正变位齿轮基本相同, 其不同的是将齿条刀具向着轮坯中心移动 $|xm|$ 距离。

5. 绘制完毕后取下图纸, 并将范成仪恢复到原状态。

六、实验内容

本实验所用的范成仪有三种规格; 齿轮的压力角 $\alpha = 20^\circ$; 齿顶高系数 $h_a^* = 1$; 顶隙系数 $c^* = 0.25$; 但齿数 z 与模数 m 不同, 它们分别是:

A、 $m=20$ $Z=10$; B、 $m=15$ $Z=10$; C、 $m=16$ $Z=17$ 。

每个同学只用其中一种范成仪。

实验时每个同学须完成以下内容:

1. 范成标准齿轮

使用 A、B 两种范成仪的学生可看到所范成的齿廓有明显的根切现象, 其原因这是齿数 $Z=10$, 少于不根切的最少齿数 Z_{min} , 范成时刀具的齿顶线超过啮合极限点 N, 而产生根切。

使用 C 种范成仪的学生所范成的齿廓没有根切现象, 这是因为所范成的齿轮的齿数 $Z=17=Z_{min}$, 范成时刀具的齿顶线通过 N 点, 因而没有根切。

2. 范成变位齿轮

使用 A、B 两种范成仪的学生范成变位系数 $X=0.5$ 的正变位齿轮, 其齿廓没有根切现象。这是因为在 $Z=10$ 时不根切的最小变位系数

$$x_{min} = h_a^* \frac{(Z_{min} - Z)}{Z_{min}} = 1 \times \frac{(17 - 10)}{17} \approx 0.41$$

而实验所用的变位系数 $x=0.5$, $x > x_{min}$ 。因此把刀具由加工标准齿轮的位置远离轮心平移 xm 距离后, 刀具的齿顶线就低于 N 点, 因而根切消除。

使用 C 种范成仪的学生范成变位系数 $x=-0.5$ 的负变位齿轮, 其齿廓有根切现象。这是因为在范成 $Z=17$ 的标准齿轮时刀具的齿顶通过 N 点, 而将刀具向轮心平移 xm 距离, 刀具的齿顶线超过 N 点, 因而产生根切。

七、实验报告

渐开线齿轮范成原理实验报告

班级_____ 姓名_____ 组别_____ 日期_____

(一)、齿轮的基本参数

m	Z	α	h_a^*	x		
				x_1	x_2	x_3
		20°		0	0.5	-0.5

(二) 记录有关数据(单位: mm)

	标准	正变位	负变位
变位量 x_m			
分别计算下列参数			
分度圆直径 d			
齿顶圆直径 d_a			
齿根圆直径 d_f			
从齿廓图上量出下列参数			
分度圆齿厚			
齿顶圆齿厚			
齿根圆齿厚			

(三) 比较和结论

用上面数据, 将下面各项与标准齿轮进行定性比较得出相应的结论:

	正变位	负变位		正变位	负变位
1.分度圆齿厚			3.齿根圆齿厚		
2.齿顶圆齿厚			4.根切		

实验五 直齿圆柱齿轮参数的测定与分析实验

一、一、实验目的

1. 掌握应用普通游标卡尺和公法线千分尺测定渐开线直齿圆柱齿轮基本参数的方法。
2. 进一步巩固并熟悉齿轮各部分名称、尺寸与基本参数之间的关系及渐开线的性质。

二、实验内容

测定一对相啮合的渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数，并判别它是否为标准轮。对非标准齿轮，求出其变位系数。

三、实验设备和工具

1. 一对相互啮合齿轮(齿数为奇数和齿数为偶数的各一个)。
2. 游标卡尺，公法线千分尺。
3. 渐开线函数表(自备)。
4. 计算器(自备)。

四、实验原理及步骤

渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数有：齿数 Z 、模数 m 、分度圆压力角 α 齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 C^* 、中心距 a 和变位系数 x 等。本实验是用游标卡尺和公法千分尺测量，并通过计算来确定齿轮的基本参数。

1. 确定齿数 z

齿数 z 可直接从被测齿轮上数出。

2. 确定模数 m 和分度圆压力角 α

在图 5-1 中，由渐开线性质可知，齿廓间的公法线长度 \overline{AB} 与所对应的基圆弧长 A_0B_0 相等。根据这一性质，用公法线千分尺跨过 n 个齿，测得齿廓间公法线长度为 W_n' ，然后再跨过 $n+1$ 个齿测得其长度为 W_{n+1}' 。

由图 5-1 可知

$$W_n' = (n-1)P_b + S_b, \quad W_{n+1}' = nP_b + S_b$$

$$P_b = W_{n+1}' - W_n'$$

式中， P_b 为基圆齿距， $P_b = pm \cos \alpha$ (mm)，与齿轮变位与否无关。

S_b 为实测基圆齿厚，与变位量有关。由此可见，测定公法线长度 W_n' 和 W_{n+1}' 后就可求出基圆齿距 P_b ，实测基圆齿厚 S_b ，进而可确定出齿轮的压力角 α 、模数 m 和变位系数 x 。因此，准确测定公法线长度是齿轮基本参数测定中的关键环节。

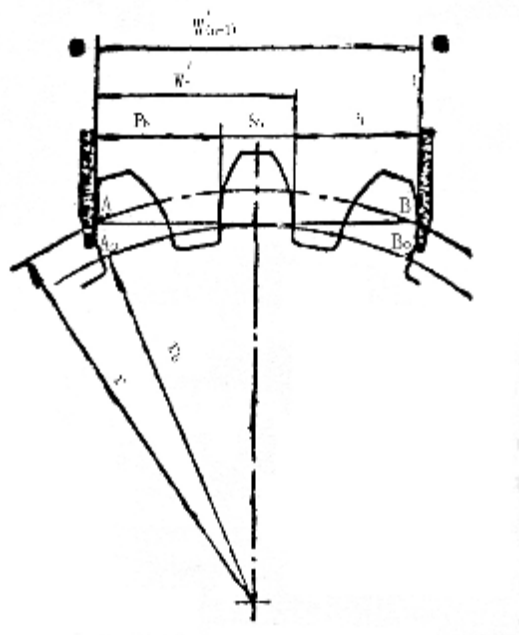


图 5—1 公法线长度测量

(1) 测定公法线长度 W'_n 和 W'_{n+1}

首先根据被齿轮的齿数 Z ，按下列公式计算跨齿数。

$$n = \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} Z + 0.5$$

式中： α —压力角； z —被测齿轮的齿数

我国采用模数制齿轮，其分度圆标准压力角是 20° 和 15° 。若压力角为 20° 可直接参照下表确定跨齿数 n 。

z	12~18	19~27	28~36	37~45	46~54	55~63	64~72	73~81	82~90
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10

公法线长度测量按图 5—1 所示方法进行，首先测出跨 n 个齿时的公法线长度 W'_n 。测定时应注意使千分尺的卡脚与齿廓工作段中部附近相切，即卡脚与齿轮两个渐开线齿面相切在分度圆附近。为减少测量误差， W'_n 值应在齿轮一周的三个均分位置各测量一次，取其平均值。

为求出基圆齿距 P_b ，还应按同样方法量出跨测 $n+1$ 齿时的公法线长度 W'_{n+1} 。

(2) 确定基圆齿距 P_b ，实际基圆齿厚 S_b

$$P_b = W'_{n+1} - W'_n$$

$$S_b = W_n - (n-1)P_b$$

(3) 确定模数 m 和压力角

根据求得的基圆齿距 P_b ，可按下式计算出模数：

$$m = P_b / (\pi \cos \alpha)$$

由于式中 α 可能是 15° 也可能是 20° ，故分别代入计算出两个相应模数，取其最接近于标准值的一组 m 和 α 。

3. 测定齿顶圆直径 d_a' 和齿根圆直径 d_f' 及计算全齿高 h'

为减少测量误差，同一数值在不同位置上测量三次，然后取其算术平均值。

当齿数为偶数时， d_a' 和 d_f' 可用游标卡尺直接测量，如图 5—2 所示。

当齿数为奇数时，直接测量得不到 d_a' 和 d_f' 的真实值，而须采用间接测量方法，如图 5—3 所示，先量出齿轮安装孔直径 D ，再分别量出孔壁到某一齿顶的距离 H_1 ，和孔壁到某一齿根的距离 H_2 。则 d_a' 和 d_f' 可按下式求出：

$$\text{齿顶圆直径 } d_a' \quad d_a' = S + 2H_1 \quad (\text{mm})$$

$$\text{齿根圆直径 } d_f' \quad d_f' = S + 2H_2 \quad (\text{mm})$$

计算全齿高 h

$$\text{奇数齿全齿高 } h' \quad h' = H_1 - H_2 \quad (\text{mm})$$

$$\text{偶数齿全齿高 } h' \quad h' = \frac{1}{2} (d_a - d_f) \quad (\text{mm})$$

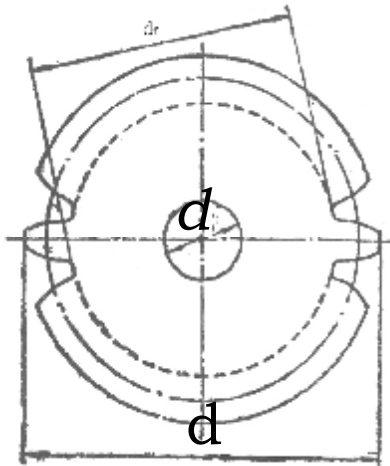


图 5—2 偶数齿测量

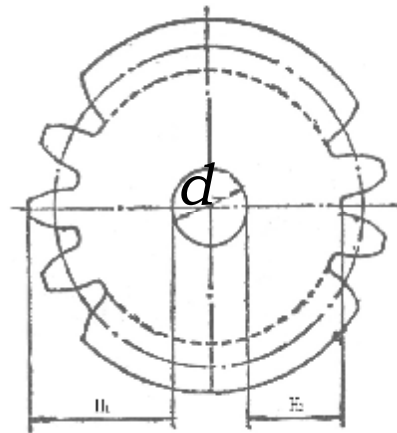


图 5—3 奇数齿测量

4. 确定变位齿轮传动类型和变位系数 x

标准齿轮的理论公法线长度 $W_n = m \cos[(n-0.5)\pi + Z \text{inv } \alpha]$

若实测得齿轮的公法线长度 W_n' (由于齿轮在实际使用中, 用齿厚的加工允差(负值)来保证有齿侧间隙, 公法线长度就有了一定的减簿量, 所以要注意加上此减簿量, 其值根据估计的齿轮精度, 查公差数值表确定与同样跨齿数的标准齿轮公法线长度 W_n 不一致时, 所测的齿轮就是变位齿轮。对于一对相啮合的齿轮变位系数和 x_Σ 的不同, 就要确定其传动类型和大小齿轮的变位系数。

(1) 确定齿轮传动类型

齿轮传动分为零传动 $x_\Sigma = 0$, 正传动 $x_\Sigma > 0$, 负传动 $x_\Sigma < 0$ 三种类型。可以用比较中心距的方法来判别其传动类型。为此, 应先计算齿轮传动的标准中心距 a

$$a = \frac{1}{2} m (Z_1 + Z_2)$$

再测量实际中心距 a' 。

测量中心距时, 可直接测量两支座轴的直径 d_{k1} 、 d_{k2} 及两轴连线的外围距离 A_1 或内围长度 A_2 , 如图 5—4 所示。然后按下式计算。

$$a' = A_1 - \frac{1}{2} (d_{k1} + d_{k2})$$

$$a' = A_2 + \frac{1}{2} (d_{k1} + d_{k2})$$

或

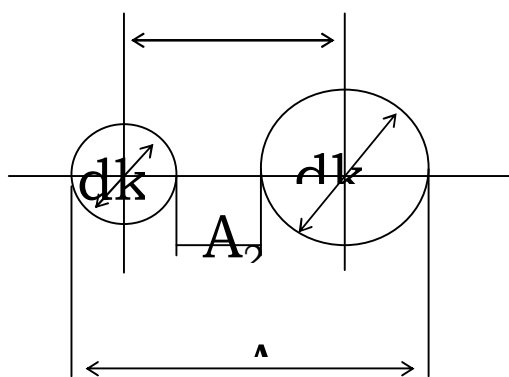


图 5—4 中心距的测量

用实测的中心距 a' 与标准中心距 a 比较:

$a' = a$ 为零传动 (标准传动或等变位齿轮传动)

$a' > a$ 为正传动 (也称正角度变位齿轮传动)

$a' < a$ 为负传动 (也称负角度变位齿轮传动)

(2) 确定变位系数 x_1, x_2

(i) 计算啮合角 α' , $\alpha' = \arccos\left(\frac{a}{a'} \cos \alpha\right)$

(ii) 由无侧隙啮合方程式:
$$\operatorname{inv} \alpha' = \frac{2tga(x_1 + x_2)}{Z_1 + Z_2} + \operatorname{inv} \alpha$$

得:
$$x_1 + x_2 = \frac{(\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha)(Z_1 + Z_2)}{2tga}$$

(iii) 计算实测变位系数 x_1' x_2'

由基圆齿厚计算公式: $S_b = S \cos \alpha + 2r_b \operatorname{inv} \alpha$

可导出实测基圆齿厚的计算式为:

$$\begin{aligned} S_b' &= \left(\frac{p}{2} + 2xtga\right)m \cdot \cos \alpha + mZ \cos \alpha \cdot \operatorname{inv} \alpha \\ &= m \cos \alpha \left(\frac{p}{2} + 2xtga + Z \operatorname{inv} \alpha\right) \end{aligned}$$

移项整理得

$$x' = \left(\frac{S_b'}{m \cos \alpha} - \frac{p}{2} - Z \operatorname{inv} \alpha\right) / 2tga$$

式中 $S_b' = W_{n+1}' - nP_b = W_n' - (n-1)P_b$

分别代入各个齿轮的有关参数即可算得 x_1' , x_2'

(iv) 确定 x_1 , x_2

由于实测变位系数 x_1' , x_2' 中含有由加工误差所引起的齿厚减薄量的影响, 所以实测 x' 值比设计变位系数 x 的值为小。所以必须同时考虑将 x_1' , x_2' 加大一定量的值, 并使之满足 $x_1 + x_2$ 等于由无侧隙, 啮合方程所得的计算值, 就可别确定设计变位系数 x_1 和 x_2 。

5. 计算分度圆分离系数 y 和齿顶降低系数 Δy

$$\begin{aligned} y &= \frac{aA' - a}{m} \\ \Delta y &= x_1 + x_2 - y \end{aligned}$$

6. 确定 h_a^* 、 C^*

由于按实测, 计算所得的 d_a' , d_f' , h' 值中包含有 $(h_a^*$ 、 $C^*)$, Δy 和加工误差三部分的影响, 而加工允差为负值, 所以 d_a , d_f , h 的设计值大于实测值。

$$\therefore h = h' + (\text{加工误差}) = (2h_a^* + C^* - \Delta y) m$$

由实测 h' , m , Δy , 且 h_a^* , C^* 为标准值

正常齿 $h_a^* = 1$, $C^* = 0.25$

短齿 $h_a^* = 0.8$, $C^* = 0.3$

就可判定 h_a^*, C^* 的值

7. 计算核对齿轮的设计几何尺寸

根据确定的 $Z, m, \alpha, h_a^*, C^*, x, y, \Delta y$ 就可算出几何尺寸。

五、思考题

1. 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数有哪些？

2. 测量公法线长度时，游标卡尺卡脚放在渐开线齿廓工作段的不同位置上（但保持与齿廓相切），对测量结果有无影响，为什么？

3. 同一模数、齿数、压力角的标准齿轮的公法线长度是否相等？基圆齿距是否相等？为什么？

六、实验报告

直齿圆柱齿轮参数测定与分析实验报告

班级_____ 姓名_____ 日期_____

表（一）测量数据记录表

齿 轮 编 号			No				No				
项 目	符 号	单 位	测量数据			平均 测量值	测量数据			平均 测量值	备注
			1	2	3		1	2	3		
齿数	Z										
跨齿数	n										
公法线长度	W'_n										
公法线长度	W'_{n+1}										
孔壁到齿顶距	H_1										
孔壁到齿根距	H_2										
孔内径	d_k										
顶圆直径	d'_a										
根圆直径	d'_f										
全齿高	h'										
实测中心距	a'										
计算中心距	a										

表（二）基本几何参数计算

项 目	符 号	单 位	计 算 公 式	计 算 结 果	
				No	No
模数	m				
压力角	α				
基圆齿距	P_b				
基圆齿厚	S_b				
变位系数	x				
分度圆直径	d				
齿顶圆直径	d_a				
齿根直径	d_f				
全齿高	h				
标准中心距	a				
啮合角	α'				
分离系数	y				
齿高变动系数	Δy				
传动类型					

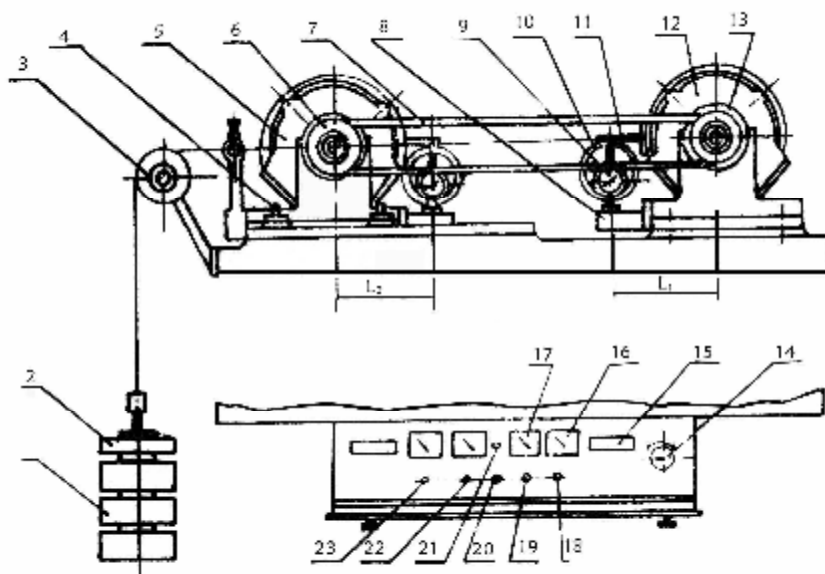
实验六 带传动实验

一、实验目的

1. 观察带传动中主动轮和从动轮上的弹性滑动和打滑现象。
2. 了解预紧力及从动轮负载的改变对带传动的影 响，测绘出弹性滑动曲线和效率曲线。
3. 了解试验机的工作原理与测试方法。

二、实验设备

DJ-2M 带传动试验机，其示意图如图 7-1。



7-1 DJ-2M 带传动试验示意图

图中：1. 100N 砝码、2. 50N 砝码、3. 滑轮、4. 发电机紧固螺栓、5. 发电机、6. 发电机带轮、7. 试验带、8. 测力环支座、9. 百分表、10. 测力环、11. 杠杆、12. 电动机、13. 电支机带轮、14. 加载旋钮、15. 数码管、16. 电压表、17. 电流表、18. 启动开关、19. 给定旋钮、20. 复零按钮、21. 电源指示灯、22. 数显开关、23. 停止开关。

主动带轮 13 装在摇摆式电动机 12 的转子轴上，从动带轮 6 装在发电机 5 的转子轴上，实验用的传动带(三角带或平型带)7 套装在主动带轮与从动带轮上。利用砝码 1 与 2 对带产生拉力，砝码的重力经过导向滑轮 3，拖动发电机支座沿滚动导轨水平移动，以实现传动带的张紧。

整流，启动、调速、加载以及控制系统等电气部分，都装在机身内，由试验机操纵面板上的相应旋钮进行操纵。

三、带传动试验基本工作原理

1. 无级调速与加载

无级调速与稳速是由可控硅半控桥式整流，触发电路及速度、电流两个调整环

节组成。转动面板上的“给定”旋钮 19，即可实现无级调速，电动机的转速值大约是“给定”电压值的十倍，其数值由数码管显示。待转速稳定后，按一次复零按钮 20 数码管复零，然后按一次数显按钮，数码管就显示转速。在电动机轴的后端，装有检测元件与测速发电机，它不断检测转速，反馈到输入端，与给定值比较，并有自动调节，以保证恒转速。

加载与控制负载大小，是通过改变发电机激磁电压实现的。本试验机设有变阻器和调压器，用来调节发电机的激磁电压。电动机的主动轮，通过传动带使从动轮转动，接通发电机电枢电阻，旋转加载旋钮 14，就改变电阻器的电阻值，逐步加大发电机激磁电压，使电枢电流增大，随之电磁扭矩增大。由于电动机与发电机产生相反的电磁转矩，发电机的电磁转矩对电动机而言，即为负载转矩。所以改变发电机的激磁电压，也就实现了负载的改变。使用时，通过观察面板上的发电机电压表 16 与电流表 17 的读数，即知负载的大小。

2. 转矩的测量

由于电动机转子与定子之间，发电机转子与定子之间都存在着磁场相互作用，固定于定子上的杠杆 11，受到转子力矩反作用，迫使杠杆压向测力环。测力环的支反力对定子的反力矩作用，使定子处于平衡状态。

测力环的支反力：

$$R_1 = K_1 \cdot \Delta_1 N$$

$$R_2 = K_2 \cdot \Delta_2 N$$

式中： K_1 、 K_2 ——测力环的标定值(N/格)

Δ_1 、 Δ_2 ——百分表的读数(格)

根据力学原理可得：

主动轮上的转矩

$$T_1 = R_1 \cdot L_1 = K_1 \cdot \Delta_1 \cdot L_1 (N \cdot m)$$

从动轮上的转矩

$$T_2 = R_2 \cdot L_2 = K_2 \cdot \Delta_2 \cdot L_2 (N \cdot m)$$

式中： L_1 、 L_2 ——杠杆力臂长(m)

3. 滑动系数的测量

主动轮转速 n_1 和从动轮转速 n_2 的测量，是分别通过装在电机轴后端的光电传感器获得电脉冲信号，由面板上的数码显示窗口 15 直接读出。实验测出了转数 n_1 和 n_2 后，可代入滑动系数的计算公式。

滑动系数为：

$$e = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%$$

4. 绘制滑动曲线和效率曲线

根据测得的扭矩 T_2 (或有效园周力 $F_{t2} = \frac{2T_2}{D_2}$) 和滑动系数 ε , 可绘出滑动曲线 (如图 2-2 所示)。再根据扭矩 T_2 (或有效园周力 F_{t2}) 和带传动效率, 可绘出效率曲线 (见图 2-2 所示)。

带传动效率:

$$\eta = P_2 / P_1 \times 100\% = T_2 n_2 / T_1 n_1 \times 100\%$$

式中: P_1 —— 是电动机输出功率

P_2 —— 是发电机输出功率

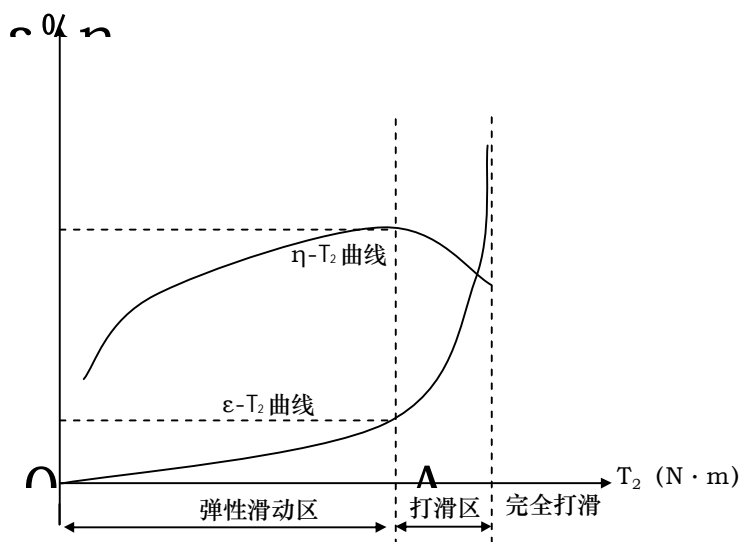


图 7-2 带传动的滑动曲线和效率曲线

通过试验结果从图上可以看出, 在临界点 A 以内, 传递载荷越大, 滑差 ($n_1 - n_2$) 越大, 滑动系数 ε 越大, 在弹性滑动区滑动曲线几乎是直线。带传动的效率 η 与负载的关系, 由图 7-2 所示, 在临界点 A 处, η 最高。

四、实验内容及步骤

1. 观察弹性滑动和打滑现象。

首先将试验机检查一下。开车后, 调节给定电压, 当转数达到某一值时, 在空载下, 由于有弹性滑动存在、主动轮转速 n_1 略大于 n_2 、逐渐加载, 可见滑差 ($n_1 - n_2$) 值越来越大, 用闪光测速仪可明显的观察到弹性滑动现象的存在。当载荷加大到某一值后, 可以听到带从轮上滑过的摩擦声, 松边明显下垂, 这就产生了打滑。

打滑后，如果增加预紧力（加砝码重量）可以减轻和消除打滑。

2. 测量数值并绘制滑动曲线及效率曲线

①做好试验准备：检查试验机，使其处于正常状态。根据预紧力的大小选挂砝码；将各种显示表对准零位；试验机应处于游动状态，如进行固定中心距试验时，应锁紧发电机支座。

②按下“启动”按钮 18：顺时针缓慢旋动“给定”旋钮 19，将转速调到给定值；记下发电机与电动机转数 n_1 和 n_2 ，记下百分表的读数 Δ_1 和 Δ_2 。

③逐级加载：每次加载，都要记下电机相应的转速和百分表相应的读数，直到做到带在轮上打滑为止。

④整理数据，绘制滑动曲线及效率曲线。

⑤实验条件。

各实验组可在不同的实验条件下进行实验，实验条件建议为：

- a. 不同预紧力（加不同重量的砝码） $2F_0$ 为 200N、250N、300N。
- b. 不同的带速、即主动带轮转速 n_1 为 800r/min、1000r/min。
- c. 做游动中心距或固定中心距的实验。

备组的具体实验条件由指导教师给定。

五、实验报告

带传动实验报告

实验名称 _____ 班级 _____ 姓名 _____ 日期 _____

1. 已知条件

①带种类：V带型号 _____

②预紧力： $2F_{0(1)} =$ _____ N
 $2F_{0(2)} =$ _____ N

③转速： $n_{1(1)} =$ _____ r/min
 $n_{1(2)} =$ _____ r/min

④张紧方式：（自动张紧或固定张紧）

⑤带轮直径： $D_1 = D_2 = 110mm$

⑥杠杆臂长度： $L_1 = L_2 = 220mm = 0.22m$

⑦测力环标定值 $K_1 =$ _____ $N/格$
 $K_2 =$ _____ $N/格$

⑧包角 $\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ$

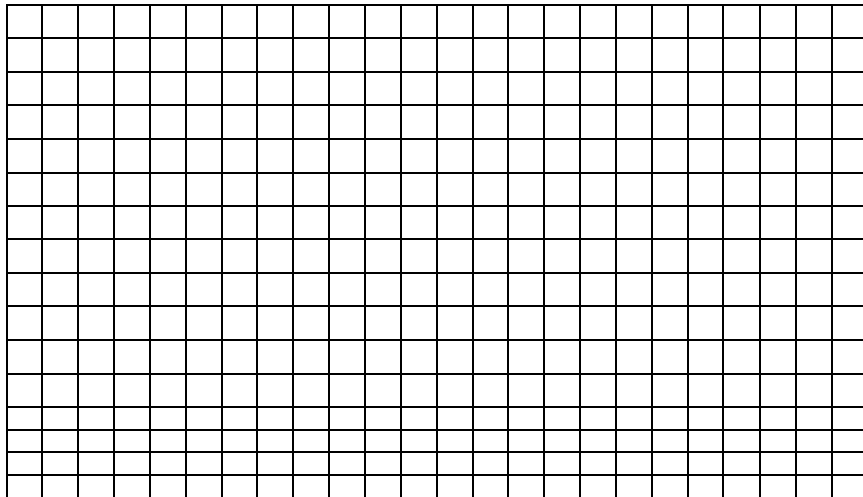
2. 测量数据记录表

表 1 $2F_0 =$ _____ N ; $n_1 =$ _____ r/min

参数 单位 号	n		ε			R		T		P		η
	n_1	n_2	ε	Δ_1	Δ_2	R_1	R_2	T_1	T_2	P_1	P_2	η
	r/min	r/min	%	格	格	N	N	Nm	Nm	Kw	Kw	%
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

表 2		$2F_0 =$		$N;$		$n_1 =$		r/min				
参数 单位 号	n_1	n_2	ε	\triangle_1	\triangle_2	R_1	R_2	T_1	T_2	P_1	P_2	η
	r/min	r/min	%	格	格	N	N	Nm	Nm	Kw	Kw	%
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

3. 绘制弹性滑动曲线及效率曲线



4. 结论

六、注意事项

1. “启动”前和“停车”，必须做到：

①卸载：将加载调压器反时针旋转到底（加载旋钮 14）

②降速：反时针旋动电阻 R_1 （“给定”旋钮 19）旋动时应缓慢进行，不要用力过猛。

2. 注意人身与设备安全

3. 按预先给定的参数进行实验，未经指导教师同意，不得随便改变实验条件。

4. 本试验机试验 B 型带时，只限于转速 1000r/min 以下。

实验七 减速器结构分析及拆装实验

一、实验目的

1. 了解减速器的整体结构及工作要求。
2. 了解减速器的箱体零件、轴、齿轮等主要零件的结构及加工工艺。
3. 了解减速器主要部件及整机的装配工艺。
4. 了解齿轮、轴承的润滑、冷却及密封。
5. 通过自己动手拆装，了解轴承及轴上零件的调整、固定方法，及消除和防止零件间发生干涉的方法。
6. 了解拆装工具与减速器结构设计间的关系，为课程设计做好前期准备。

二、实验设备及工具

1. I级、II级圆柱齿轮传动减速器。
2. I级蜗杆传动减速器。
3. 活动扳手，螺丝起、木锤、钢尺等工具。

三、实验方法

在实验室首先由实验指导老师对几种不同类型的减速器现场进行结构分析、介绍，并对其中一种减速器的主要零、部件的结构及加工工艺过程进行分析、讲解及介绍。再由学生们分组进行拆装，指导及辅导老师解答学生们提出的各种问题。在拆装过程中学生们进一步观察了解减速器的各零、部件的结构、相互间配合的性质、零件的精度要求、定位尺寸、装配关系及齿轮、轴承润滑、冷却的方式及润滑系统的结构和布置；输出、输入轴与箱体间的密封装置及轴承工作间隙调整方法及结构等。

四、四、减速器拆装步骤及各步骤中应考虑的问题

（一）观察外形及外部结构

1. 观察外部附件，分清哪个是起吊装置，哪个是定位销、起盖螺钉、油标、油塞，它们各起什么作用？布置在什么位置？
2. 箱体、箱盖上为什么要设计筋板？筋板的作用是什么，如何布置？
3. 仔细观察轴承座的结构形状，应了解轴承座两侧联接螺栓应如何布置，支承螺栓的凸台高度及空间尺寸应如何确定？
4. 铸造成型的箱体最小壁厚是多少？如何减轻其重量及表面加工面积？
5. 箱盖上为什么要设置铭牌？其目的是什么？铭牌中有什么内容？

（二）拆卸观察孔盖

1. 观察孔起什么作用？应布置在什么位置及设计多大才是适宜的？
2. 观察孔盖上为什么要设计通气孔？孔的位置应如何确定？

(三) 拆卸箱盖

1. 拆卸轴承端盖紧固螺钉(嵌入式端盖无紧固螺钉);
2. 拆卸箱体与箱盖联连螺栓, 起出定位销钉, 然后拧动起盖螺钉, 卸下箱盖;
3. 在用扳手拧紧或松开螺栓螺母时扳手至少要旋转多少度才能松紧螺母, 这与螺栓中心到外箱壁间距离有何关系? 设计时距离应如何确定?
4. 起盖螺钉的作用是什么? 与普通螺钉结构有什么不同?
5. 如果在箱体、箱盖上不设计定位销钉将会产生什么样的严重后果? 为什么?

(四) 观察减速器内部各零部件的结构和布置。

1. 箱体与箱盖接触面为什么没有密封垫? 是如何解决密封? 箱体的分箱面上的沟槽有何作用?
2. 看清被拆的减速器内的轴承是油剂还是脂剂润滑, 若采用油剂润滑, 应了解润滑油剂是如何导入轴承内进行润滑? 如果采用脂剂应了解如何防止箱内飞溅的油剂及齿轮啮合区挤压出的热油剂冲刷轴承润滑脂? 两种情况的导油槽及回油槽应如何设计?
3. 轴承在轴承座上的安放位置离箱体内壁有多大距离, 在采用不同的润滑方式时距离应如何确定?
4. 目测一下齿轮与箱体内壁的最短距离, 设计时距离的尺寸应如何确定?
5. 用手轻轻转动高速轴, 观察各级啮合时齿轮有无侧隙? 并了解侧隙的作用。
6. 观察箱内零件间有无干涉现象, 并观察结构中是如何防止和调整零件间相互干涉。
7. 观察调整轴承工作间隙(周向和轴向间隙)结构, 在减速器设计时采用不同轴承应如何考虑调整工作间隙装置? 应了解轴承内孔与轴的配合性质, 轴承外径与轴承座的配合性质。
8. 设计时应如何考虑对轴的热膨胀进行自行调节。
9. 测量各级啮合齿轮的中心距。

(五) 从箱体中取出各传动轴部件

1. 观察轴上大、小齿轮结构, 了解大齿轮上为什么要设计工艺孔? 其目的是什么?
2. 轴上零件是如何实现周向和轴向定位、固定?
3. 各级传动轴为什么要设计成阶梯轴, 不设计成光轴? 设计阶梯轴时应考虑什么问题?
4. 采用直齿圆柱齿轮或斜齿圆柱齿时, 各有什么特点? 其轴承在选择时应考虑什么问题?
5. 计数各齿轮齿数, 计算各级齿轮的传动比。高、低各级传动比是如何分配

的？

6. 测量大齿轮齿顶圆直径 d_a ，估算各级齿轮模数 m 。测量最大齿轮处箱体分箱面到内壁底部的最大距离 H ，并计算大齿轮的齿顶(下部)与内壁底部距离 $L=H-1/2d_a$ ， L 值的大小会影响什么？设计时应根据什么来确定 L 值？

7. 观察输入、输出轴的伸出端与端盖采用什么形式密封结构；

8 观察箱体内油标(油尺)、油塞的结构及布置。设计时应注意什么？油塞的密封是如何处理？

(六) 装配

1. 检查箱体内有无零件及其他杂物留在箱体内后，擦净箱体内部。将各传动轴部件装入箱体内；

2. 将嵌入式端盖装入轴承压槽内，并用调整垫圈调整好轴承的工作间隙。

3. 将箱内各零件，用棉纱擦净，并涂上机油防锈。再用手转动高速轴，观察有无零件干涉。无误后，经指导老师检查后合上箱盖。

4. 松开起盖螺钉，装上定位销，并打紧。装上螺栓、螺母用手逐一拧紧后，再用扳手分多次均匀拧紧。

5. 装好轴承小盖，观察所有附件是否都装好。用棉纱擦净减速器外部，放回原处，摆放整齐。

6. 清点好工具，擦净后交还指导老师验收。

五、实验要求

实验前必须预习实验指导书及课程设计指导书，初步了解减速器的基本结构。多提出实际问题，以便在实验中加以解决。

六、实验报告

减速器拆装实验报告

减速器名称 _____ 班级 _____ 日期 _____

同组实验者姓名 _____

名 称		符号	减速器型式及尺寸	
			齿轮减速器	蜗轮减速器
大齿轮顶圆(蜗轮外圆)与箱体内壁距离		Δ		
齿轮端面(蜗轮端面)与箱体内壁距离		Δ_1		
轴承安装位置离箱体内壁有多大距离		l_2		
齿轮传动的齿侧间隙		j_{t0}		
中心距	第 1 级	a_1		
	第 2 级	a_2		
齿轮齿数	1	Z_1		
	2	Z_2		
	3	Z_3		
	4	Z_4		
齿轮传动比	第 1 级	i_1		
	第 2 级	i_2		
大齿轮外径	第 1 级	D_{a2}		
	第 2 级	D_{a4}		
齿轮法面模数	第 1 级	m_n		
	第 2 级	m_n		
中心高		H		