

机械设计基础教案

李云翔

机械设计基础授课教案

课题 1：机械工程力学基础——工程构件的受力分析（8 课时）

课 题	构件的受力分析和绘制受力图	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.理解刚体、力、平衡、约束与约束反力等与静力学有关的概念；</p> <p>2.掌握静力学基本公理及其应用；</p> <p>3.掌握工程中常见的约束与约束反力的画法；</p> <p>4.理解平面力系的合成与平衡条件。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能正确应用静力学基本公理；</p> <p>2.能分析构件受到的约束反力的方向，并能正确绘制机构中构件的受力图；</p> <p>3.能根据平面力系的计算方法计算构件的受力。</p> <p>素质目标：通过力学发展史的讲解，增强学生民族自豪感，通过知识的学习培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神和协作精神</p>	
教学重难点	<p>教学重点：静力学公理及其推论；柔性约束、光滑表面约束、铰链约束的特点及约束反力的画法</p> <p>教学难点：构件的受力分析和受力图的绘制</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法、项目驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题：</p> <p>图片中的桥梁，受到哪里力？</p> <p>桥梁下吊钩在起吊重物的过程中，桥梁受到力的作用，会产生变形，由此引入课程内容</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立

	<p>知识点 1 静力学概念及基本公理</p> <p>(一) 静力学基本概念</p> <p>1. 静力学</p> <p>研究质点系在力的作用下的平衡规律，即物体处于静止或作匀速直线运动的规律。</p> <p>2. 刚体、物系</p> <p>刚体是指在力的作用下不产生变形的物体。理想刚体不存在，通常把受力作用产生极小变形的物体看成刚体。由若干个刚体组成的系统称为物系。</p> <p>3. 力、力系</p> <p>力是物体间相互的机械作用。其作用会产生两种效应：①物体的运动状态发生改变，即外效应。②物体产生变形，即内效应。</p> <p>力有三要素：力的大小、方向和作用点。力的单位为牛顿（N）或千牛（kN），通常用黑体字母 \mathbf{F} 代表力矢，字母 F 代表力的大小。</p> <p>力系是指作用于物体上的一群力。物体在力系的作用下处于平衡状态的力系称为平衡力系。</p> <p>(二) 静力学公理</p> <p>1. 公理 1 二力平衡公理</p> <p>刚体受两个力的作用处于平衡，其充分必要条件是：二力等值、反向、共线，如图 1-2 所示。</p> <div data-bbox="384 1077 719 1285" data-label="Image"> </div> <p>图 1-2 两力平衡</p> <p>工程上在两力作用下保持平衡的构件称为二力杆。二力杆可以是直杆，也可以是曲杆。二力杆两力的方向必在两力作用点的连线上。如图 1-3</p> <p>(a)、(b) 中的 BC 杆。</p> <div data-bbox="384 1491 715 1832" data-label="Image"> </div> <p>(a) (b)</p> <p>图 1-3 二力杆</p> <p>2. 公理 2 加减平衡力系公理</p> <p>在任意一个力系上，可随意加上或减去一平衡力系，不会改变原力系对</p>	<p>分析思考的能力。</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

刚体的作用效应。

力的可传性原理（如图 1-4）：作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任一点，而不改变原力对刚体的作用效应。

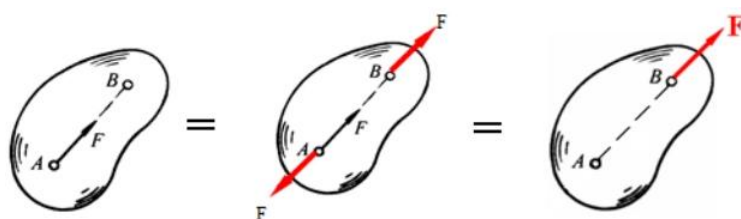


图 1-4 力的可传性原理

3.公理 3 力的平行四边形法则

作用在刚体上同一点的两个力可合成为一个合力，合力的作用点在该点，其大小、方向以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示，如图 1-5 (a) 所示。

力的三角形法则：三角形的两个边分别表示两个分力，第三边表示合力，合力的作用点仍在汇交点，如图 1-5 (b) 所示。

推论：三力平衡汇交定理

物体受三个力作用而平衡时，此三个力的作用线的延长线必汇交于一点（O 点），三个力矢量按首尾连接的顺序构成一封闭三角形，如图 1-6 所示。

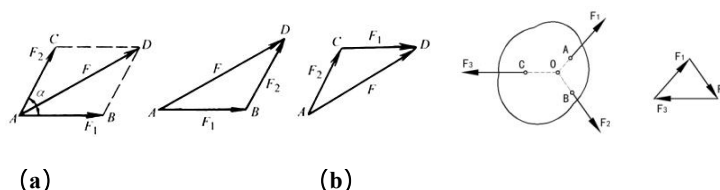


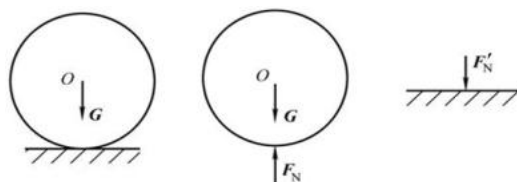
图 1-5 力的平行四边形法则

图 1-6 三力平衡汇交定理

4.公理 4 作用力与反作用力公理

两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在，同时消失，且大小相等，方向相反，作用线相同，并分别作用在这两个物体上。作用力与反作用

力分别用 F_N 与 F'_N 表示，如图 1-7 所示。



知识点 2 约束与约束反力

（一）约束与约束反力概念

物体的空间位置受到周围物体的限制，这种限制称为约束。约束限制物体运动的力称为约束反力。约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触处，约束反力的方向总是与被约束物体的运动或运动趋势的方向相反，约束反力的大小可根据平衡条件由已知力求出。

(二) 工程中常见的约束与约束反力

工程中常见的约束与约束反力的类型与特点如表 1-1 所示。

表 1-1 工程中常见的约束与约束反力的类型与特点

序号	约束类型	约束特点	约束反力的特点	表示方法
1	柔性约束	只承受拉力, 不承受压力, 只能限制物体沿柔索伸长方向的运动。	总是沿柔索伸长方向背离被约束的物体, 常用符号 F_T 表示。	
2	光滑面约束	只限制物体在接触点沿接触面的公法线方向的运动, 而不限制物体沿接触面切线方向的运动。	通过接触点沿接触面公法线方向并指向被约束物体。通常用 F_N 表示。	
3	固定铰链约束	限制被约束物体间的相对移动, 但不限制物体绕销轴的相对转动。	通常用两个通过铰心大小且未知的正交力 F_x 、 F_y 来表示。	
	中间铰链约束	与固定铰链约束特点相同。	与固定铰链的约束反力相同。	
	活动铰链约束	只限制构件沿支承面法向的运动, 不能限制切线方向的运动。	通过铰链中心并与支承面相垂直, 通常用 F_N 来表示。	
4	固定端约束	限制物体在约束处沿任何方向的移动和转动。	一般可用两个大小未知的正交约束分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和一个约束反力偶 M_A 来表示。	

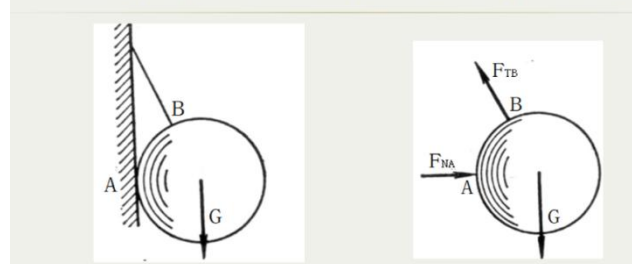
知识点 3 构件的受力和受力图

受力的大小、作用点和方向。被分离出来的物体称为分离体。在分离体上画出它所受的全部主动力和约束反力, 这种简图称为受力图。绘制受力图按以下步骤进行:

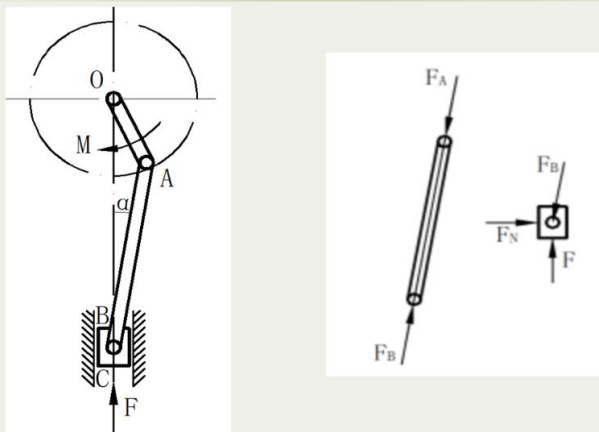
- 1) 确定被研究对象并分离。
- 2) 画出分离体的主动力。
- 3) 在分离体上解除约束的地方画出相应的约束反力

知识点 4 实例讲解及练习

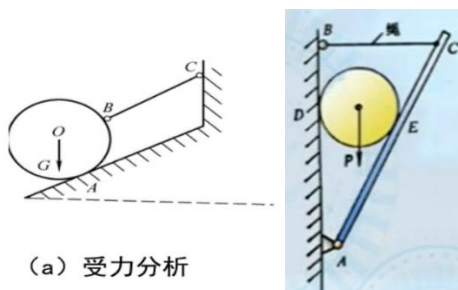
例1 如图所示, 钢球重 G , 用绳系住靠在光滑平面上。试画出钢球的受力图。



例2 曲柄冲压机曲柄滑块机构如图所示。假设连杆AB、冲头C的重量略去不计，且冲头C受工件阻力 F 。试画出连杆AB和冲头C的受力图。

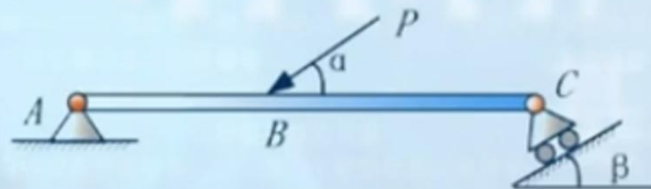


练习题:



(a) 受力分析

如图所示，画出梁AC的受力图。



强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 1、约束与约束反力 2、构件的受力和受力图 ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成上图练习题 ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习, 自我提升
教学反思	本节课讲课与例题穿插进行, 例题较多, 帮助大家更好的理解了不同约束下的受力分析及如何做受力图。部分同学仍存在理解困难, 督促学生多加联系。		

机械设计基础授课教案

课题 1：机械工程力学基础——工程构件的受力分析（8 课时）

课 题	平面汇交力系	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.理解刚体、力、平衡、约束与约束反力等与静力学有关的概念；</p> <p>2.掌握静力学基本公理及其应用；</p> <p>3.掌握工程中常见的约束与约束反力的画法；</p> <p>4.理解平面力系的合成与平衡条件。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能正确应用静力学基本公理；</p> <p>2.能分析构件受到的约束反力的方向，并能正确绘制机构中构件的受力图；</p> <p>3.能根据平面力系的计算方法计算构件的受力。</p> <p>素质目标：培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神和协作精神</p>	
教学重难点	<p>教学重点：静力学公理及其推论；柔性约束、光滑表面约束、铰链约束的特点及约束反力的画法</p> <p>教学难点：构件的受力分析和受力图的绘制</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法、项目驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题： 提问上节课约束反力的知识点，并通过上节课布置的作业引入平面汇交力系</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 平面汇交力系</p> <p>在平面力系中各力作用线均汇交于一点的力系，称为平面汇交力系。分析平面汇交力系的方法有几何法和解析法两种。</p>	

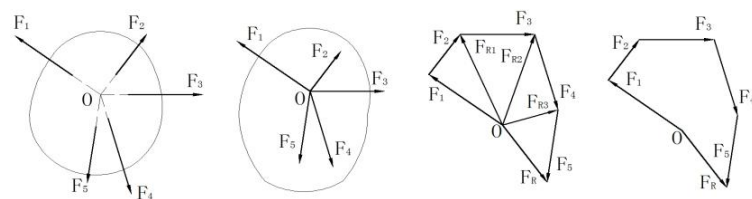
知识点2 平面汇交力系合成的几何法与平衡条件

1. 平面汇交力系合成的几何法

如图 1-10 (a) 所示, 刚体上作用 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 五个力, 五力汇交于 O 点, 按力的可传性原理, 将各力沿其作用线移至 O 点, 即得平面汇交力系, 如图 1-10 (b) 所示。其合力 F_R 按力的三角形法则求得, 如图 1-10 (c) 所示, 即先作 F_1 与 F_2 的合力 F_{R1} , 再将 F_{R1} 与 F_3 合成为 F_{R2} 。依此类推, 最后求出 F_R 。用矢量式表示为:

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

由图 1-10 (c) 可见, 合力 F_R 可用力的多边形法则求得, 即: 将各力按顺序首尾相接, 形成一个不规则且开口的多边形, 最后将多边形第一个力矢的始端与最后一个力矢的末端相连, 所得的力矢代表合力 F_R 的大小与方向, 如图 1-10 (d) 所示。用力的多边形法则求合力, 合力的作用点仍为各力的交点, 大小和方向不受各力连接次序的影响。



由此得出: 平面汇交力系的合力 F_R 等于各力的矢量和, 用矢量表达式为:

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \Sigma F$$

2. 平面汇交力系平衡的几何条件

平面汇交力系平衡的充分必要条件是: 该力系的合力等于零, 即

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \Sigma F = 0 \quad (1-2)$$

从力的多边形来看, 当合力 $F_R = 0$ 时, 多边形自行封闭, 即第一个力的始点与最后一个力的终点重合。因此平面汇交力系平衡的几何条件是: 平面力系中各力组成的力的多边形自行封闭。

知识点3 平面汇交力系合成的解析法与平衡条件

解析法即投影法, 是利用平面汇交力系在直角坐标轴上的投影来求合力的方法。

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解, 层层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

1. 两力合成的解析法

如图 1-11 所示, 设刚体的 A 点作用有一力 F , 在 F 的平面内取直角坐标系 xOy , 过力的两端分别作 x、y 轴的垂线, 垂足为 a、b、 a_1 、 b_1 。线段 ab、 a_1b_1 分别为 F 在 x、y 轴上投影的大小, 分别以 F_x 、 F_y 表示。 F_x 、 F_y 正负号规定: 与坐标轴方向一致为正, 反之为负。图 1-11 (a) 中 F_x 、 F_y 均为正, 图 1-11 (b) 中 F_x 、 F_y 均为负。

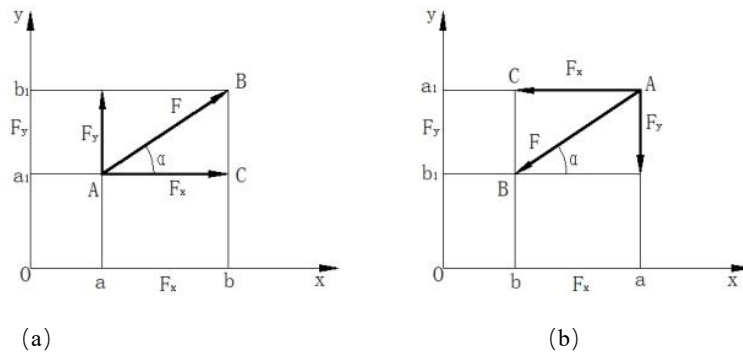


图 1-11 力在坐标轴上的投影

若已知力 F , 则根据图 1-11 有:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

反之, 若已知 F 在 x、y 轴上的分力 F_x 、 F_y , 则 F 的大小与方向为:

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= |F_y / F_x| \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

2. 平面汇交力系合成的解析法

若刚体上作用的是平面汇交力系 F_1 、 F_2 、...、 F_n , 根据式 (1-1) 有:

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \Sigma F$$

将合力与各分力分别向直角坐标系的 x、y 轴作投影, 得到:

$$\left. \begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 为合力投影定理：力系的合力在坐标轴上的投影，等于力系中各力在同一坐标轴上投影的代数和。

合力的大小与方向为：

$$\left. \begin{aligned} F_R &= \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} \\ \tan \alpha &= |\sum F_y / \sum F_x| \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

3. 平面汇交力系平衡的解析条件

平面汇交力系平衡时，得到平面汇交力系的平衡方程为：

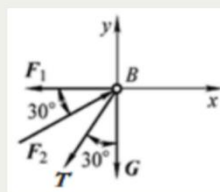
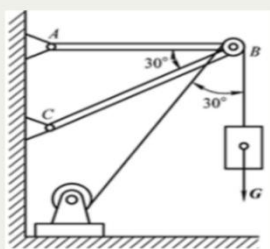
$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

由此得到，平面汇交力系平衡的解析条件为：力系中各力在直角坐标轴 x、y 上投影的代数和分别等于零。

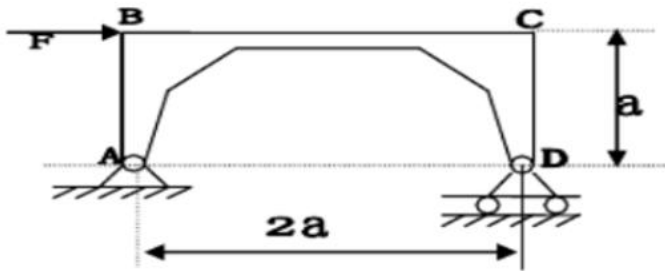
用解析法求解平衡问题时，未知力的方向可先假设，若计算结果为正值，则表示假设的与实际方向相同；反之，则相反。

知识点 3 实例讲解及练习

例题：如图所示为一简易起重机，重物用绞车和绕过滑轮的绳索吊起，其重力 $G=20\text{kN}$ ，滑轮及各杆件的重量不计，各接触处的摩擦与滑轮的大小均略去不计。试求杆 AB 和 BC 所受的力。



练习：

	 <p>(a)</p> <p>在图示钢架的点B作用一水平力F，钢架重量不计。求支座A和D约束力F_A和F_D。</p>	
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 3、平面汇交力系合成的几何法与平衡条件 4、平面汇交力系合成的解析法与平衡条件 ■ 【学生】总结回顾知识点 	
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成上图练习题 ■ 【学生】完成课后任务 	
教学反思	这节课感觉同学们的数学基础比较差，除了上课时计算过程必须要详细讲清楚，我需探求更简明易懂的描述方法，让他们更容易接受。	

机械设计基础授课教案

课题1：机械工程力学基础——工程构件的受力分析（8课时）

课 题	力矩与力偶	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是1节课，1次课（2节课）为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标： 掌握力矩与平面力偶系定义、合成与平衡条件； 能力目标： 能利用平衡条件求解平面汇交力系、平面力偶系、平面任意力系的平衡问题 素质目标：培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神和协作精神	
教学重难点	教学重点：力矩、力偶、力偶矩的定义，合力矩定理 教学难点：平面力偶系的合成与平衡条件	

教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务,让同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题:</p> <p>力除了能使物体产生移动外,还能使物体产生动作吗?</p> <p>力除了能使物体产生移动外,有时还会有转动。引入力矩概念。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 力矩与合力矩定理</p> <p>力除了能使物体产生移动外,有时还会有转动。如图所示,用扳手拧紧螺母时,螺母产生转动。</p>  <p>1.定义</p> <p>以物理量与转向来度量力使物体绕 O 点转动的效应,这个量称为力 F 对 O 点之矩,简称力矩。即:</p> $M_O(F) = \pm FL \quad (1-7)$ <p>其中, O 点称为力矩中心,简称矩心。O 点到力作用线的垂直距离 L 称为力臂。力矩正负号的规定:力使物体有绕 O 点作逆时针转动时为正,反之为负。力矩的单位为牛顿·米 (N·m)。</p> <p>结论:</p> <p>(1) 当力的作用线通过矩心时,力臂为零,力矩等于零,此时力不能使物体产生转动。</p> <p>(2) 力沿其作用线方向移动时,并不改变力矩的大小与转向。</p> <p>2.合力矩定理</p> <p>平面汇交力系的合力对平面内任意一点的力矩,等于力系中各力对同一点的力矩的代数和,即:</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解,层层递进,将工匠精神潜移默化,培养独立分析思考的能力。</p>

$$M_O(R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum M_O(F_i) \quad (1-8)$$

知识点 2 力偶与力偶矩

1. 力偶

在实际生活中，常见到钳工用铰杠丝锥手动攻螺纹（如图 1-15a）、司机用双手转动方向盘（如图 1-15b）等。这时在方向盘、铰杠上都作用着一对等值、反向、作用线不在同一条直线上的平行力，它们只能使物体产生转动。这种等值、反向、作用线不在同一条直线上的平行力所组成的

力系称为力偶，用 (F, F') 表示。力偶 (F, F') 的两个平行力的作用线所在的平面称为力偶作用面。

力偶正负符号的规定：一般规定，使物体作逆时针转动的力偶取正值，反之取负值。

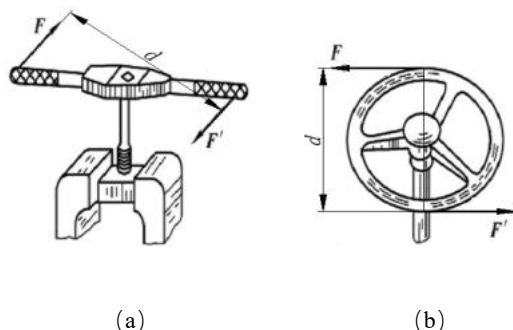


图 1-15 力偶

2. 力偶矩

(1) 力偶矩定义：在力学上以力 F 与力偶臂 d 的乘积作为度量力偶在其作用面内对物体转动效应的物理量。单位为或，用表示，简称。

即：

为力和作用线之间的垂直距离。

力偶矩正负符号的规定与力矩相同。

3. 力偶的性质

(1) 力偶对其作用面内任意点的力矩恒等于此力偶的力偶矩，与矩心的位置无关。

(2) 力偶无合力。

(3) 力偶在任何坐标上的投影和恒等于零。

4. 力偶的等效条件

力偶对物体的转动效应取决于三要素：力偶矩的大小、力偶的转向与力偶作用面的方位。

力偶的等效条件：三要素相同的力偶可以相互置换，而不改变对刚体的作用效果。如图 1-16 所示。

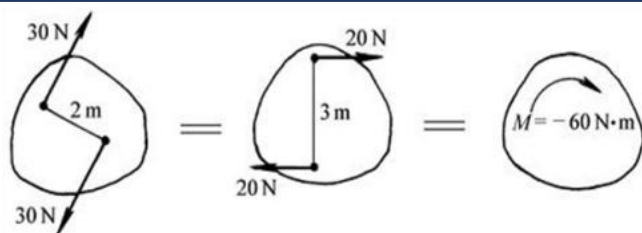


图 1-16 力偶的等效条件

5. 平面力偶系的合成与平衡

作用在刚体上同一平面内的若干个力偶，总称为平面力偶系。

(1) 平面力偶系的合成

平面力偶系合成后为一合力偶，其合力偶矩为各分力偶矩的代数和。即：

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum M_i$$

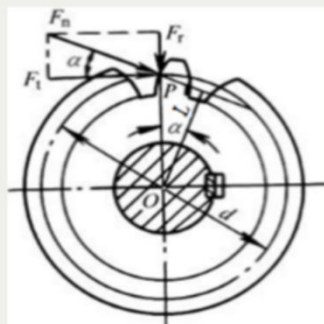
(2) 平面力偶系的平衡条件

平面力偶系平衡的充分必要条件是：力偶系中各力偶矩的代数和等于零，

即： $\sum M_i = 0$ 。

知识点 3 实例讲解及练习

例 如图 1-14 所示为一渐开线直齿圆柱齿轮，分度圆直径 $d=140\text{ mm}$ ，其齿廓在分度圆上的点 P 处受到一法向力 F_n 的作用，且已知 $F_n=950\text{ N}$ ，分度圆处压力角（P 点处） $\alpha=20^\circ$ ，试求力 F_n 对轮心 O 点的力矩。



练习：

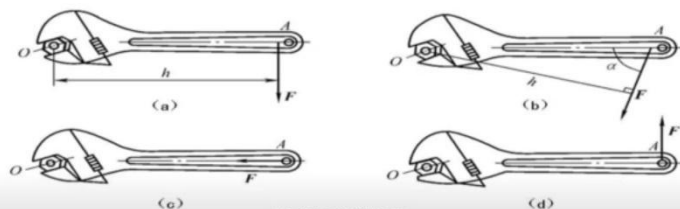
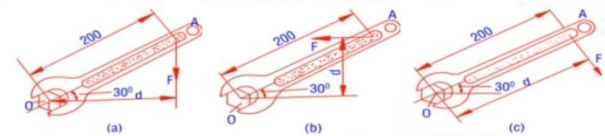


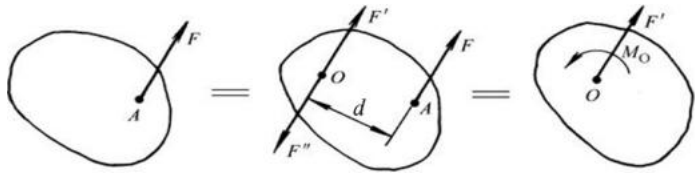
图 扳手旋转螺母

<p>案例</p> <p>如图所示，数值相同的三个力按不同方式分别施加在同一扳手的A端。若$F = 200\text{N}$，试求三种不同情况下力对点O之矩。</p>  <p style="text-align: center;">图 扳手旋转螺母</p>			<p>强化训练</p> <p>变式训练</p> <ul style="list-style-type: none"> 【教师】通过课堂例题进行变式训练 【学生】黑板板演 【教师】巡视纠错 <p>课堂达标</p> <ul style="list-style-type: none"> 【教师】布置练习题 【学生】练习 	
<p>课堂小结</p> <ul style="list-style-type: none"> 【教师】简要总结本节课的要点 5、力矩与合力矩 6、力偶与力偶矩 【学生】总结回顾知识点 				总结回顾，巩固夯实
<p>作业布置</p> <ul style="list-style-type: none"> 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 【学生】完成课后任务 				反思学习，自我提升
<p>教学反思</p> <p>以扳手为例，生动形象的演示力矩如何计算。对力偶的理解偏弱，要加强这部分的讲解力度。</p>				

机械设计基础授课教案

课题 1：机械工程力学基础——工程构件的受力分析（8 课时）

课 题	平面任意力系		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.力的平移定理、平面任意力系的简化；</p> <p>2.理解平面力系的合成与平衡条件。</p> <p>能力目标：</p> <p>1. 能利用平衡条件求解平面任意力系的平衡问题；</p> <p>2.能根据平面力系的计算方法计算构件的受力。</p> <p>素质目标：培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神和协作精神</p>		
教学重难点	<p>教学重点：平面任意力系的简化</p> <p>教学难点：平面任意力系的平衡方程、解题步骤。</p>		
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法		
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪		
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置		
教学过程	主要教学内容及步骤		设计意图

		(如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务,让同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题:</p> <p>复习上节课内容,在工程中,经常会遇到作用于物体上的各力的作用线都在同一平面上,但即不汇交于一点,也不平行,这时我们对这力如何处理更简单呢?引入本课内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 平面任意力系</p> <p>在工程中,经常会遇到作用于物体上的各力的作用线都在同一平面上,但即不汇交于一点,也不平行,此力系称为平面任意力系。</p> <p>1.力的平移定理</p> <p>作用在刚体上的力 F,可以平移到刚体上任意点 O,但必须附加一力偶,</p> <p>其力偶矩应等于原来力 F 对该作用点 O 的矩,即 $M_O(F) = Fd$。如图 1-18 所示。</p>  <p>图 1-18 力的平移定理</p> <p>知识点 2 平面任意力系的简化与平衡</p> <p>1. 平面任意力系的简化</p> <p>设在刚体上作用任意一个力系 (F_1、F_2、...、F_n),如图 1-19 (a) 所示。根据力的平移定理,将各力都向平面内任意一点 O (O 点称为简化中心) 平移,得到一个平面汇交力系 (F'_1、F'_2、...、F'_n) 和一个平面附加力偶系 (M_1、M_2、...、M_n),如图 1-19 (b) 所示。</p> <p>所得的平面汇交力系可以合成为一个作用于 O 点的合力矢 F',合力矢</p>	<p>通过教师引导提问</p> <p>——学生思考解答</p> <p>——教师讲解——</p> <p>学生再思考理解,层</p>

层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

F' 称为原力系的主矢。所得的附加平面力偶系可以合成为一个合力偶, 其力偶矩用 M_O 表示, 力偶矩 M_O 称为原力系对简化中心 O 点的主矩。

如图 1-19 (c) 所示。主矢 F' 的大小、方向及主矩 M_O 分别为:

$$\left. \begin{aligned} F' &= \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \tan \alpha &= |\sum F_y / \sum F_x| \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$M_O = \sum M = \sum M_O(F) \quad (1-10)$$

由上得出结论: 平面任意力系向平面内任意一点简化, 一般可以得到一个作用在简化中心的主矢和一个作用于原平面的主矩。主矢等于原力系各力的矢量和, 主矩等于原力系中各力对简化中心之矩的代数和。

注意: 主矢与简化中心的位置无关, 而主矩的大小及转向随简化中心位置的变化而变化。因此主矩必须注明简化中心, 在主矩符号右下角用下标标注简化中心 O, 即 M_O 。

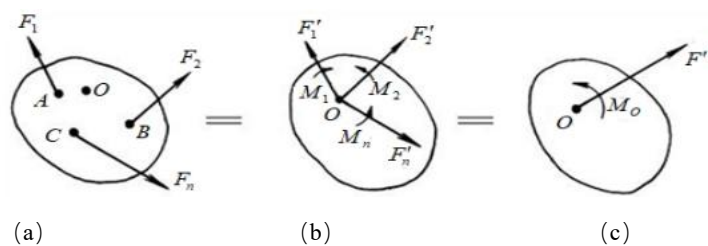


图 1-19 平面任意力系的简化

2. 平面任意力系的平衡

平面任意力系平衡的充分必要条件是: 主矢和主矩都等于零, 即:

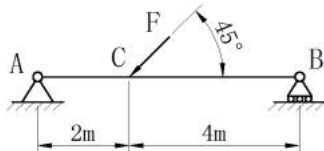
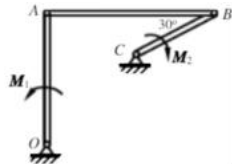
$$\left. \begin{aligned} F' &= \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} = 0 \\ M_O &= \sum M_O(F) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

因平面任意力系中力的投影形式不是唯一的, 平衡方程的表达形式有基本形式、二矩式、三矩式三种。如表 1-2 所示。

表 1-2 平面任意力系平衡方程的投影形式

基本形式	二矩式	三矩式
$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum M_O(F) &= 0 \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \text{ 或 } \sum F_y = 0 \\ \sum M_A(F) &= 0 \\ \sum M_B(F) &= 0 \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} \sum M_A(F) &= 0 \\ \sum M_B(F) &= 0 \\ \sum M_C(F) &= 0 \end{aligned} \right\}$

实际计算时, 应根据具体情况选择表达形式。最好一个方程仅

	<p>包含一个未知量，矩心尽量取在未知力较多的汇交点上，坐标轴应尽量与较多的未知力垂直。</p> <p>知识点 3 实例讲解及练习</p> <p>1. 如图所示，已知$F=6\text{kN}$，试求图中梁AB的支座反力。</p> <div></div> <p>2. 四连杆机构在图示位置平衡。已知$OA=60\text{cm}$，$BC=40\text{cm}$，作用BC上力偶矩的大小为$M_2=1\text{N}\cdot\text{m}$，试求作用在OA上力偶矩的大小$M_1$和AB所受的力$F_{AB}$。各杆重量不计。</p> <div></div>		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点7、平面任意力系的平移8、平面任意力系的简化及平衡■ 【学生】总结回顾知识点		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课后作业完成练习题与学习通章节测试■ 【学生】完成课后任务		反思学习, 自我提升
教学反思	力学部分确实比较难，部分同学很难掌握，通过综合训练题，帮助对整个小节的理解。		

机械设计基础授课教案

课题 2：机械工程力学基础——工程构件的承载能力分析（8 课时）

课 题	轴向拉伸与压缩	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时

教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.理解强度、刚度、内力、应力、许用应力等基本概念。 2.了解构件承受轴向拉伸与压缩变形的特点。 3.掌握轴向拉伸内力及强度计算。 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.能根据工程构件的受拉、压情况分析其承载能力。 2.能正确处理机械工程中构件的拉伸与压缩问题 <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点：杆件拉伸与压缩的受力和变形特点。</p> <p>教学难点：杆件拉伸与压缩内力、强度的计算。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题：</p> <p>大家请看这个桥式起重机，吊钩在起吊重物的过程中会不会产生变形？上一课题中静力分析 研究受力的大小和方向，不研究变形。而在实际的机构中，构件在承受一定的外力是会产生变形的。引入本课程内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。
传授新知	<p>知识点 1 杆件变形的基本形式</p> <p>机器或者机构中的构件在工作中，因承受一定的外力（包括载荷和约束反力）而产生变形。当外力超过某一度时，构件会失去承载能力而影响正常工作。为满足机器或者机构的正常工作，构件应具有足够的承载能力。</p> <p>构件的承载能力包括以下三个方面：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 强度：在承载作用下，构件抵抗破坏的能力。 (2) 刚度：在承载作用下，构件抵抗变形的能力。 (3) 稳定性：指受压的细长杆或薄壁构件能够维持原有直线平衡状态的能力。 	

实际构件的形状是多种多样的，简化后的构件可分为杆、板、壳和块，如图 1-24 所示。凡是长度尺寸远远大于其他两个方向尺寸的构件称为杆。杆件变形的的基本形式有四种，如表 1-4 所示。

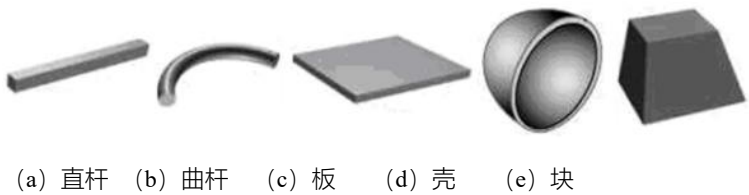


图 1-24 构件的形状

知识点 2 轴向拉伸与压缩

(一) 轴向拉伸与压缩的概念

工程中有许多杆件在外力的作用下产生拉伸或压缩变形。杆件两端的外力等值、反向，作用线与杆件的轴线重合，杆件沿轴线方向产生伸长或缩短变形。这种变形称为杆件的轴向拉伸或轴向压缩。例如联接螺栓（如图 1-25）、起重机桁架中的杆 1 与杆 2（如图 1-26）。这些受轴向拉伸或压缩的杆件大多是等截面直杆，其简化受力图如图 1-27 所示。

表 1-4 杆件变形的基本形式		
变形基本形式	工程案例	受力简图
轴向拉伸与压缩		
剪切与挤压		
圆轴扭转		
平面弯曲		

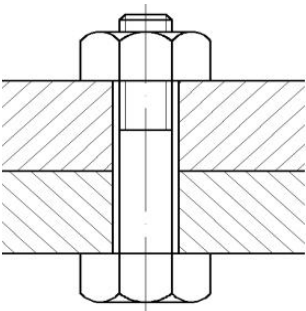


图 1-25 紧固螺栓

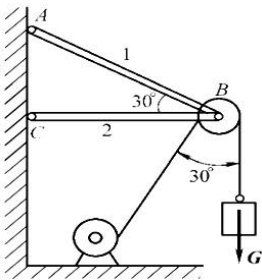


图 1-26 起重机

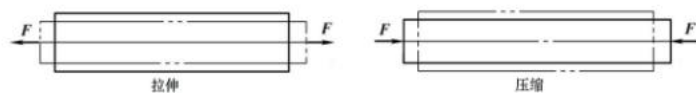


图 1-27 拉伸与压缩受力图

(二) 轴向拉伸与压缩杆件的内力与应力

1. 内力的概念

在外力的作用下，杆件内部产生的相互作用的力，称为内力，用 F_N 表示，单位牛顿 (N)。杆件内力的作用线与杆件的轴线重合，杆件沿轴线方向产生伸长或缩短变形。内力随外力的产生而产生，外力撤除后，内力也随之消失。外力越大，杆件变形越大，产生的内力也越大，当内力超过一定的限度时，杆件就会被破坏。因此，内力与杆件的强度、刚度关系密切。

2. 截面法

杆件内力的大小与方向，通常用截面法来确定。如图 1-28 所示，直杆在一对轴向拉力 F 的作用下保持平衡，为确定垂直杆件轴线的横截面 m—n 处的内力，假想沿横截面 m—n 处将直杆截成两段。任取其中的一段作为研究对象，建立平衡方程，即：

$$F_N = F$$

由于杆件内力垂直于横截面，且作用线与杆件的轴线重合，这种内力称为轴力。为区分杆件的拉、压性质，轴力的正负号规定如下：当轴力的方向离开横截面时，杆件产生拉伸变形，轴力取正号；反之，取负号。

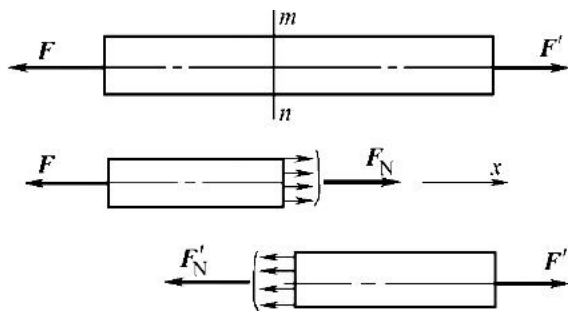


图 1-28 截面法求内力

3. 轴力与轴力图

轴力沿杆件轴线方向的变化用轴力图来表示。轴力图的表示：用横坐标 x 表示横截面的位置，纵坐标值表示各横截面上轴力的大小，按选定的比例尺寸和轴力的正负把轴力分别画在坐标轴上。

4. 杆件横截面上的应力与变形

(1) 应力

杆件的强度除了与其横截面上的内力有关外，还与横截面积有关，为此

工程上引入应力的概念。应力是指作用在杆件横截面上单位面积的内力，用 σ 表示，即：

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \quad (1-12)$$

式中： σ —作用在杆件横截面上的应力 (N/m^2) ；

F_N —横截面轴力 (N) ；

A —横截面的面积 (m^2) 。

国际单位制中应力的单位是牛顿/米² (N/m^2)，又称为帕斯卡，简称为帕 (Pa)，工程上常用兆帕 (MPa) 或吉帕 (GPa) 作为应力的单位，它们的换算关系为：

$$1GPa = 10^3 MPa = 10^9 Pa$$

σ 的正负符号的规定与内力相同，杆件受拉伸时为拉应力， σ 取正号；杆件受压缩时为压应力， σ 取负号。

(2) 胡克定律

杆件在受拉（压）时，其轴向长度会拉长（或缩短），而横向面积会缩小（或增大）。试验表明：大多数工程材料有一个弹性阶段，在此阶段

内轴向拉（压）杆件的伸长或缩短量 ΔL 与内力 F_N 和杆长 L 成正比，与杆件的横截面积 A 成反比，即：

$$\Delta L \propto \frac{F_N L}{A} \quad (1-13)$$

引入比例系数 E ，则：

$$\Delta L = \frac{F_N L}{EA} \quad (1-14)$$

式中： E —弹性模量 (Pa)。

式 (1-14) 的表达式称为胡克定律。式 (1-14) 可改写成：

$$\frac{F_N}{A} = \frac{E \Delta L}{L}$$

其中： $\frac{F_N}{A} = \sigma$ ， $\frac{\Delta L}{L}$ 表示杆件单位长度的伸长（或缩短）值，称为线

应变（简称应变），用 ε 表示。则上式变成： $\sigma = E\varepsilon$ 。此式是胡克定律的另外一种表达式，说明在弹性限度内，正应力与应变成正比。

(三) 拉伸与压缩的强度计算

由拉伸实验可知：当塑性材料的应力达到其屈服强度 σ_s 时，材料将会产生明显的塑性变形；对脆性材料，当应力达到其强度极限 σ_b 时，构件会发生突然断裂。工程上把构件产生明显的塑性变形或断裂统称为破坏。

材料破坏时的应力称为极限应力。规定塑性材料以 σ_s 为极限应力，脆性材料以 σ_b 为极限应力。

要保证构件具有足够的强度，应当使构件有必要的强度储备，为此，将极限应力除以一个大于1的安全系数 n ，作为材料的许用应力，许用应力用 $[\sigma]$ 表示。对于塑性材料的许用应力

$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s}$ ；对于脆性材料的

许用应力 $[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b}$ 。式中 n_s 和 n_b 分别为塑性材料与脆性材料的安全系数。选取安全系数时，应合理兼顾安全性和经济性。在一般机械设计中，静载荷下，取塑性材料 $n_s = 1.5 \sim 2.0$ ；脆性材料 $n_b = 2.0 \sim 5.0$ 。

为保证构件安全可靠地工作，必须使构件的最大工作应力小于材料的许用应力 $[\sigma]$ ，即：

用应力 $[\sigma]$ ，即：

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \leq [\sigma] \quad (1-15)$$

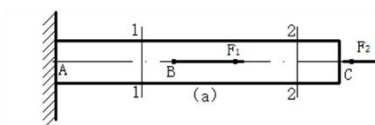
式(1-15)称为杆件受轴向拉伸或压缩时的强度条件。

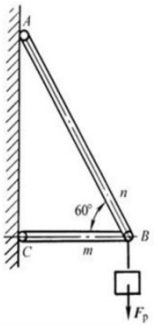
构件强度计算可按以下步骤进行：

- (1) 外力分析：分析构件的全部外力，求解外力的大小与方向。
- (2) 内力分析：用截面法求解构件横截面上的内力，并根据平衡条件确定内力的大小与方向。
- (3) 强度计算：根据强度条件，可进行强度校核、横截面的设计、许可载荷的确定。

知识点3 实例讲解及练习

例：如图 所示，杆件沿轴线方向受 $F_1 = 5kN$ 、 $F_2 = 2kN$ 两个力的作用，分别作用在 B、C 两点，试求杆件截面 1-1 与 2-2 的轴力并绘制轴力图。



	<p>2. 有一圆形杆，直径 $d=50\text{mm}$，材料为 Q235A，许用应力 $[\sigma]=160\text{MPa}$，杆两端受到 100kN 的轴向力，试校核该杆的强度。</p> <p>3 如图所示的三角架由 AB 与 BC 两杆铰接而成，两杆的截面均为圆形，材料的许用应力 $[\sigma]=58\text{MPa}$，作用在节点 B 处的载荷 $F_P=20\text{kN}$，试确定 AB 与 BC 杆的直径。</p> 		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>9、杆件变形的基本形式</p> <p>10、轴向拉伸与压缩杆件的内力与应力</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾，巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习，自我提升
教学反思	<p>请同学上台演示了拉伸与压缩，并用日常生活中健身弹簧的例子，帮助大家更好的理解了课程内容。</p>		

机械设计基础授课教案

课题 2：机械工程力学基础——工程构件的承载能力分析（8 课时）

课 题	剪切与挤压	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1. 了解构件承受剪切与挤压变形的特点。</p> <p>2 掌握剪切与挤压内力及强度计算。</p>	

	<p>能力目标：</p> <p>1.能根据工程构件的剪切与挤压情况分析其承载能力。</p> <p>2.能正确处理机械工程中构件的剪切与挤压问题</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点：剪切与挤压的受力和变形特点。</p> <p>教学难点：剪切与挤压内力、强度的计算。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、教师讲评法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】 布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】 完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】 使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】 班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】 提出以下问题：</p> <p>复习轴向拉伸与压缩内容；这个普通平键受到什么力？</p> <p>以齿轮箱轴上普通平键为例引入剪切与挤压</p> <p>■ 【学生】 思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 剪切变形</p> <p>如图 1-32 (a) 所示剪板机在剪切时，上、下刀刃以大小相等、方向相反、作用线相距很近的两力 F 作用在钢板上，钢板在两力间的截面 m-m 处发生相对错动。钢板的这种变形称为剪切变形。发生相对错动的截面 m-m 称为剪切面。剪切面上内力的作用线与外力平行，沿截面作用，沿截面作用的内力称为剪力，用符号 F_Q 表示，如图 1-33 (c) 所示的铆钉。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">图 1-32 钢板剪切变形</p>	

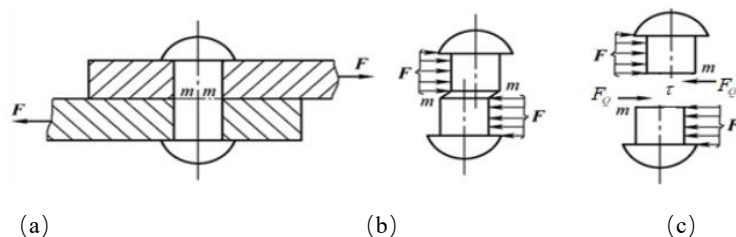


图 1-33 铆钉剪切变形

与剪力 F_Q 对应，剪切面上有切应力 τ （如图 1-33 (c)），切应力在剪切面上的分布规律较复杂。通常假定切应力 τ 在剪切面上是均匀分布的，则切应力的计算公式为：

$$\tau = \frac{F_Q}{A} \quad (1-17)$$

式中： τ —剪切面上的切应力，单位 Pa；

F_Q —剪切面上的剪力，单位 N；

A —剪切面面积（受剪面积），单位 m^2 。

知识点 2 挤压变形

在构件发生剪切变形的同时，往往伴随着挤压变形，如上述的铆钉及键联接（图 1-34），在力的接触面上，局部承受较大的压力，同时发生塑性变形，这种现象称为挤压。发生挤压的接触面称为挤压面。挤压面上的压力称为挤压力，用 F_j 表示。挤压面一般垂直于外力作用线。

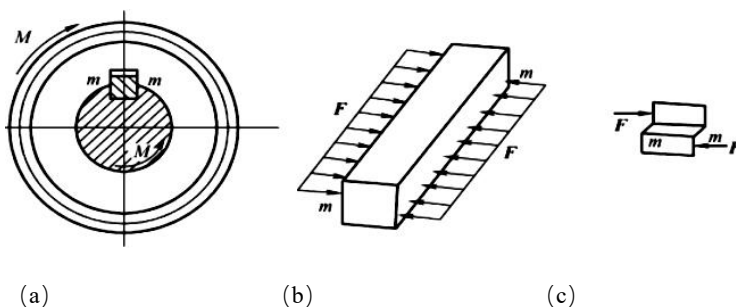


图 1-34 键

挤压面上由挤压力引起的应力称为挤压应力，用符号 σ_j 表示。

$$\sigma_j = \frac{F_j}{A_j} \quad (1-18)$$

式中： σ_j —挤压面上的挤压应力，单位 Pa；

通过教师引导提问
——学生思考解答
——教师讲解——
学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

F_j —挤压面上的挤压力，单位 N；

A_j —挤压面积（正投影面面积），单位 m^2 。挤压面面积规定：

当挤压面为平面时，挤压面面积为实际接触面的面积；当挤压面为半圆柱面时（如铆钉连接），挤压面面积按半圆柱面的正投影面面积计算。

知识点 3 剪切与挤压强度计算

为保证构件能可靠、安全工作，要求剪切面上的工作切应力不得超过材料的许用切应力，即剪切强度条件为：

$$\tau = \frac{F_Q}{A} \leq [\tau] \quad (1-19)$$

式中： $[\tau]$ —材料的许用切应力，单位 Pa。

挤压面上的挤压强度条件为：

$$\sigma_j = \frac{F_j}{A_j} \leq [\sigma_j] \quad (1-20)$$

式中： $[\sigma_j]$ —材料的许用挤压应力，单位 Pa。

剪切强度条件和挤压强度条件可以解决强度校核、设计截面、确定许可载荷三类问题。注意：在挤压强度计算中，当连接件和被连接件的材料不同时，应对挤压强度较低的杆件进行强度计算。

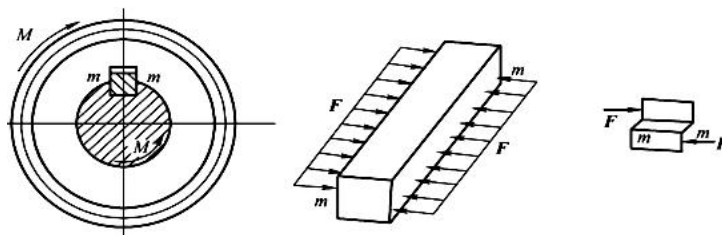
一般情况下，许用剪应力 $[\tau]$ 、许用挤压应力 $[\sigma_j]$ 与许用拉应力 $[\sigma]$ 有以下近似关系：

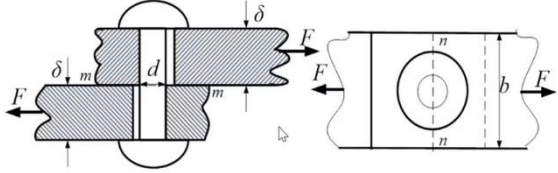
塑性材料： $[\tau] = (0.6 \sim 0.8) [\sigma]$ ， $[\sigma_j] = (1.5 \sim 2.5) [\sigma]$

脆性材料： $[\tau] = (0.8 \sim 1) [\sigma]$ ， $[\sigma_j] = (0.9 \sim 1.5) [\sigma]$

知识点 4 实例讲解及练习

例：校核如图所示键的强度。已知轴的直径 $d_0 = 50mm$ ，采用 B 型普通平键，尺寸为 $b \times h \times l = 14 \times 9 \times 50$ ，传递的转矩 $M = 0.5kN \cdot m$ ，键和轴的材料为 45 号钢，许用切应力 $[\tau] = 60MPa$ ，许用挤压应力 $[\sigma_j] = 100MPa$ 。

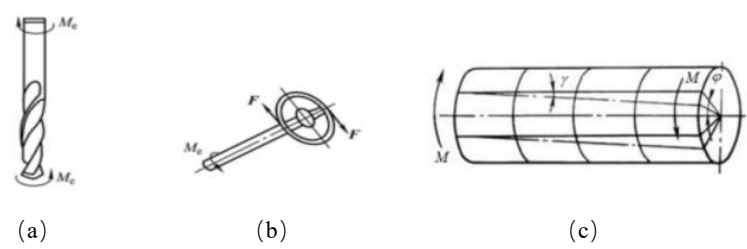


	<p>如图所示铆接接头，承受轴向拉力作用，求该拉力的许用值。已知板厚$\delta=2\text{mm}$，板宽$b=15\text{mm}$，铆钉直径$d=4\text{mm}$，许用切应力$[\tau]=100\text{MPa}$，许用挤压应力$[\sigma_{bs}]=300\text{MPa}$，许用拉应力$[\sigma]^+=160\text{MPa}$。</p> 		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 11、剪切变形和挤压变形 12、剪切与挤压强度计算 ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾，巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习，自我提升
教学反思	这节内容对同学们来说有点难度，运用了演示法，以及大量的例题讲解。		

机械设计基础授课教案

课题 2：机械工程力学基础——工程构件的承载能力分析（8 课时）

课 题	圆轴扭转		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时	
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.了解圆轴承受扭转变形的特点。</p> <p>2.掌握扭转变形内力及强度计算。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能根据圆轴扭转分析其承载能力。</p> <p>2.能正确处理机械工程中圆轴扭转问题。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>		
教学重难点	<p>教学重点：圆轴扭转的受力和变形特点。</p> <p>教学难点：圆轴扭转内力、强度的计算。</p>		
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法		

教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务,让同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题:</p> <p>以汽车方向盘为例引入圆轴扭转主题</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 扭转概念</p> <p>如图 1-36 (a) 所示的钻头、1-36 (b) 所示的汽车转向轴以及如图 1-36 (c) 所示的传动轴 AB, 构件两端受到一对大小相等、转向相反的力偶的作用, 作用在垂直于构件轴线的平面内, 构件在力偶的作用下产生变形, 任意两横截面皆绕轴线产生相对转动, 这种转动变形称为扭转变形。工程上一般发生扭转变形的杆件为轴, 其截面多数为圆截面和圆环形截面, 故称为圆轴。发生扭转变形的圆轴任意两横截面间相对转动的角度称为扭转角, 用 φ 表示。圆轴表面的纵向直线也转过一个角度 γ, 变为螺旋线, γ 称为切应变。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p style="text-align: center;">图 1-36 扭转实例</p> <p>知识点 2 扭矩和扭矩图</p> <p>在分析圆轴的扭转变形和承载能力之前, 首先要计算外力偶矩。外力偶矩通常通过已知轴所传递的功率和转速来求解, 即:</p> $M_e = 9550 \frac{P}{n} \quad (1-21)$	

式中: M_e —外力偶矩, 单位为 $N \cdot m$;

P —轴传递的功率, 单位为 kW;

n —轴的转速, 单位为 r / \min 。

1. 扭矩

求解圆轴扭转内力用截面法。如图 1-37 (a) 所示的圆轴, 在两端外力偶矩 M_e 的作用下产生了扭转变形。在 $n-n$ 横截面处将圆轴分成左右两段, 如图 1-37 (b)、1-37 (c) 所示。任取一段作为研究对象, 由平衡关系知, 则在截面 $n-n$ 处有一个内力偶矩与外力偶矩 M_e 平衡, 这个内力偶矩称为扭矩, 用符号 T 表示。由平衡条件得:

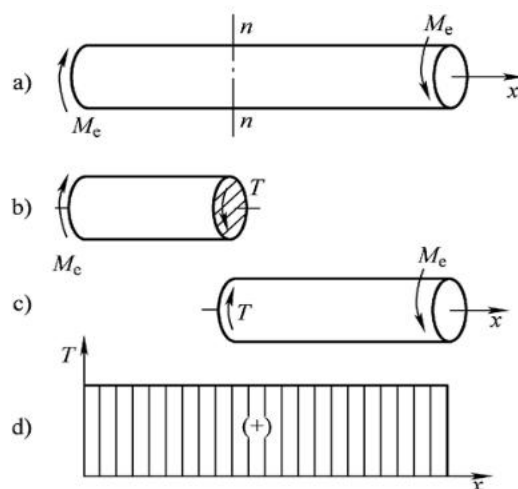
$$T - M_e = 0$$

则: $T = M_e$

扭矩正负符号的规定: 按右手螺旋法则, 四指按扭矩的转向握住轴线, 则大拇指的指向离开截面时为正; 反之为负, 如图 1-37 (b)、1-37 (c) 所示均为正。

2. 扭矩图

为形象表示各截面扭矩的大小与正负, 常需画出扭矩随截面位置变化的图像, 这种图像称为扭矩图。以横坐标 x 表示各截面的位置, 以纵坐标 T 表示相应截面上的扭矩, 圆轴扭矩图如图 1-37 (d) 所示。



通过教师引导提问
——学生思考解答
——教师讲解——
学生再思考理解, 层层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

图 1-37 扭矩和扭矩图

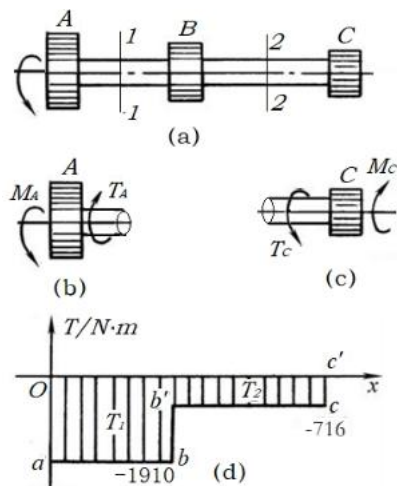


图 1-38 传动轴

当轴受多个外力偶作用时，由平衡条件可得计算扭矩的简捷方法：

圆轴任一截面的扭矩等于该截面一侧轴段上所有外力偶矩的代数和。

知识点 3 圆轴扭转强度与刚度计算

1. 圆轴扭转时横截面上的切应力

取如图 1-39 (a) 所示的圆轴作扭转实验，在其表面上画出圆周线和纵向线，形成矩形网格，在扭转微小变形情况下 (1-39 (b))，有以下特点：

(1) 各纵向线倾斜了同一角度 γ ，表面上的矩形网格变成了平行四边形。

(2) 各圆周横截面均绕轴线转过角度 φ ，各截面的形状、大小及间距不变。

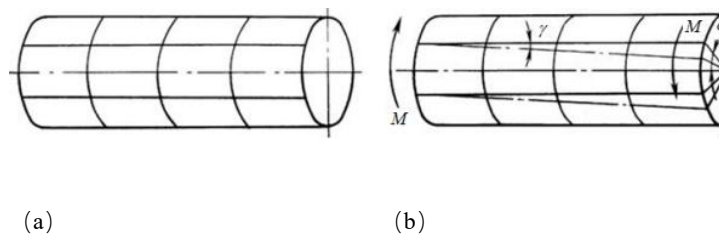


图 1-39 圆轴的扭转变形

圆轴扭转时横截面上只产生切应力，而横截面上各点切应力的大小与该点到轴心的距离 ρ 成正比，方向与过该点的半径垂直。轴心处切的应力为零，在圆轴表面上各点的切应力最大，如图 1-40、1-41 所示，并且可以导出横截面上任一点的切应力公式。

当圆轴某横截面上的扭矩为 T 、截面半径为 R 时，横截面上距轴心

为 ρ 处的切应力 τ_ρ 的计算公式为:

$$\tau_\rho = \frac{T\rho}{I_P} \quad (1-22)$$

式中: τ_ρ —横截面上距轴心为 ρ 处的切应力, 单位为 N/m^2 。

T —横截面上的扭矩, 单位为 $N \cdot m$ 。

ρ —横截面上任意一点到轴心的距离, 单位为 m 。

I_P —截面的极惯性矩, 与截面的形状和尺寸有关, 单位为 m^4 。

当 $\rho = R$ 时, 切应力 $\tau = \tau_{\max}$, 此时, 由式 (1-21) 得:

$$\tau_{\max} = \frac{TR}{I_P} \quad (1-23)$$

式中: τ_{\max} —横截面上半径为 R 处的最大切应力, 单位为 N/m^2 。

R —横截面半径, 单位为 m 。

令 $W_n = \frac{I_P}{R}$, 则:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_n} \quad (1-24)$$

式中: W_n —抗扭截面系数, 单位为 m^3 。

截面的极惯性矩 I_P 与抗扭截面系数 W_n 都与截面的形状与尺寸有关。工程中承受扭转变形的圆轴有实心圆轴与空心圆轴两种, 其横截面如图 1-40、1-41 所示。两种圆轴的截面极惯性矩 I_P 与抗扭截面系数 W_n 的计算公式如下。

(1) 实心圆轴

$$I_P = \frac{\pi D^4}{32} \approx 0.1D^4 \quad (1-25)$$

式中: D —圆轴直径, 单位 m 。

$$W_n = \frac{I_P}{R} = \frac{2\pi D^4}{32D} = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0.2D^3 \quad (1-26)$$

(2) 空心圆轴

$$I_P = \frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi D^4}{32} (1 - \alpha^4) \approx 0.1D^4 (1 - \alpha^4)$$

(1-27)

式中: D —圆轴外径, 单位 m 。

d —圆轴孔径, 单位 m 。

$$\alpha = \frac{d}{D}$$

$$W_n = \frac{I_P}{R} = \frac{2\pi D^4 (1 - \alpha^4)}{32D} = \frac{\pi D^3}{16} (1 - \alpha^4) \approx 0.2D^3 (1 - \alpha^4)$$

(1-28)

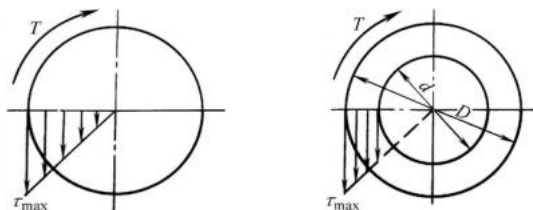


图 1-40 实心圆轴受扭时切应力的分布 图 1-41 空心圆轴受扭时切应力的分布

2. 圆轴扭转强度

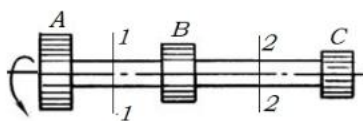
为保证圆轴在扭转变形中有足够的强度, 应使圆轴横截面上的最大切应力不能超过材料的许用应力, 即:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_n} \leq [\tau] \quad (1-29)$$

上式为圆轴扭转的强度条件。

知识点 4 实例讲解及练习

如图所示的传动轴, A 为主动轮, 输入功率 $P_A = 40kW$, 转速 $n = 200r/min$, 输出功率 $P_B = 25kW$, $P_C = 15kW$ 。试作出传动轴的扭矩图。

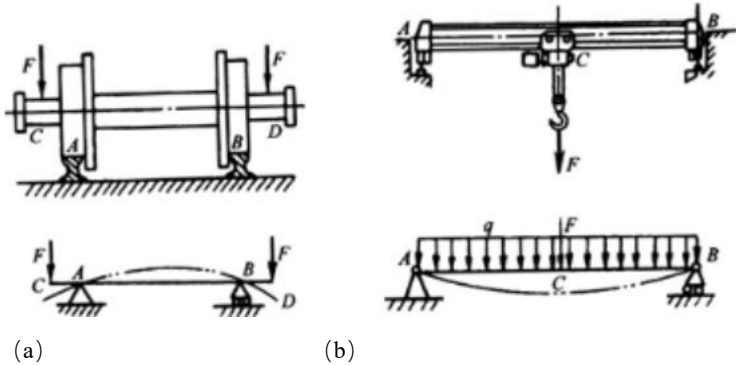
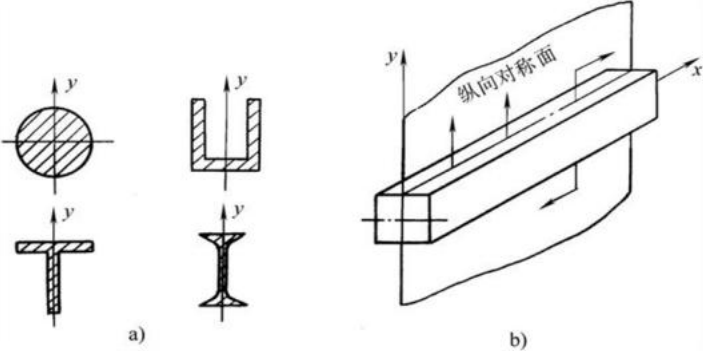


强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点 13、圆轴扭转的扭矩与扭矩图 14、圆轴扭转的强度与刚度计算 <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】总结回顾知识点		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】完成课后任务		反思学习, 自我提升
教学反思	以汽车方向盘这一常见实例引入圆轴扭转主体, 在绘制扭矩图判断正负号用右手螺旋法则, 带领大家喊口号举起右手, 课堂生动有趣。		

机械设计基础授课教案

课题 2：机械工程力学基础——工程构件的承载能力分析（8 课时）

课 题	平面弯曲		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.了解平面弯曲与组合变形的特点。 2.掌握平面弯曲内力及强度计算。 能力目标： 1.能根据平面弯曲分析其承载能力。 2.能正确处理机械工程中平面弯曲问题。 素质目标： 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。		
教学重难点	教学重点： 平面弯曲的受力和变形特点。 教学难点： 平面弯曲内力、强度的计算。		
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法		
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪		
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置		
教学过程	主要教学内容及步骤		设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确

		课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务 预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题： 复习圆轴扭转内容；以桥式起重机为例引入平面弯曲</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 平面弯曲</p> <p>如图 1-43 (a) 所示的火车轮轴、1-43 (b) 所示的桥式起重机桥梁，外力垂直作用于杆件轴线，使原为直线的轴线产生变形成为曲线，这种变形称为弯曲变形。习惯上把以弯曲变形为主的杆件称为梁。</p>  <p style="text-align: center;">图 1-43 构件的弯曲</p> <p>工程中多数梁的横截面有一对称轴，通过对称轴和梁的轴线作一纵向对称面，如图 1-44 所示。若所有载荷都作用在梁的纵向对称面内，梁的轴线 x 在纵向对称面内弯曲成一曲线，这种弯曲称为平面弯曲。</p>  <p style="text-align: center;">图 1-44 有对称轴的梁</p> <p>知识点 2 梁的支座形式及支座反力</p> <p>梁的支座形式复杂多样，工程中对梁进行受力和计算时，常根据梁的支座情况，将支座进行简化。按支座对梁的约束情况，将支座形</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——</p>

<p>式简化为可动铰链支座、固定铰链支座、固定端三种。</p> <p>1.可动铰链支座</p> <p>梁铰接在支座上，支座在机架上横向可作少量的移动，支座反力垂直于接触面，如图 1-45（a）所示。</p> <p>2.固定铰链支座</p> <p>梁铰接在支座上，支座固定在机架上，支座反力为两个正交分量，如图 1-45（b）所示。</p> <p>3.固定端</p> <p>梁固定在机架上，使梁某截面既不能转动又不能移动的支座，支座反力为两个正交分量和一个力偶，如图 1-45（c）所示。如车床三爪自定心卡盘夹紧加工的工件。</p> <div data-bbox="384 840 1129 981"></div> <p>（a）可动铰链支座 （b）固定铰链支座 （c）固定端</p> <p>图 1-45 梁的支座形式及支座反力</p> <p>知识点 3 载荷形式与支撑形式</p> <p>（一）载荷形式</p> <p>作用在梁上的载荷，通常可分为集中载荷、分布载荷、集中力偶三种。</p> <p>1.集中载荷</p> <p>如图 1-46（a）中的力 F，当横向载荷在梁上的分布范围远小于梁的长度时，便可简化为作用于一点上的集中力，如齿轮的径向力。</p> <p>2.分布载荷</p> <p>沿梁的全长或部分长度连续分布的横向分散载荷，称为分布载荷。分布载荷的大小和方式常以梁单位长度上的载荷值即载荷集度 q 表示，如图 1-46（b）中的载荷 q，称为载荷集度，单位为 N/m。均质等截面梁的自重，是均匀分布的载荷，简称为均布载荷。</p> <p>3.集中力偶</p> <p>当力偶作用的范围远小于梁的长度时，可简化为集中作用于某一截面的集中力偶，作用在梁纵向对称平面内，如图 1-46（a）中的力 M。</p>	<p>学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------

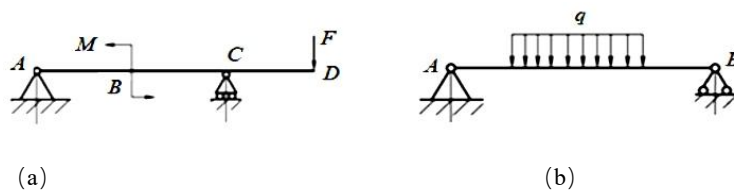


图 1-46 载荷形式

(二) 梁的支撑形式

根据支撑形式的不同，梁可分为简支梁、外伸梁、悬臂梁三种类型。

1. 简支梁

梁的一端为固定铰链支座，另一端为活动铰链支座，如图 1-47 (a) 所示。

2. 外伸梁

梁的一端为固定支座，另一端为可动支座，一端或两端外伸于支座，并在外伸端有载荷作用，如图 1-47 (b)、(c) 所示。

3. 悬臂梁

梁的一端为固定端约束，另一端为自由端，如图 1-47 (d) 所示。

外伸梁与简支梁支撑形式类似，但其一端或两端外伸出支座之外且有载荷作用。

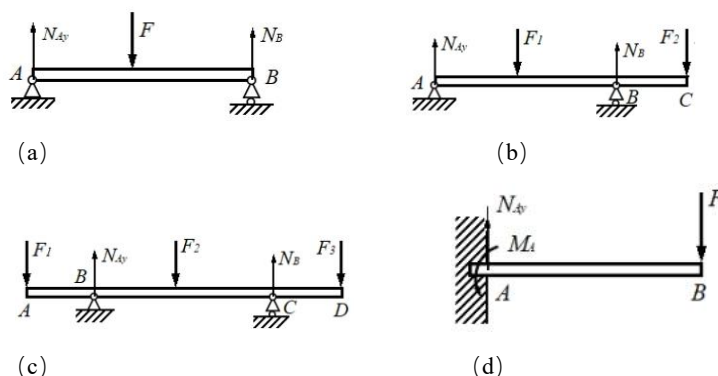


图 1-47 梁的支撑形式

知识点 4 平面弯曲内力

1. 剪力和弯矩概念

梁在发生平面弯曲变形时，其横截面上会产生两种内力抵抗变形的发生，

一种是剪力 F_Q ，另一种是弯矩 M 。如图 1-48 (a) 所示，假想沿 $n-n$ 截面将梁分成两段（图 (b)、图 (c)），因整个梁处于平衡状态，则左右两段都平衡，以左段为研究对象，则有：

(1) 力 F_Q 的作用线平行于外力并通过截面的形心，称为剪力。

(2) 力偶矩 M ，其力偶面垂直于横截面，称为弯矩。

(3) 左右段中的 F_Q 与 F'_Q 是一对作用力与反作用力， M 与 M' 是一对作用力与反作用力。

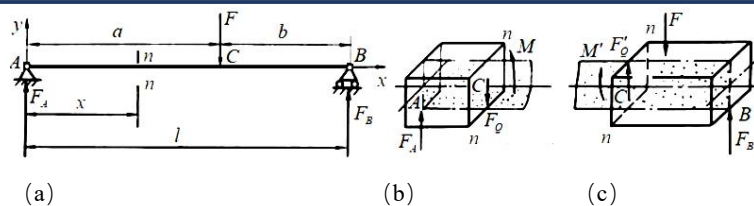


图 1-48 简支梁的内力分析

2. 剪力和弯矩的大小与方向

(1) 剪力和弯矩的大小

以左段为研究对象：

梁横截面上的剪力 F_Q 与弯矩 M 可由平衡方程求得。在图 1-48 (b) 中，取左段为研究对象，列平衡方程得：

$$\left. \begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ \sum M_C &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} F_A - F_Q &= 0 \\ M - F_A x &= 0 \end{aligned} \right\}, \text{ 由此得: } F_Q = F_A, \quad M = F_A x$$

以右段为研究对象：

梁横截面上的剪力 F'_Q 与弯矩 M' 可由平衡方程求得。在图 1-48 (c) 中，取右段为研究对象，列平衡方程得：

$$\left. \begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ \sum M_C &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} F'_Q - F + F_B &= 0 \\ F_B(l-x) - F(a-x) - M' &= 0 \end{aligned} \right\}, \text{ 由此得: }$$

$$F'_Q = F - F_B = F_A = F_Q, \quad M' = (F - F_B)x = F_A x = M$$

由上总结：梁任一截面上的内力 F_Q (F'_Q)、 M (M') 的大小，由该截面一侧的外力确定，即：

$$\left. \begin{aligned} F_Q (F'_Q) &= \text{截面一侧所有外力的代数和} \\ M (M') &= \text{截面一侧所有外力对截面形心力矩的代数和} \end{aligned} \right\}$$

(1-34)

(2) 剪力和弯矩的方向

从梁内取一小段梁，当小段梁两侧面发生“左上右下”相对错动时，剪切

力 F_Q 为正，反之为负，如图 1-49 (a)、(b) 所示；使小段梁弯曲向

下凸时弯矩 M 为正,反之为负,如图 1-49 (c)、(d) 所示。

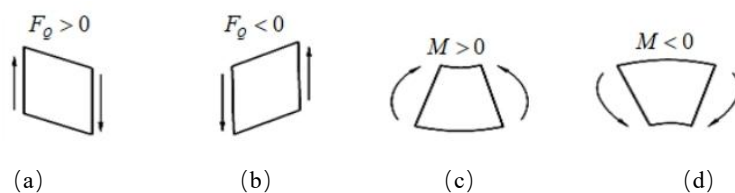


图 1-49 剪力和弯矩的符号

3. 弯矩图

为了能直观、形象地表示弯矩沿梁轴线的变化情况,找出最大弯矩值及其所在截面的位置,需要绘制弯矩图。画弯矩图的步骤如下:

(1) 求出梁的支座反力;

(2) 列力与弯矩平衡方程,计算出梁的剪切力 F_Q 与弯矩 M 。

(3) 以平行于轴线的 x 轴为横坐标, x 表示截面位置,以纵坐标 M 表示相应各横截面上的弯矩,正弯矩画在 x 轴上方,负弯矩画在 x 轴下方。

总结弯矩图特点如下:

(1) 梁受集中力或集中力偶作用时,弯矩图为直线,在集中力作用处,弯矩发生转折;在集中力偶作用处,弯矩图发生突变,突变量为集中力偶的大小,突变方向为:下凸向上,上凸向下。

(2) 梁受到均布载荷作用时,弯矩图为抛物线,且抛物线的开口方向与均布载荷的方向一致。

(3) 梁的端点若无集中力偶的作用,则端点处的弯矩为 0;若有集中力偶的作用,则弯矩为集中力偶的大小。

知识点 5 平面弯曲强度计算

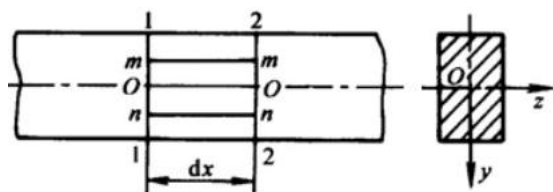
1. 纯弯曲概念与特点

一般情况下,梁的横截面上既有弯矩,又有剪力,这种弯曲称为横力弯曲。若梁的横截面上只有弯矩而无剪力,称为纯弯曲。

如图 1-53 (a) 所示矩形截面梁,在其两端受到两个力偶的作用发生纯弯曲变形,如图 1-53 (b)。观察梁的纯弯曲变形,有以下特点:

(1) 各纵向线由直线弯曲成弧线,且以对称轴为分界线。靠近凹边的弧线缩短;靠近凸边的弧线伸长;分界层既不缩短,也不伸长。远离分界线的点变形越大。

(2) 变形后横截面仍然保持平面,且仍垂直于轴线,且仍与纵向线正交,但发生了相对转动。



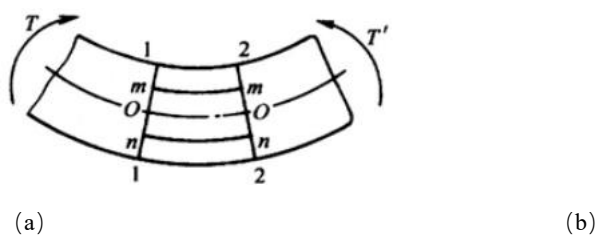


图 1-53 纯弯曲变形

2. 纯弯曲时梁横截面上的正应力

(1) 梁纯弯曲时横截面上正应力的分布规律

梁纯弯曲时，横截面上只有正应力而无剪应力，如图 1-54 (a) 所示。正应力分布规律为：横截面上各点的正应力与该点到中性轴 z 的距离 y 成正比，沿截面宽度方向距离对称分界面相同的各点的正应力相同；沿截面高度方向正应力按直线规律变化，对称分界面上各点 ($y = 0$ 处) 的正应力为零，离对称分界面最远点的正应力最大，如图 1-54 (b) 所示。由此有：

$$\frac{\sigma}{y} = \frac{\sigma_{\max}}{y_{\max}} \quad (1-35)$$

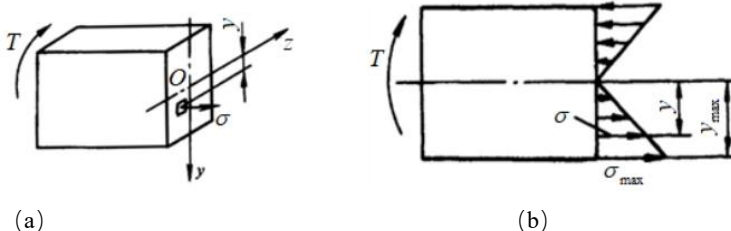


图 1-54 梁纯弯曲时横截面上正应力的分布规律

(2) 弯曲正应力的计算

当梁横截面上的弯矩为 M ，该横截面上距对称分界线 z 的距离为 y 的点的正应力 σ 的计算公式为：

$$\sigma = My / I_z \quad (1-36)$$

式中： σ —横截面上距离中性轴距离为 y 的各点的正应力，单位为 Pa 。

M —该截面上的弯矩，单位为 $N \cdot m$ 。

I_z —横截面对 z 轴的轴惯性矩，与截面的形状、尺寸有关，单位为 m^4 。

当 $y = y_{\max}$ 时，弯曲正应力达到最大值 σ_{\max} ，即：

$$\sigma_{\max} = My_{\max} / I_z \tag{1-37}$$

令 $W_z = I_z / y_{\max}$ ，则上式可写成：

$$\sigma_{\max} = M / W_z \tag{1-38}$$

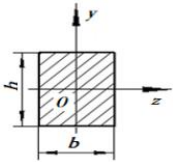
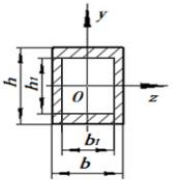
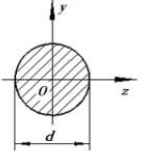
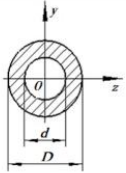
式中： W_z —抗弯截面系数，单位为 m^3 。

上述正应力的计算公式是由纯弯曲梁的变形导出的，但理论与实验证明，当梁的跨度与横截面的高度之比大于5（ $l/h > 5$ ）时，剪力对弯曲强度的影响比弯矩的影响小得多，可以忽略不计。因此只要材料在弹性范围内，上述公式也适用于横力弯曲的情况。因此，在处理工程问题时，计算梁弯曲内力，可忽略掉剪力，只考虑弯矩的作用。

（3）简单截面的轴惯性矩 I 和抗弯截面系数 W

横截面的轴惯性矩与抗弯截面系数取决于横截面的形状与尺寸。常见截面的轴惯性矩 I 和抗弯截面系数 W 如表 1-5 所示。

表 1-5 见截面的轴惯性矩 I 和抗弯截面系数 W

横截面形状	轴惯性矩 I	抗弯截面系数 W
	$I_z = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3h}{12}$	$W_z = \frac{bh^2}{6}$ $W_y = \frac{b^2h}{6}$
	$I_z = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3h - b_1^3h_1}{12}$	$W_z = \frac{bh^2 - b_1h_1^2}{6}$ $W_y = \frac{b^2h - b_1^2h_1}{6}$
	$I_y = I_z = \frac{\pi D^4}{64} \approx 0.05 D^4$	$W_y = W_z = \frac{\pi D^3}{32} \approx 0.1 D^3$
	$I_y = I_z = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4)$ $= 0.05 D^4 (1 - \alpha^4)$ <p>其中： $\alpha = \frac{d}{D}$</p>	$W_y = W_z = \frac{\pi D^3}{32} (1 - \alpha^4)$ $= 0.1 D^3 (1 - \alpha^4)$ <p>其中： $\alpha = \frac{d}{D}$</p>

3.梁弯曲时的强度条件

梁的弯曲强度条件是：梁内危险截面上的最大弯曲正应力 σ_{\max} 不超过

材料的许用应力 $[\sigma]$ ，即：

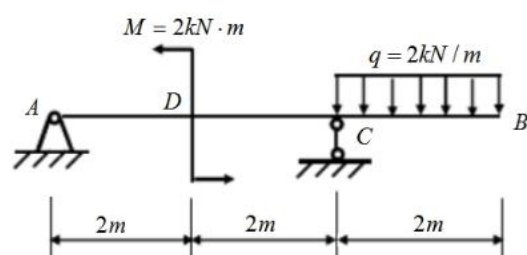
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] \quad (1-39)$$

式中： $[\sigma]$ —材料的许用弯曲应力。

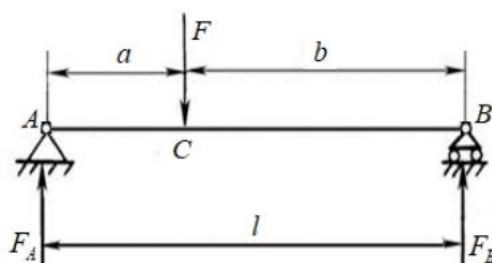
利用梁弯曲时强度条件，可进行强度校核、设计截面和计算许可载荷。

知识点 6 实例讲解及练习

1. 绘制如图所示静定梁的弯矩图和剪力图。



2. 如图所示简支梁，已知 $F = 6 \text{ kN}$ ， $[\sigma] = 60 \text{ MPa}$ ， $l = 50 \text{ cm}$ ， $a = 20 \text{ cm}$ ， $b = 30 \text{ cm}$ ，试设计实心简支梁的直径 d 。



强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 15、平面弯曲的概念和特点 16、梁的载荷形式和支撑形式 17、平面弯曲内力及强度计算 ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾，巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 		反思学习，自我提升

	■ 【学生】完成课后任务	
教学反思	本课程内容较多，平面弯曲内力及强度计算部分有部分学生存在与前期课程内容混淆状况，增添了多个实例讲解。	

机械设计基础授课教案

课题 3：平面机构——平面机构运动简图与自由度的计算（6 课时）

课 题	平面机构运动简图	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.掌握运动副的类型与判别方法。 2.掌握机构运动简图的绘制。 能力目标： 1. 能分析并绘制机构运动简图。 素质目标： 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。	
教学重难点	教学重点：平面运动副的概念与分类，自由度和约束条件 教学难点：平面机构的运动简图。	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务 预习课程内容 ■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	■ 【教师】提出以下问题： 1.提问复习四种变形特点与内力、强度； 2.以牛头刨床摆动导杆机构为例，引入本次课的学习 ■ 【学生】思考、举手回答	
传授新知	知识点 1 平面运动副的概念与分类、自由度和约束条件 平面机构是指组成机构的所有构件都在同一平面或相互平行的平面中运	

动。目前工程中常用的机构大多属于平面机构。本模块只讨论平面机构。

(一) 运动副的概念

机构由构件组成。机构中每个构件都以一定的方式与其它构件相互接触，并形成一种可动连接，从而使构件之间的相对运动受到约束。构件和构件之间这种直接接触又产生相对运动的连接，称为运动副。使两构件之间保持接触的点、线、面称为运动副元素。图 2-2 所示为常见的运动副。

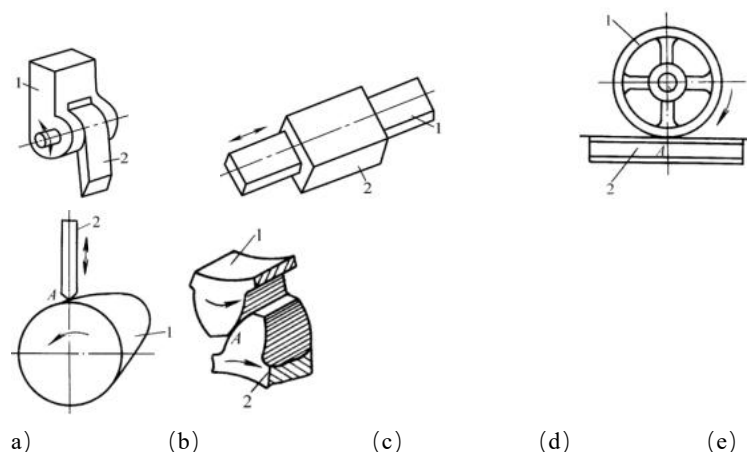


图 2-2 常见的运动副

(二) 自由度与约束

构件相对于参考系所具有的独立运动参数的数目称为构件的自由度。如图 2-3 所示，构件可随其上任一点 A 沿 x 轴、Y 轴移动和绕垂直于 XOY 平面的轴转动。因此作平面运动的自由构件具有三个自由度，用三个独立的参数 x 、 y 、 φ 表示。

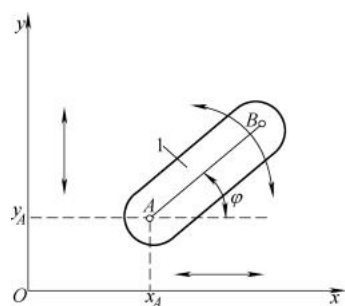


图 2-3 平面运动构件的自由度

两构件通过运动副连接后，其相对运动会受到限制，自由度也随之减少。运动副限制了两个构件间的某些独立运动的可能性，这种限制称为约束。自由度随着约束的引入而减少。不同类型的运动副引入不同的约束。

(三) 运动副的分类

两构件一般通过点、线、面三种接触形式连接起来，根据组成运动副两构件之间的接触几何特征不同，运动副可分为低副和高副。

1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副称为低副。每个低副有两个约束。按两构件间的相对运动形式，低副又分为转动副和移动副。

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

(1) 转动副

组成运动副的两构件只能在一个平面内做相对转动的运动副称为转动副（如图 2-2a）。转动副被约束的是运动构件沿 x 、 y 轴线的移动，只保留了平面内的转动自由度。

(2) 转动副符号

如图 2-4 所示，构件均用直线表示，画有斜线的构件表示固定构件。转动副用小圆圈表示，小圆圈中心代表转动轴线的中心。

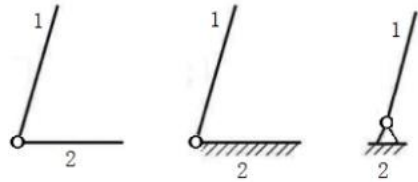


图 2-4 转动副的符号

(3) 移动副

组成运动副的两构件只能沿某一直线做相对移动的运动副称为移动副（如图 2-2b）。移动副约束了一个移动和一个转动两个自由度，只保留了一个移动自由度。

(4) 移动副符号

如图 2-5 所示，用直线表示移动导路或其中心线的位置。

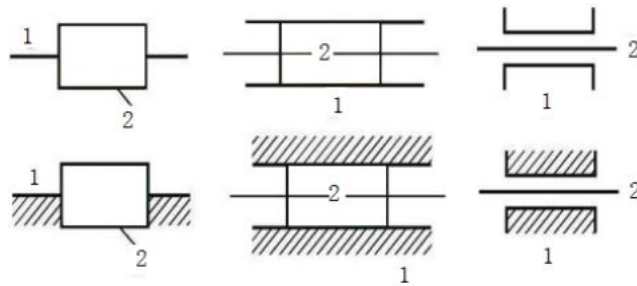


图 2-5 移动副的符号

2.高副

两个构件之间通过点或者线接触的运动副称为高副（如图 2-2c、d、e）。高副用两构件在直接接触处的轮廓表示，如图 2-6 所示，图 a 凸轮副中的凸轮、滚子，习惯上画出全部的轮廓；图 b 齿轮副中的齿轮，用点画线画出其节圆。每个高副引入一个约束，保留两个自由度数。

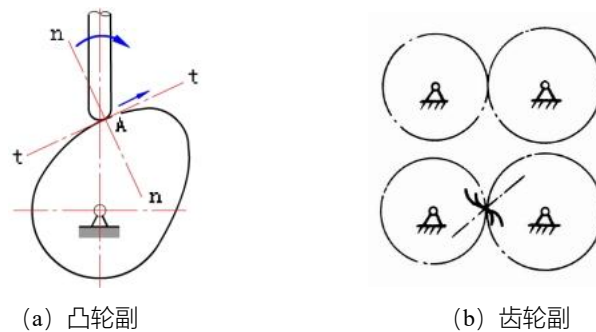


图 2-6 高副

(四) 构件的分类与表示法

1.构件的分类

机构中的构件可分为三类：机架、原动件、从动件。

机架是机构中视作固定不动的构件，它支承着其它可动构件。在机构图中，机架上标有斜线。

原动件是机构中接受外部给定运动规律的可动构件，又称为输入构件。

在机构图中，原动件上常标有箭头。

从动件是机构中随原动件而运动的可动构件，又称为输出构件。

2. 构件的表示法

构件有两运动副、三运动副构件，其运动副按如图 2-7、2-8 所示表示。

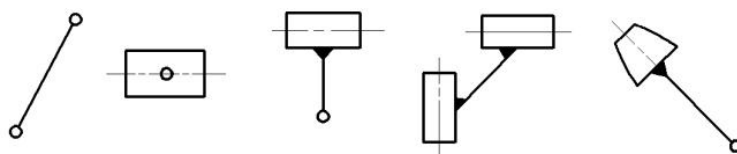


图 2-7 二运动副构件

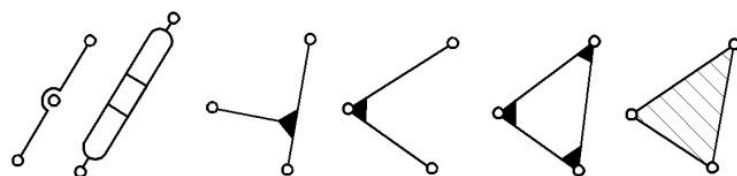


图 2-8 三运动副构件

知识点 2 平面机构的运动简图

在研究机构的运动时，实际机械及构件的外形和结构比较复杂。在进行平面机构运动分析时，可以不考虑那些与运动性质无关的构件的外形和运动副的具体结构，仅用简单的线条和符号表示构件和运动副，并按一定的比例定出各运动副的相对位置，把机构的组成和相对运动关系表达出来。这种表示机构组成和各构件间相对运动关系的简图形，称为机构运动简图。机构运动简图与机构示意图有一定的区别，机构示意图没有按一定比例表示出各运动副间准确的相对位置，只能表示机构组合方式的简图称为机构示意图。常用机构运动简图符号如表 2-1 所示。

表 2-1 常用机构运动简图符号

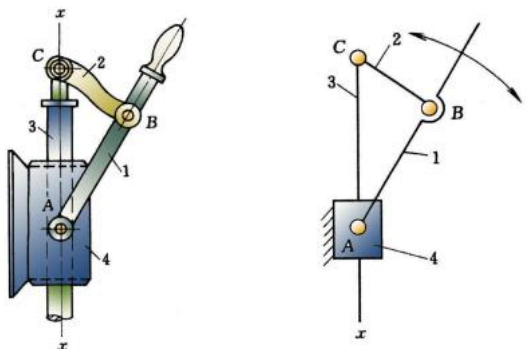
名 称	符 号	名 称	符 号
构件 固定 联接		链 传 动	
零件 与轴 固定		外 啮 合 圆 柱 齿 轮 传 动	
向心 (径 向)轴 承	 滑动轴承 滚动轴承	内 啮 合 圆 柱 齿 轮 传 动	
联轴 器	 可移式联轴器 弹性联轴器	齿 轮 齿 条 传 动	
离合 器		锥 齿 轮 传 动	
制动 器		蜗 杆 传 动	
带传 动			

机构运动简图一般包括主动件、从动件、机架等构件。绘制平面机构运动简图可按以下步骤进行。

- 1) 分析机构运动的传递情况，找出机架、主动件和从动件；
- 2) 从主动件开始，按照运动的传递顺序，确定构件和运动副的数目和类型；
- 3) 测量各运动副间的相对位置；
- 4) 选择适当的视图平面（通常选择与构件运动平行的平面作为平面机构的投影面）和主动件位置，合理表达各构件间的运动关系。

5) 选择适当的比例尺 u_l ，按照各运动副间的距离和相对位置，画出机

构运动简图。绘制机构运动简图的比例尺为：
$$u_l = \frac{\text{实际尺寸}}{\text{图示尺寸}}。$$

	<p>知识点 3 实例讲解及练习</p> <p>如图 2-9 所示为抽水唧筒机构的运动简图。</p>  <p>图 2-9 抽水唧筒机构运动简图</p>		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>18、平面运动副的概念与分类、自由度和约束条件</p> <p>19、平面运动机构的运动简图</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习, 自我提升
教学反思	<p>本章节内容是全书的重点内容, 运动副的类别与判定是基础内容, 课堂用实际中常见的门和门框的连接, 抽屉和抽屉盒的连接为例子更好的帮助大家理解了低副中转动副和移动副的概念。</p>		

机械设计基础授课教案

课题 3：平面机构——平面机构运动简图与自由度的计算（6 课时）

课 题	平面机构自由度的计算		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 4 课时
教学目标	知识目标： 掌握机构自由度的计算。		

	<p>能力目标:</p> <p>1.能计算出机构的自由度并能判断机构是否具有确定的相对运动。</p> <p>2.能对不具有确定相对运动的机构进行改进。</p> <p>素质目标:</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点: 平面机构自由度的计算及机构具有确定相对运动的条件;</p> <p>教学难点: 机构自由度计算中几种特殊情况的处理。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】 布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】 完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】 使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤</p> <p>■ 【学生】 班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】 提出以下问题:</p> <p>1.提问复习平面运动副概念与分类, 自由度和约束条件</p> <p>2.以摆动导杆机构为例, 引入本次课的学习</p> <p>■ 【学生】 思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 平面机构自由度的计算及机构具有确定相对运动的条件</p> <p>1.平面机构自由度的计算</p> <p>机构是具有确定的相对运动的构件组合体, 构件不能随意组合。机构是否具有确定的相对运动与机构的自由度有关。机构能产生独立运动的数目称为机构的自由度。在平面机构中, 各构件作自由运动时, 构件具有 3 个自由度。当构件之间通过运动副进行连接时, 各构件受到了相互约束, 每个低副引入两个约束, 每个高副引入一个约束。设平面机构中共有 n 个活动构件 (机架不是活动构件), 在各构件尚未构成运动副时, 它们共有 $3n$ 个自由度。而当各构件构成运动副后, 设共有 P_l 个低副和 P_h 个高副, 则机构将受到 $2P_l - P_h$ 个约束, 故机构的自由度 F 为:</p> $F = 3n - 2P_l - P_h \quad (2-1)$ <p>式 2-1 称为平面机构自由度计算公式。式中, F 为平面机构的自由度</p>	

数; n 为机构中活动构件个数; P_l 为机构中低副的个数; P_h 为机构中高副的个数。由公式可知, 机构自由度的数目取决于活动构件数和运动副的类型及数目。

2.平面机构具有确定相对运动的条件

如图 2-10 所示的桁架机构中, 图 (a) 的自由度 $F = 0$, 图 (b) 的自由度 $F = -1$, 两机构都不能产生运动。

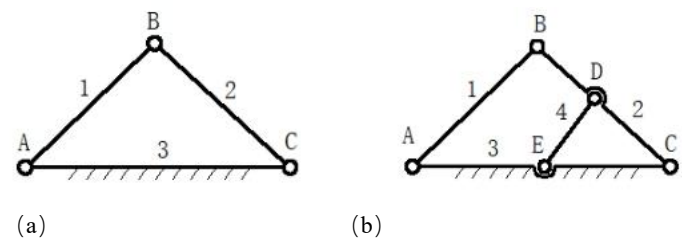


图 2-10 桁架

如图 2-11 所示的铰链四杆机构中, 自由度 $F = W = 1$ (W 为原动件个数), 具有确定的相对运动。图 2-12 所示的五杆机构中, 自由度 $F = 2 \neq W$, 其运动是不确定的, 不能成为机构; 要使该运动链的运动确定, 其主动件数 W 应为 2。

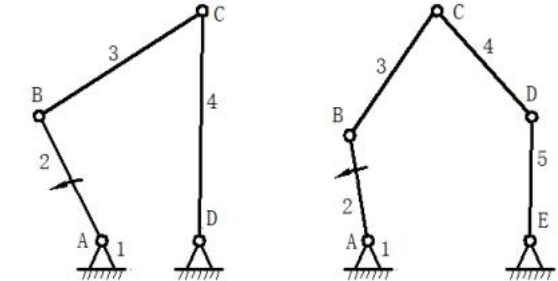


图 2-11 四杆机构

图 2-12 五杆机构

由前述分析可知, 机构的自由度是机构中各构件相对机架所具有的独立运动的个数。而从动件不能独立运动, 只有原动件在外界给定的运动下, 才能独立运动。因此要使各构件之间具有确定的相对运动, 必须使机构的自由度 F 等于原动件数 W 。即构件系统成为机构的充分必要条件是: 构件系统的自由度 F 必须大于零, 且自由度 F 必须等于原动件数 W 。

知识点 2 机构自由度计算中几种特殊情况的处理

应用平面机构自由度计算公式计算自由度时, 必须注意以下几种特殊情况。

(一) 复合铰链

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解, 层层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

两个以上的构件在同一轴线上用转动副相连接就构成复合铰链。如图 2-13 所示，三个构件组成复合铰链，由图可以看出，这三个构件共组成两个转动副。依次类推， m 个构件组成的复合铰链应具有 $m-1$ 个转动副。

如图 2-14 所示的构件系统，在 A、B、C、D 四处都是由三个构件组成的复合铰链，每处各有 2 个转动副。E、F 处各有 1 个转动副，没有高副。

该机构共有 7 个活动构件，故 $n=7$ ，所以 $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ ，

且主动件数 $F = W = 1$ ，当主动件 CF 等速转动时，构件系统有确定地

的相对运动，可以成为机构。

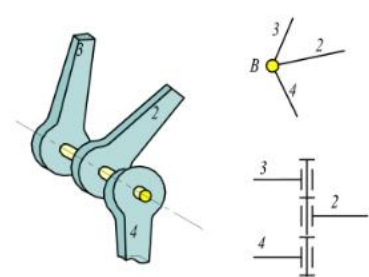


图 2-13 复合铰链

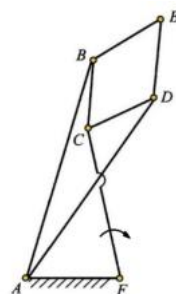


图 2-14 构件系统

(二) 局部自由度

机构中不影响整个机构的输出与输入运动关系的局部的独立运动，称为局部自由度。局部自由度一般出现在将滑动摩擦改为滚动摩擦的场合，在计算自由度时应将局部自由度除去，将滚子与杆件固连一起来考虑。

如图 2-15 所示的凸轮机构中，该机构的自由度数

$$F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

，即只给凸轮 1 以确定的转动，从动件 3 的往复移动规律就能完全确定。

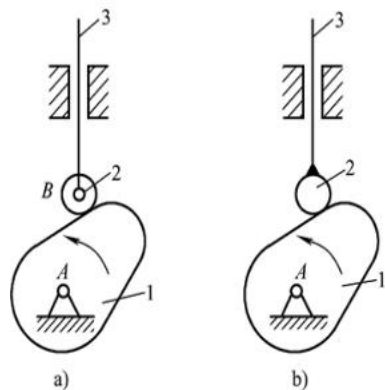


图 2-15 局部自由度

(三) 虚约束

机构中与其它约束起重复限制运动作用的约束称为虚约束。在计算机构

自由度时应除去虚约束不计。

虚约束出现的场合有以下几种情况：

1.两个构件形成多个具有相同作用的运动副

(1) 两个构件在同一轴线上形成多个转动副 (如图 2-16)

处理方法：只保留一个转动副。

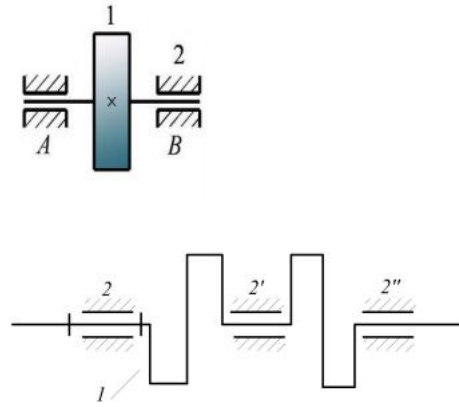


图 2-16 两个构件在同一轴线上形成多个转动副

(2) 两构件形成多个导路平行或重合的移动副 (如图 2-17)

处理方法：只保留一个移动副。

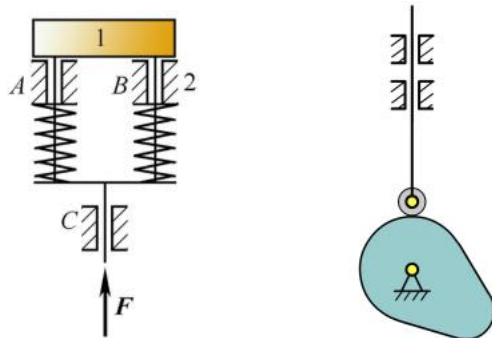


图 2-17 两构件形成多个导路平行或重合的移动副

(3) 两构件在多处接触形成高副 (如图 2-18)

处理方法：只保留一个高副。

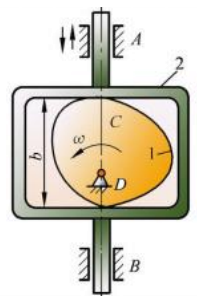


图 2-18 两构件在多处形成高副

2.两联接构件在联接点上的运动轨迹重合 (如图 2-19 所示的火车车轮联动机构)

处理方法：去除虚约束及多余的构件。

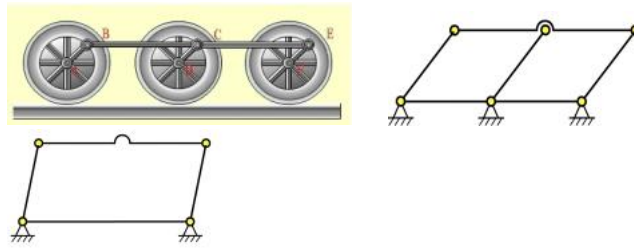


图 2-19 火车车轮联动机构

3. 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分（如图 2-20 所示的周转轮系）

处理方法：去除对称部分的构件和形成的运动副。

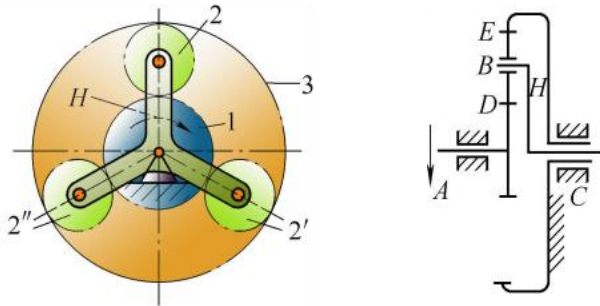
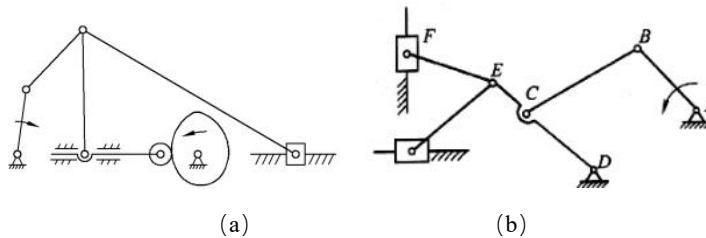


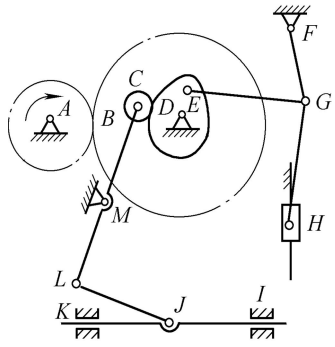
图 2-20 周转轮系

知识点 3 实例讲解及练习

计算以下机构的自由度，并分析机构中是否存在复合铰链、局部自由度、虚约束，并判断它们是否具有确定的相对运动（图中画有箭头的构件为原动件）。



计算如图所示机构的自由度，指出并说明其中是否有复合铰链、局部自由度、虚约束，并判断该机构是否有确定的相对运动（图中箭头所示构件为原动件）？

			
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>20、平面机构自由度的计算及机构具有确定相对运动的条件</p> <p>21、机构自由度计算中几种特殊情况的处理</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习, 自我提升
教学反思	<p>本节自由度的计算是重点中的重点, 为让同学们更充分的掌握自由度的计算, 除去讲解教案中几个实例外, 我带了一把雨伞去教室, 让大家通过实际的操作与感受, 进行运动副的判定, 并且计算出该雨伞的自由度, 收效不错。</p>		

机械设计基础授课教案

课题 3：平面机构——铰链四杆机构的基本类型及其演化（4 课时）

课 题	铰链四杆机构的基本类型及其演化		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.掌握曲柄存在的条件；</p> <p>2.掌握判断铰链四杆机构类型的方法；</p> <p>3.掌握铰链四杆机构演化的类型。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.具有分析和应用铰链四杆机构演化各机构的能力；</p> <p>2.具有分析和应用各种机构运动特性的能力。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>		

教学重难点	教学重点： 铰链四杆机构的基本类型及判别； 教学难点： 曲柄滑块机构、导杆机构等的演化；各种机构的运动特性及应用。	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	■ 【教师】 布置课前任务,让同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务 预习课程内容 ■ 【学生】 完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	■ 【教师】 使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤 ■ 【学生】 班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	■ 【教师】 提出以下问题: 1.提问复习平面机构自由度计算及具有相对运动的条件? 2.以牛头刨床引入平面连杆机构及铰链四杆机构概念 ■ 【学生】 思考、举手回答	
传授新知	知识点 1 平面连杆机构的特点、应用和基本类型 构件间只用低副联接的机构称为连杆机构。所有构件均作平行于某一平面运动的连杆机构,称为平面连杆机构。由四个构件通过低副联接而成的平面连杆机构,称为平面四杆机构。平面四杆机构是平面连杆机构中最常见的形式,也是组成平面多杆机构的基础。如果所有低副均为转动副,这种平面四杆机构称为铰链四杆机构。它是平面四杆机构最基本的形式,其他形式的平面四杆机构都可看作是在它的基础上演化而成的。 (一) 铰链四杆机构的基本类型及其应用 如图 2-24 所示的铰链四杆机构中,机构中的杆 4 固定不动称为机架,与机架相连的杆 1 和 3 称为连架杆,不直接与机架相连的杆 2 称为连杆。能绕固定铰链中心作整周转动的连架杆称为曲柄;不能绕机架作整周转动,只能在一定角度范围内摆动的连架杆称为摇杆。 按连架杆运动形式的不同,可将铰链四杆机构分为三种基本形式:曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构。 1.曲柄摇杆机构 铰链四杆机构的两个连架杆中,若一个是曲柄,另一个是摇杆,则称此四杆机构为曲柄摇杆机构(如图 2-25 所示)。	

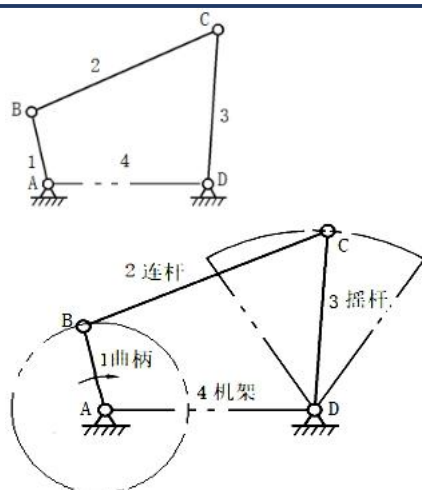
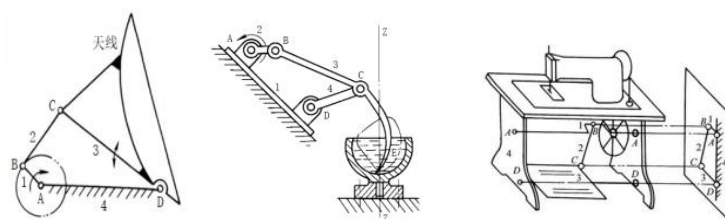


图 2-24 铰链四杆机构

图 2-25 曲柄摇杆机构

在曲柄摇杆机构中，通常以曲柄为主动件，作等速转动，从动摇杆作往复摆动，连杆随曲柄作平面复杂运动。曲柄摇杆机构应用在雷达天线俯仰调整机构（如图 2-26a）、搅拌机的搅拌机构（如图 2-26b）、缝纫机脚踏板机构（如图 2-26c）等机构中。

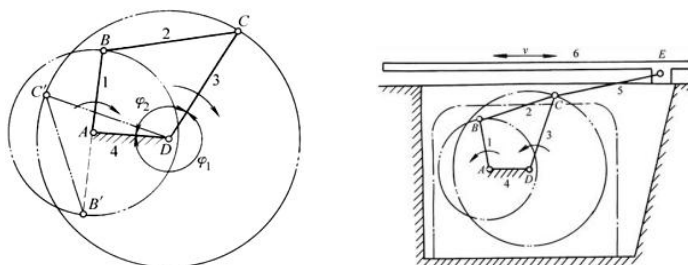


(a) 雷达天线俯仰机构 (b) 搅拌机构 (c) 缝纫机踏板机构

图 2-26 曲柄摇杆机构的应用

2. 双曲柄机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆相对机架都是作整周回转的曲柄，则此四杆机构称为双曲柄机构（如图 2-27a）。在双曲柄机构中，通常主动曲柄作等速转动，从动曲柄作变速转动。如图 2-27b 所示惯性筛机构，主动曲柄 AB 作等速回转时，从动曲柄 CD 作变速转动，使筛子产生加速度，从而使不同材料因惯性不同而筛分。



(a) 双曲柄机构

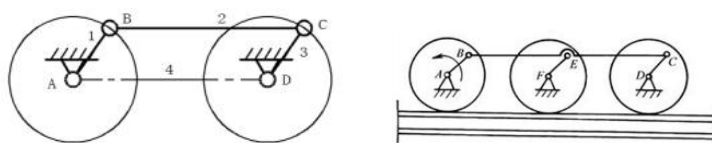
(b) 惯性筛机构

图 2-27 双曲柄机构及应用

在双曲柄机构中，若连杆与机架长度相等，两曲柄长度相等且转身相同，则称为平行四边形机构。如图 2-28a 所示，主动曲柄 AB 和从动曲柄 CD 以相同的角速度同时转动，而连杆 BC 作平行移动。平行双曲柄机构主

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

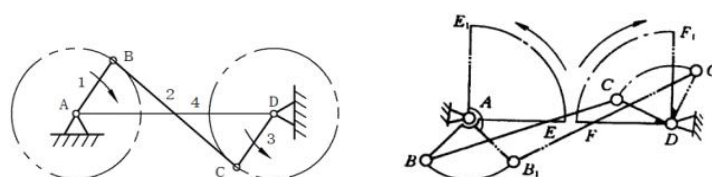
要应用在机车车轮联动机构中，如图 2-28b 所示。



(a) 平行双曲柄机构 (b) 机车车轮联动机构

图 2-28 平行双曲柄机构及应用

在双曲柄机构中，若两曲柄长度相等且转身相反，则称为反向平行双曲柄机构(如图 2-29 a 所示)。如图 2-29 b 所示公共汽车的车门启闭机构，当主动曲柄 AB 转动时，从动曲柄 CD 作相反方向转动，从而使两扇门同时开启或者同时关闭。

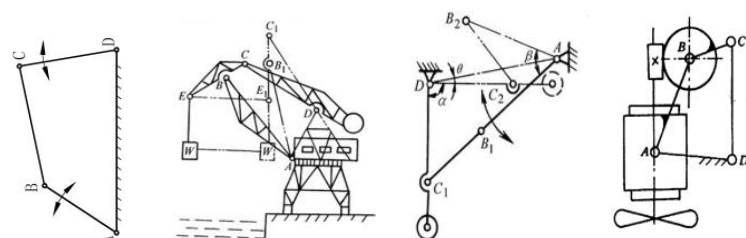


(a) 反向平行双曲柄机构 (b) 公共汽车的车门启闭机构

图 2-29 反向平行双曲柄机构及应用

3. 双摇杆机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为摇杆，则此四杆机构称为双摇杆机构，如图 2-30a 所示。在港口鹤式起重机(如图 2-30b)、飞机起落架(如图 2-30c)、电风扇摇头(如图 2-30d)等机构中均有应用。



(a) 双摇杆机构 (b) 鹤式起重机 (c) 飞机起落架 (d) 电风扇摇头机构

图 2-30 双摇杆机构及应用

(二) 铰链四杆机构曲柄存在的条件及判断方法

铰链四杆机构三种基本形式的根本区别在于两连架杆是否为曲柄，而两连架杆是否为曲柄又与各杆的长度有关。如图 2-31 所示的铰链四杆机构

中，其中杆 4 为机架，设最长杆长度为 l_{\max} ，最短杆长度为 l_{\min} ，其余两杆长度为 l' ， l'' 。

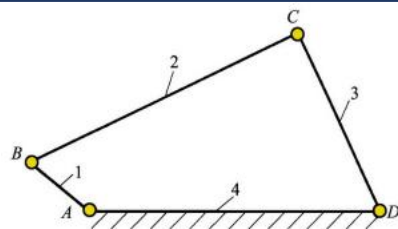


图 2-31 铰链四杆机构

铰链四杆机构中，曲柄存在的条件为：

1.长度和条件：最短杆和最长杆长度之和小于或等于其余两杆长度之和，即：

$$l_{\max} + l_{\min} = l' + l'' \quad (2-2)$$

2.最短杆条件：连架杆和机架中必有一杆为最短杆。

若铰链四杆机构满足长度和条件，则有：

- (1) 以最短杆 1 的相邻杆为机架时得到曲柄摇杆机构。
- (2) 以最短杆 1 为机架时得到双曲柄机构。
- (3) 以最短杆 1 的对边杆为机架时得到双摇杆机构。

若机构不满足杆长和条件，则无论以哪个构件为机架，都只能成为双摇杆机构。

知识点 2 平面四杆机构的演化

在实际机械中，除上述三种基本形式的铰链四杆机构之外，还广泛地采用多种不同外形、构造和特性的四杆机构来满足工作需要。这些类型的四杆机构可以看作是由铰链四杆机构演化而成的。

铰链四杆机构的演化，不仅是为满足运动的要求，还为改善受力状况以及满足结构设计上的需要等。各种演化机构的外形虽然各不相同，但是它们的运动性质以及分析方法却常常是相同或类似的。

(一) 转动副转化成移动副

如图 2-32a 所示，杆 1 为曲柄，杆 3 为摇杆。如果将 CD 的长度增加到无穷大（如图 2-32b 所示），转动副 D 的中心移到无穷远处，则 C 点轨迹变成直线，而转动副变成了移动副，于是曲柄摇杆机构演化成曲柄滑块机构（如图 2-32c）。当 $e=0$ 时，称为对心曲柄滑块机构（如图 2-32c 所示）。当 $e \neq 0$ 时，称为偏置曲柄滑块机构（如图 2-34d）；因此，可以认为曲柄滑块机构是从曲柄摇杆机构通过将转动副转化为移动副演化而来的。内燃机、蒸汽机、往复式抽水机、空气压缩机及冲床等的主机构都是曲柄滑块机构。

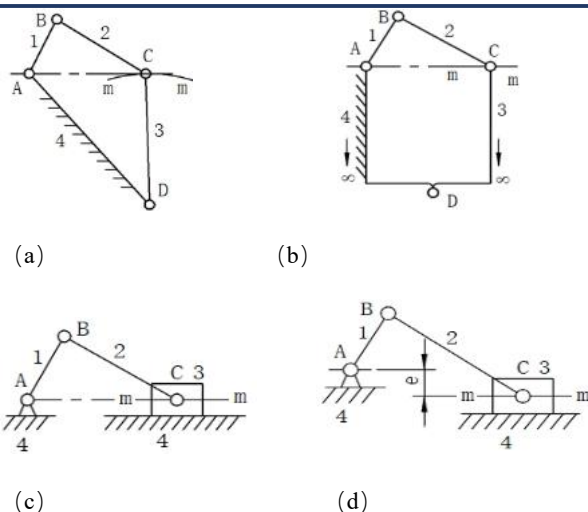


图 2-32 曲柄滑块机构的演化过程

(二) 取不同构件为机架

1. 导杆机构

如果将图 2-32 (c) 所示的曲柄滑块机构中的构件 AB 作为机架，构件 BC 成为曲柄，滑块沿连架杆（又称导杆）移动并做平面运动，则可得到导杆机构。

(1) 当 $AB > BC$ ，且以 BC 为曲柄时，BC 作整周转动，导杆 AC 只作一定角度的摆动，称为摆动导杆机构，如图 2-33a 所示。它可用于牛头刨床、插床和回转油泵中。

(2) 当 $AB \leq BC$ ，且以 BC 为曲柄时，BC 作整周转动，导杆 AC 也作整周转动，称为转动导杆机构，如图 2-33b 所示。它可用于回转式油泵和小型刨床中。

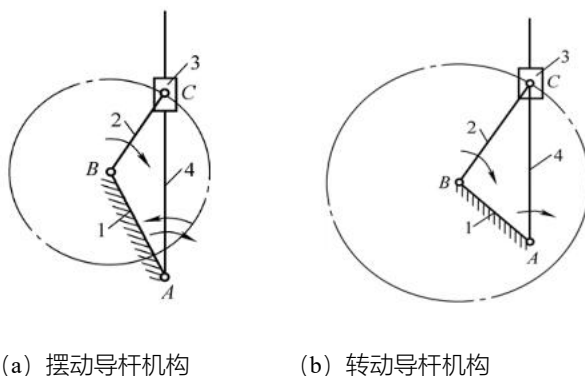
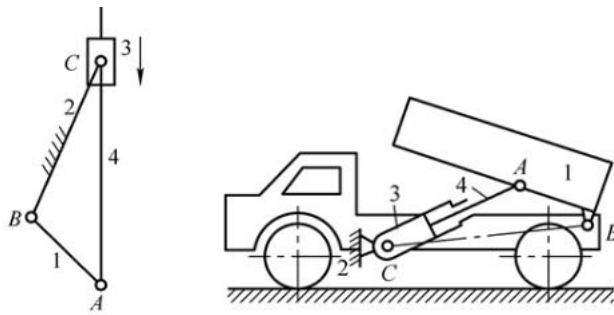


图 2-33 导杆机构

2. 摇块机构

如果选连杆 BC 作为机架，滑块只能绕 C 点转动，则可得如图 2-34 所示

的摇块机构，常用于卡车车厢翻斗机构中。



(a) 运动简图 (b) 翻斗机构

图 2-34 曲柄摇块机构及应用

1-曲柄 2-机架 3-摇块 4-导杆

3. 定块机构

如果取滑块 C 为机架，AB 为主动件，导杆 AC 作往复移动，此机构称为定块机构，又称移动导杆机构，如图 2-35 所示的定块机构，应用于手动抽水机筒和双作用式水泵等机械中。

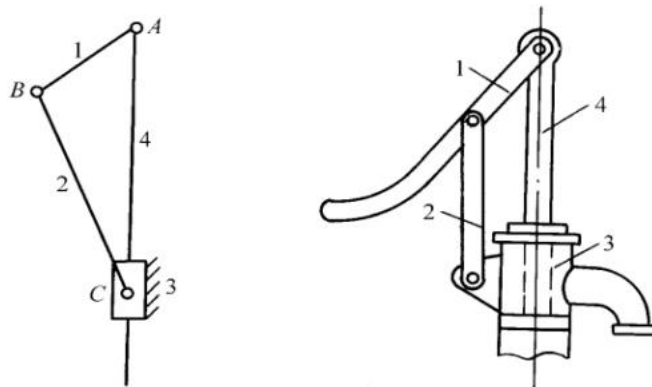


图 2-35 定块机构及应用

(a) 运动简图 (b) 手动压水机

1—曲柄 2—连杆 3—定块 4—导杆

(三) 偏心轮机构

偏心轮机构可以看成是由曲柄滑块机构演化而来的。在曲柄滑块机构或其他含有曲柄的四杆机构中，若要求滑块行程很小，则必须减小曲柄长度。由于结构上的困难，很难在较短的曲柄上造出两个转动副，往往采用转动副中心与几何中心不重合的偏心轮来代替曲柄，如图 2-36 所示。图中偏心轮的几何中心 B 和转动中心 A 之间的距离称为偏心距，用 e 表示，滑块的行程为 $2e$ 。这种将曲柄做成偏心轮形状的平面四杆机构称为

偏心轮机构。偏心轮机构常用于冲床、剪床和颚式破碎机等机械中。

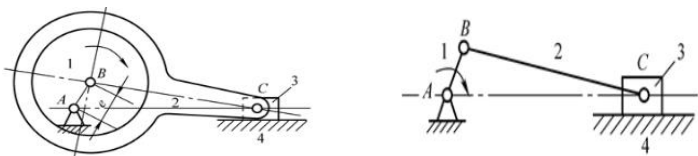


图 2-36 偏心轮机构

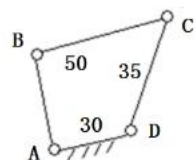
(a) 机构实形 (b) 机构运动简图

1—曲柄 2—连杆 3—滑块 4—机架

知识点 3 实例讲解及练习

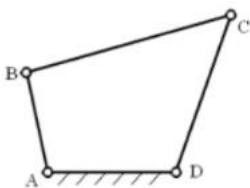
1.图示铰链四杆机构中，已知 $BC=50\text{cm}$ ， $CD=35\text{cm}$ ， $AD=30\text{cm}$ ，求此机构分别为：

(1) 曲柄摇杆机构；(2) 双摇杆机构；(3) 双曲柄机构时， AB 的取值范围？



2.一铰链四杆机构如图所示，已知 $l_{BC}=500\text{mm}$ ， $l_{CD}=350\text{mm}$ ， $l_{AD}=300\text{mm}$ ， AD 为机架，试问：

- (1) 若此机构为曲柄摇杆机构，且 AB 为曲柄，求 l_{AB} 的最大值。
- (2) 若此机构为双曲柄机构，求 l_{AB} 的最小值。
- (3) 若此机构为双摇杆机构，求 l_{AB} 的取值范围。



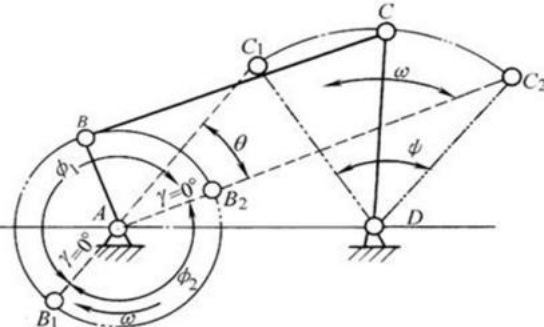
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点22、铰链四杆机构的特点、应用和基本类型23、铰链四杆机构的演化■ 【学生】总结回顾知识点		总结回顾，巩固夯实

作业布置	<p>■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试</p> <p>■ 【学生】完成课后任务</p>	反思学习, 自我提升
教学反思	<p>“无他，唯手熟尔”，通过多个例题的讲解与练习使同学们熟悉熟练平面铰链四杆机构的判断方法，并且通过形象的动画展示了不同类型铰链四杆机构的应用，要是能有真实设备现场观摩学习就更好了。</p>	

机械设计基础授课教案

课题 3：平面机构——平面四杆机构的工作特性与设计（2 课时）

课 题	平面四杆机构的工作特性与设计	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.掌握设计平面连杆机构的基本特性。</p> <p>2.掌握设计平面连杆机构的方法。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能设计简单的平面连杆机构。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重点	教学重点：铰链四杆机构的基本特性	
教学难点	教学难点：图解法设计简单的平面连杆机构	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现 教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯

考 勤	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】提出以下问题： <ol style="list-style-type: none"> 1.复习前次课内容：铰链四杆机构的类型及演化； 2.以牛头刨床的工作特性引入本次课内容。 ■ 【学生】思考、举手回答 	
传授新知	<p>知识点1 平面四杆机构的基本特性</p> <p>对于平面连杆机构不仅要求能够实现预期运动规律且满足机器运动要求，同时希望机构具有良好的运动特性和传力性能。平面四杆机构的某些特性关系到机构的运动情况和性质，有些则关系到机构的受力情况。在进行机构设计时，往往要考虑如下特性。</p> <p>（一）急回特性</p> <p>在图 2-37 所示的曲柄摇杆机构中，取曲柄 AB 为主动件且以角速度 ω 等速转动，曲柄转动一周的过程中，有两次与连杆 BC 共线。这时摇杆 DC 分别处于左、右两个极限位置 DC_1、DC_2。DC_1 与 DC_2 所夹的锐角称为摇杆的摆角，记为 φ；θ 为摇杆处于两极限位置时，曲柄两对应位置所在直线间所夹的锐角，称为极位夹角。φ 和 θ 的大小与机构中各构件的尺寸有关。</p>  <p>图 2-37 曲柄摇杆机构的急回特性</p> <p>由图 2-37 可见，当曲柄 AB 以角速度 ω 由位置 AB_1 等速顺时针转到位置 AB_2 时，曲柄的转角 $\phi_1 = 180^\circ + \theta$，所需时间为 $t_1 = \phi_1 / \omega = (180^\circ + \theta) / \omega$；在同样的时间里，摇杆从 C_1D 摆到 C_2D，C 点的平均速度为 $v_1 = c_1c_2 / t_1$。曲柄继续从 AB_2 顺时针转到 AB_1，转过的角度 $\phi_2 = 180^\circ - \theta$，所需时间为 $t_2 = \phi_2 / \omega = (180^\circ - \theta) / \omega$；在同样的时间里，摇杆从 C_2D 摆回到 C_1D，C 点的平均速度为 $v_2 = c_2c_1 / t_2$。由于 $\phi_1 > \phi_2$，故有 $t_1 > t_2$，$v_2 > v_1$，说明曲柄等速转动时，摇杆往复摆动中返回时速度较大。当曲柄等速转动，摇杆来回摆动的快</p>	通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精

慢不同, 返回时的速度较快, 四杆机构的这种特性称为机构的急回特性。在生产实际中, 一般将慢速运动的行程作为机构的工作行程, 而将快速运动的行程作为机构的空回行程。许多机械利用急回特性来缩短非生产时间, 以提高劳动生产率。机构的急回特性通常用行程速比系数 K 来表示, 即

$$K = \frac{v_2}{v_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{180 + \theta}{180 - \theta} \quad (2-3)$$

由式 2-3 分析可知: 只要 $\theta > 0$, 则 $K > 1$, 机构就存在急回特性; 极位夹角 θ 越大, K 值也越大, 急回特性也越显著。当 $\theta = 0$, 即 $K=1$ 时, 机构没有急回特性。极位夹角 θ 是设计机构的重要参数之一。

(二) 压力角和传动角

在生产实际中往往要求连杆机构不仅能实现预期的运动规律, 而且希望传力性能良好。因此需要讨论机构的传力性能。

如图 2-38 的铰链四杆机构, 若忽略杆件的质量和运动副中的摩擦力、惯性力和重力, 则连杆 BC 可视为二力构件。当主动件为曲柄时, 连杆给摇杆的作用力为 F , 其作用线必与连杆共线, 即沿着杆 BC 方向。力 F 作用点 C 的绝对速度 v_c 的方向与 CD 杆垂直。作用于从动件 CD 的力 F 与 CD 杆上 C 点的速度 v_c 之间所夹的锐角 α 称为压力角。

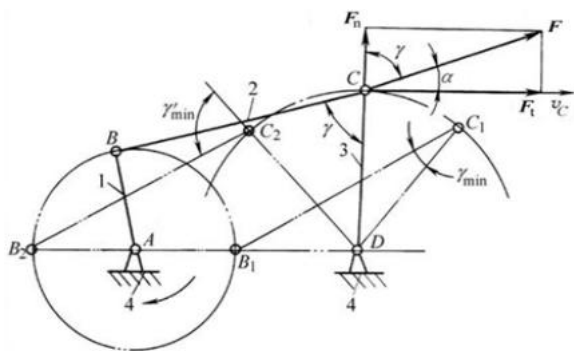


图 2-38 铰链四杆机构压力角和传动角

图 2-38 中, F 的两个分力中 $F_n = F \sin \alpha$ 会引起摩擦力, 是有害分力;

$F_t = F \cos \alpha$ 能推动从动件做有效功, 是有效分力。可见压力角越小, 有效分力越大, 有害分力越小, 机构越省力, 效率越高, 所以压力角 α 是判断机构传力性能的重要参数。传动角 γ 是压力角 α 的余角, 也是判断机构传力性能的参数。机构的传动角越大, 传力性能越好。显然 γ 愈大愈好, 理想情况是 $\gamma = 90^\circ$ 。

为了保证机构的正常传动, 通常应使传动角的最小值 γ_{\min} 大于或等于其许用值 $[\gamma]$ 。

神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

最小传动角的许用值与其受力情况、运动副间隙的大小、摩擦、速度等因素有关。一般机械中, 推荐 $\gamma = 40^\circ \sim 50^\circ$ 。对于传递功率大的机构, 如冲床、鄂式破碎机中的主要执行机构, 为使工作时得到更大效率, 可取 $\gamma_{\min} = [\gamma] \geq 50^\circ$ 。对于一些非传力机构, 如控制、仪表等机构, 也可取 $[\gamma] \leq 40^\circ$, 但不能过小。

(三) 机构的死点位置

图 2-39 所示的曲柄摇杆机构中, 如果摇杆 CD 为主动件, 当机构运动到连杆 BC 与从动曲柄 AB 重叠和拉直共线的位置 AB_1 、 B_1C_1 和 AB_2 、 B_2C_2 时, 若不考虑惯性力、重力和运动副中的摩擦力, 则主动件 CD 通过连杆作用于从动件曲柄 AB 上的力刚好通过其转动中心而出现“卡死”现象。此时无论怎样加大驱动力, 均不能仅靠驱动力的作用使从动件运动, 这种特性称为机构的死点位置。在死点位置, 机构的压力角 $\alpha = 90^\circ$, 传动角 $\gamma = 0$ 。

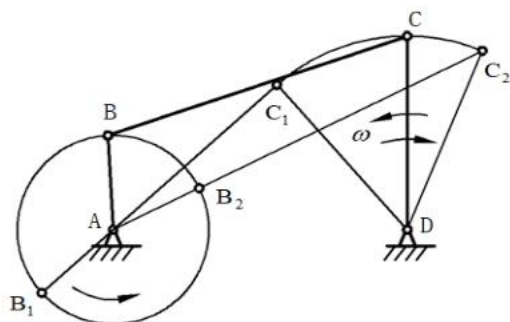


图 2-39 曲柄摇杆机构的死点

由上述可知, 四杆机构中是否存在死点位置, 决定于从动件是否与连杆共线。对于同一机构, 若主动件选择不同, 则有死点的位置情况也不一样。如对于曲柄摇杆机构和曲柄滑块机构, 只有当曲柄为从动件时, 才有死点位置, 且在它的每一整周转动中将出现两个死点位置。

对传动而言, 死点的存在是不利的。为了顺利通过死点位置, 使机构继续正常运转, 可采用以下方法:

1. 采用错位排列的方法, 将两组机构的死点位置互相错开, 从而使曲柄始终获得有效的驱动力矩, 如机车车轮联动机构两组车轮的错位装置 (如图 2-40)。

2. 在输出件上安装飞轮, 利用其惯性通过死点位置, 如缝纫机的踏板为主动件时, 与曲柄固连的大带轮即起飞轮的作用。

在实际机械中, 也常利用死点位置来实现一定的工作要求。对有夹紧或固定要求的机构, 则可在设计中利用死点位置的特点来达到目的。如图 2-41 所示的飞机起落架机构、钻床夹具等。

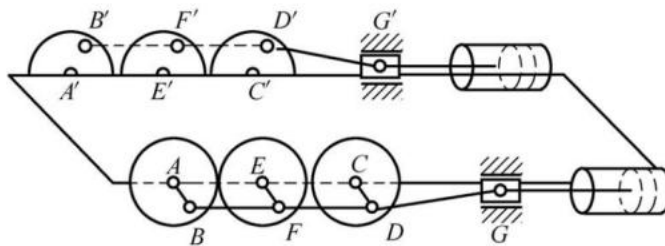


图 2-40 车轮的错位装置

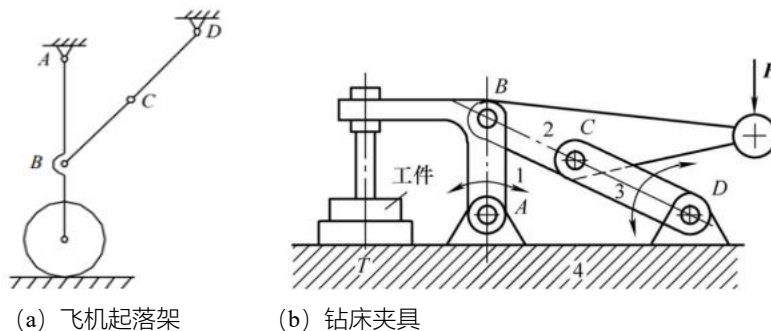


图 2-41 机构死点的应用

知识点 2 平面四杆机构的设计

平面四杆机构的设计是指其运动设计，即根据机构给定的运动要求，在满足几何条件和动力情况下，确定与机构有关的重要尺寸参数及各构件的相对位置，不涉及构件的具体结构。设计时应注意初步选择满足给定运动要求的机构形式，然后进行运动设计。

由于实际机械对机构的要求是各式各样的，因此平面四杆机构的设计方法也不尽相同。一般可归纳为两类基本问题：

1. 实现给定的从动件运动规律：位置、速度和加速度
2. 实现给定的运动轨迹。

平面四杆机构的设计方法有图解法、解析法和实验法。图解法几何关系清晰；解析法精确度高，适用于电子计算机计算；实验法直观、简单，但精度较低，可满足一般设计要求。本节仅介绍图解法。

(一) 按给定的连杆位置设计平面四杆机构

例 2-1 如图 2-45，已知连杆 BC 的长度及其两位置 B_1C_1 、 B_2C_2 ，设计铰链四杆机构。设计过程见表 2-2。

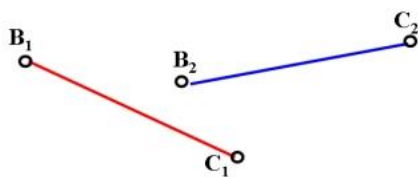
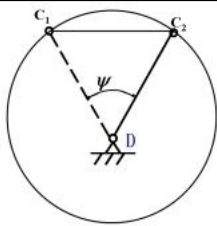
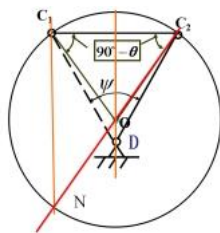
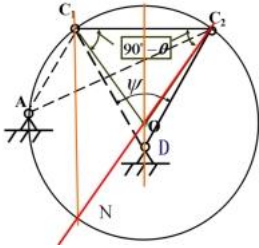
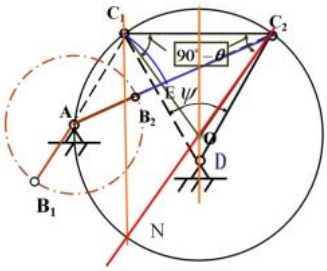


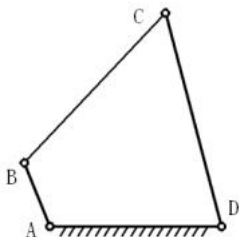
图 2-45 连杆 BC 的长度及已知位置 B_1C_1 、 B_2C_2

表 2-2 给定连杆位置四杆机构的设计

序 号	作 图 步 骤	说 明
1		按连杆 BC 的长度画出连杆 BC 的两已知位置 B_1C_1 、 B_2C_2
2		直线连接点 B_1B_2 ，作直线 B_1B_2 的中垂线。
3		b_{12} 线上任取一点作为铰链 A 的中心。
4		同理，作出铰链 D 的中心。
5		依次直线连接 AB_1C_1D 、 AB_2C_2D ，获得铰链四杆机构任意的两

		位置。
<p>由此可知：给定连杆长度及两位置设计四杆机构时，会有无穷多解。</p> <p>请分析：当已知连杆 BC 的长度和其三个位置 B_1C_1、B_2C_2、B_3C_3 时，会有唯一解吗？</p> <p>(二) 按给定的从动件的行程速比系数 K 设计四杆机构</p> <p>例：设计一曲柄摇杆机构，已知摇杆 CD 的长度为 290mm，摇杆两极限位置间夹角为 $\psi = 32^\circ$，K=1.25，求曲柄 AB 与连杆 BC 的长度。设计过程见表 2-3。</p> <p>表 2-3 曲柄摇杆机构设计过程</p>		
序号	作图步骤	说明
1		<p>由k计算极位夹角 θ，</p> $K = 1.25 = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$ <p>则 $\theta = 20^\circ$</p>
2		<p>任选固定铰链中心D，由摇杆 C=290mm和 $\psi = 32^\circ$ 作出摇杆的两极限位置 C_1D 和 C_2D</p>
3		<p>连接C1 和C2，过C1、C2 作与 C_1C_2 成 $\angle C_1C_2N = 90^\circ - \theta$ 的直线 C_1O、C_2O，得交点O</p>

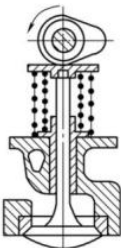
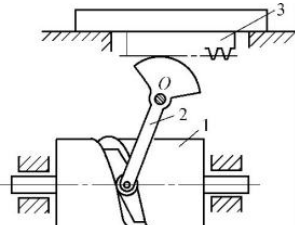
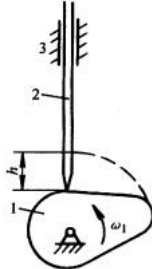
4		<p>以O为圆心，OC_1为半径作圆，在圆弧上任选一点A作为固定铰链中心，连AC_1、AC_2，则</p> $\angle C_1AC_2 = \theta。$	
5		<p>因极限位置处曲柄与连杆共线，</p> <p>故有 $AC_1 = BC - AB$，</p> <p>$AC_2 = BC + AB$，则得：</p> $AB = \frac{AC_2 - AC_1}{2}，$ $BC = \frac{AC_1 + AC_2}{2}。$ <p>以A为圆心，AC_1为半径作圆弧交AC_2于E，平分EC_2，得曲柄长度，再以A为圆心，曲柄长度为半径作圆交AC_1和AC_2的延长线于</p> $B_1、B_2。$	
<p>知识点3 实例讲解及练习</p> <p>如图所示的铰链四杆机构中，已知各构件长度 $L_{AB}=20\text{mm}$，$L_{BC}=60\text{mm}$，$L_{CD}=85\text{mm}$，$L_{AD}=50\text{mm}$，要求：</p> <p>(1) 试判断该机构是否存在曲柄？</p> <p>(2) 若以构件AB为原动件，判断此机构是否存在急回特性。若存在，试确定其极位夹角。</p>			

	(3) 试画出该机构的最小传动角。 (4) 在什么情况下此机构存在死点位置？ 		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 24、平面四杆机构的基本特性 25、平面四杆机构的设计 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习, 自我提升
教学反思	以牛头刨床为例, 通过动画和视频, 讲解了平面机构的重要特性——急回特性, 如果可以直接在实物面前演示操作, 会更具效果。		

机械设计基础授课教案

课题 4：凸轮机构——凸轮机构从动件的运动规律（4 课时）

课 题	凸轮机构从动件的运动规律		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.了解凸轮机构的应用与特点、组成与分类；</p> <p>2.掌握从动件常用的运动规律；</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能根据选定的凸轮类型和从动件运动规律设计凸轮的轮廓曲线。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>		
教学重难点	<p>教学重点：从动件常用的运动规律；</p> <p>教学难点：凸轮轮廓曲线的设计。</p>		
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法		

教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 预习课程内容 ■ 【学生】完成课前任务 	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】提出以下问题: 提问上章节内容运动副的类型, 以及高低副的区别是什么? 以运动副高副的典型代表凸轮机构来引入本次课内容。 ■ 【学生】思考、举手回答 	
传授新知	<p>知识点 1 凸轮机构的应用与特点、组成与分类</p> <p>(一) 凸轮机构的应用与特点</p> <p>凸轮机构结构简单、紧凑, 在机械工业中应用广泛。例如汽车发动机的配气机构 (如图 3-2)、自动机床的进给机构 (如图 3-3) 等。</p> <p>凸轮机构的特点如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 凸轮机构结构简单、紧凑。 (2) 改变凸轮的轮廓曲线, 可实现从动件各种复杂的运动规律。 (3) 凸轮机构可作高速运动, 且动作准确、可靠。 (4) 凸轮机构属于高副机构, 在接触处润滑不良, 容易磨损。 <p>(二) 凸轮机构的组成与分类</p> <p>1. 凸轮机构的组成</p> <p>如图 3-4 所示, 凸轮机构由凸轮 1、从动件 2 和机架 3 三个构件组成。凸轮为主动件, 作等速转动, 从动件随凸轮轮廓的变化作相应的运动。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>图 3-2 内燃机的配气机构图 图 3-3 自动机床的进给机构 图 3-4 凸轮机构的组成</p> <p>2. 凸轮机构的分类</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 按凸轮形状分 	

按凸轮的形状可分为盘形凸轮、圆柱凸轮和移动凸轮。

①盘形凸轮 绕固定轴线转动并具有变化向径的盘形构件，是凸轮的最基本形式，如图 3-5 (a) 所示。

②圆柱凸轮 圆柱凸轮可以看成是由移动凸轮卷绕而成的圆柱体，在圆柱体的顶端有曲线轮廓或在圆柱表面上开有曲线沟槽，如图 3-5 (b) 所示。

③移动凸轮 当盘形凸轮的回转中心趋于无穷远时，凸轮相对机架做直线移动，这种凸轮称为移动凸轮，如图 3-5 (c) 所示。

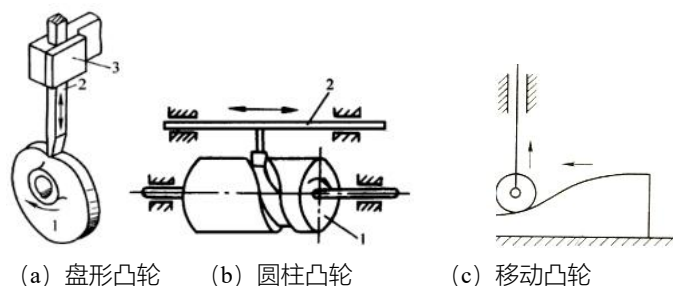


图 3-5 按凸轮形状分

(2) 按从动件末端形状分

按从动件末端形状可分为尖顶从动件、平底从动件、滚子从动件三种。

①尖顶从动件 如图 3-6a 所示，尖底从动件可以与任意复杂的凸轮轮廓保持接触，因而能实现任意预期的运动规律。它的优点是运动副少，结构简单、紧凑，但由于尖底容易磨损，故只适用于轻载、低速的场合，如仪表机构中。

②平底从动件 如图 4-6b 所示。这种从动件形式的结构简单，在凸轮轮廓与从动件底面之间易于形成油膜，有利于润滑，所以磨损小，传动效率较高。常用于高速场合。

③滚子从动件 如图 3-6c 所示。它克服了尖底从动件易磨损的缺点，阻力小，转动灵活，因而也不易磨损。滚子从动件可以承受较大的载荷，是应用较广的一种从动件。

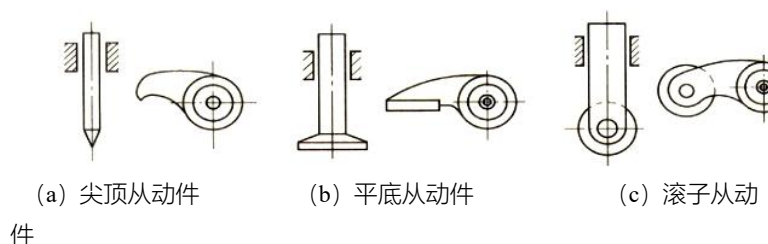


图 3-6 按从动件末端形状分

(3) 按从动件运动形式分

按从动件运动形式可分为直动从动件、摆动从动件，如图 3-7 所示。

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

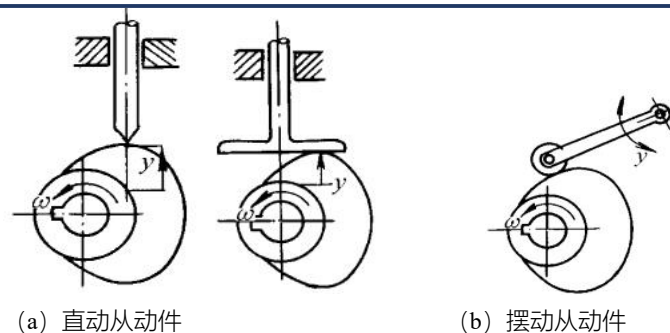


图 3-7 按从动件运动形式分

知识点 2 从动件常用的运动规律

(一) 凸轮机构运动过程及有关名称

如图 3-8a 所示的凸轮机构运动过程图中，从动件在最低位置时尖顶在 A 点。

1. 基圆

以凸轮最小向径作的圆称为基圆，其半径称为基圆半径，用 r_b 表示。

2. 推程、推程运动角

凸轮连续转动，从动件尖端被凸轮轮廓由最低点推至最高点的过程，称为推程。在推程过程中，凸轮所转过的角度，称为推程运动角，用 δ_0 表示。

3. 行程

从动件由最低点上升到最高点的距离，用 h 表示。

4. 远休止、远休止角

凸轮连续转动，从动件尖端在最高点位置不动的过程，称为远休止。

在远休止过程时，凸轮所转过的角度，称为远休止角，用 δ_s 表示。

5. 回程、回程运动角

凸轮连续转动，从动件尖端由最高点回到最低点的过程，称为回程。

在回程过程中，凸轮所转过的角度，称为回程运动角，用 δ'_0 表示。

6. 近休止、近休止角

凸轮连续转动，从动件尖端在最低点位置不动的过程，称为近休止。

在近休止过程时，凸轮所转过的角度，称为近休止角，用 δ'_s 表示。

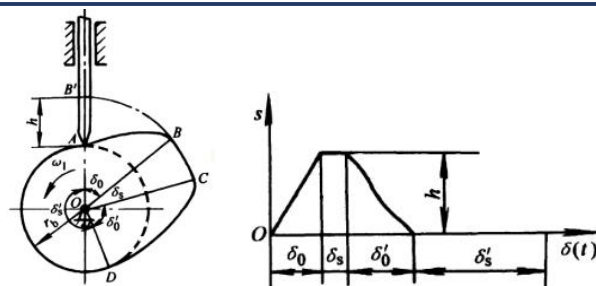


图 3-8 凸轮机构运动过程

(二) 位移线图

从动件的运动过程，可用位移线图表示，如图 3-9 所示。位移线图以从动件位移 S 为纵坐标，凸轮转角 δ 为横坐标。位移线分别表示该机构推程、远休止、回程、近休止 4 个运动过程。

由于凸轮以等角速 ω 转动，转角 $\delta = \omega t$ ， ω 是常数，故位移线图也可以时间 t 为横坐标。

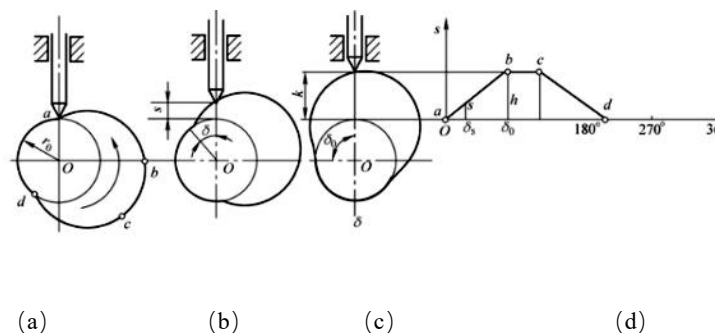


图 3-9 凸轮轮廓与从动件位移曲线

(三) 从动件常用的运动规律

从动件的运动规律是指从动件的位移 S 、速度 v 以及加速度 a 随凸轮转角 δ 的变化规律。常见的运动规律有等速运动规律、等加速等减速运动规律、简谐运动规律等。

1. 等速运动规律

当凸轮以等角速度 ω 转动时，从动件在推程或回程中的速度保持不变的运动规律，称为等速运动规律。

(1) 运动方程

$$\text{位移方程: } S = h\delta / \delta_0 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0)$$

$$\text{速度方程: } v = h\omega / \delta_0 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0)$$

$$\text{加速度方程: } a = 0 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0)$$

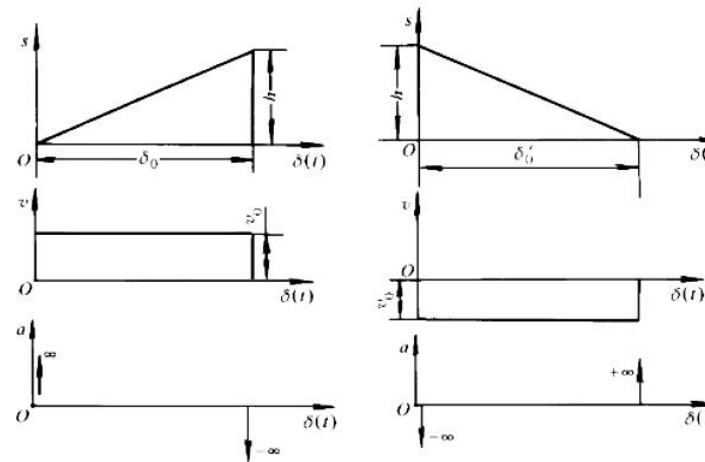
(2) 运动线图

运动线图如图 3-10 所示。位移线图为一斜直线，速度线图为一水平线，加速度线图与水平坐标轴重合。

(3) 运动特性分析

刚性冲击：从动件的瞬时加速度趋于无穷大时，惯性力也趋于无穷大，致使机构产生强烈的冲击，这种冲击称为刚性冲击。

(4) 适用范围：由于产生刚性冲击，故只适用低速、轻载的凸轮机构。



(a) 推程

(b) 回程

图 3-10 运动线图

2. 等加速等减速运动规律

当凸轮以等角速度 ω 转动时，从动件在推程或回程中，前半程为等加速运动，后半程为等减速运动，且加速度的绝对值相等的运动规律，称为等加速等减速运动规律。

(1) 运动方程

① 位移方程

$$\text{加速段: } S = 2h\delta^2 / \delta_0^2 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0 / 2)$$

$$\text{减速段: } S = h - 2h(\delta_0 - \delta)^2 / \delta_0^2 \quad (\delta_0 / 2 \leq \delta \leq \delta_0)$$

② 速度方程

$$\text{加速段: } v = 4h\omega\delta / \delta_0^2 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0 / 2)$$

$$\text{减速段: } v = 4h\omega(\delta_0 - \delta) / \delta_0^2 \quad (\delta_0 / 2 \leq \delta \leq \delta_0)$$

③ 加速度方程

加速段: $a = 4h\omega^2 / \delta_0^2 \quad (0 \leq \delta \leq \delta_0 / 2)$

减速段: $a = -4h\omega^2 / \delta_0^2 \quad (\delta_0 / 2 \leq \delta \leq \delta_0)$

(2) 运动线图

运动线图如图 3-11 所示。

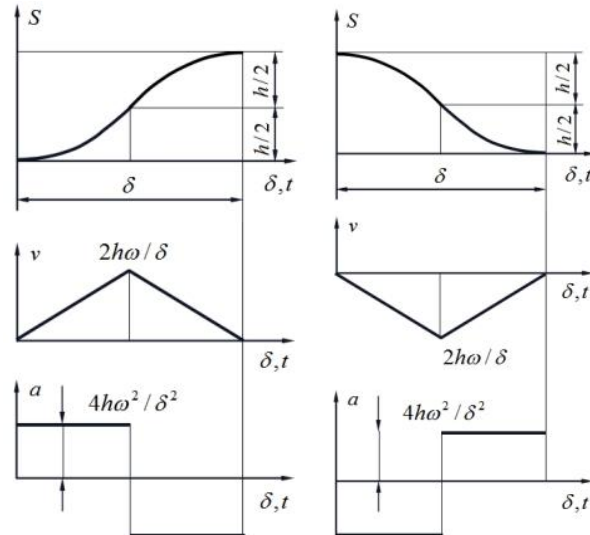


图 3-11 运动线图

(3) 运动特性分析

柔性冲击: 从动件的瞬时加速度发生有限值变化, 惯性力也发生有限值变化, 机构由此受到的冲击称为柔性冲击。

(4) 适用范围: 由于存在柔性冲击, 故仅适用中、低速场合。

3. 简谐运动规律

当一质点在圆周上作匀速运动时, 它在该圆直径上的投影所形成的运动称为简谐运动。如图 3-12a 所示, 设以从动件升程 h 为直径作一圆, 显然从动件的位移方程为:

$$s_2 = \frac{h}{2}(1 - \cos \theta)$$

由图可知, 当 $\theta = \pi$ 时, $\delta = \delta_t$, 故得 $\theta = \frac{\pi}{\delta_t} \delta$, 代入上式或导出从动件推程时所作简谐运动的运动方程为:

①位移方程

$$s_2 = \frac{h}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{\delta_t} \delta\right) \right]$$

②速度方程

$$v_2 = \frac{\pi h \omega_1}{2 \delta_t} \sin\left(\frac{\pi}{\delta_t} \delta\right)$$

③加速度方程

$$a_2 = \frac{\pi^2 h \omega_1^2}{2\delta_t^2} \cos\left(\frac{\pi}{\delta_t} \delta\right)$$

图 3-12 是按照上述公式作出的简谐运动规律运动线图。由加速度曲线看出从动件的加速度按余弦规律变, 所以也称为余弦加速度运动规律。简谐运动规律存在柔性冲击, 适用于中速场合。但从动件作无停歇的升—降—升连续往复运动时, 则得到连续的余弦曲线, 运动中完全消除了柔性冲击, 这种情况下可用于高速传动。

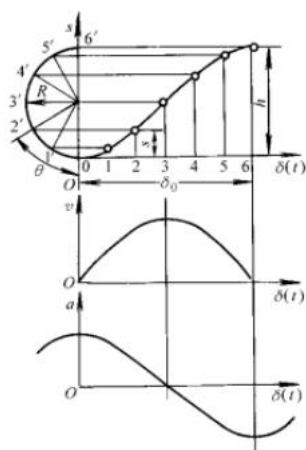


图 3-12 简谐运动线图

知识点 3 实例讲解及练习

章节测试

强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 26、凸轮机构的应用与特点、组成与分类 27、从动件常用的运动规律 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾, 巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习, 自我提升
教学反思	大多学生没有凸轮机构的概念, 从网站上找了一些视频和动画, 使学生们直观了解了凸轮机构的工作原理和一些应用场合, 从而更好的理解了凸轮机构从动件的运动规律取决于凸轮的轮廓形状。		

机械设计基础授课教案

课题 4：凸轮机构——盘形凸轮轮廓曲线的设计（4 课时）

课 题	盘形凸轮轮廓曲线的设计	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 4 课时
教学目标	知识目标： 1.掌握从动件常用的运动规律； 2.掌握反转法原理。 能力目标： 1.能根据选定的凸轮类型和从动件运动规律设计凸轮的轮廓曲线。 素质目标： 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。	
教学重难点	教学重点： 从动件常用的运动规律； 教学难点： 凸轮轮廓曲线的设计。	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	■ 【教师】布置课前任务,让同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务 预习课程内容 ■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	■ 【教师】提出以下问题: 提问上节课知识点,凸轮机构的分类,常用的从动件运动规律及应用场合? ■ 【学生】思考、举手回答	
传授新知	知识点 1 盘形凸轮轮廓的设计 凸轮轮廓曲线的设计方法有解析法和图解法。解析法要借助计算机辅助设计来求得凸轮轮廓,计算量大但轮廓精确,可用数控机床进行加工,多用于精密或高速凸轮机构的设计。图解法则简单直观,但不够精确,只适用于精度要求较低的凸轮以及一些圆弧直线凸轮。本节只介绍图解法。 (一) 图解法设计凸轮的原理	

图解法设计凸轮轮廓采用反转法。反转法原理如下：

假设给整个机构加上一个与凸轮角速度 ω 方向相反的角速度 $-\omega$ （如图 3-13），则凸轮处于相对静止状态。而从动件连同机架一起以公共角速度 $-\omega$ 绕 O 轴转动。而凸轮与从动件的相对运动关系保持不变，故从动件及机架都将角速度 $-\omega$ 绕 O 点反向转动，同时从动件相对于机架仍按给定的运动规律做往复直线移动，从动件的尖顶始终与凸轮的轮廓曲线接触，故从动件尖顶的运动轨迹就是凸轮的轮廓曲线。

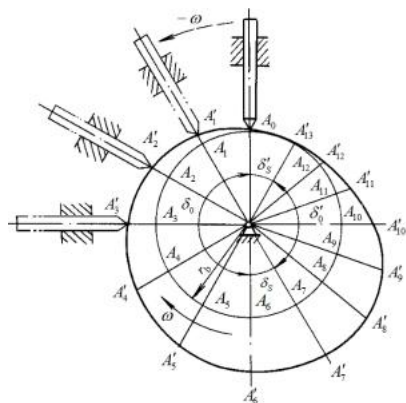


图 3-13 反转法

（二）尖顶对心直动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计

已知凸轮基圆半径 $r_b = 30\text{mm}$ ，当凸轮转动时，在 $0^\circ \sim 120^\circ$ 范围内从动件匀速上升 20mm ，在 $120^\circ \sim 180^\circ$ 范围内从动件停止不动，在 $180^\circ \sim 270^\circ$ 范围内从动件匀速下降至半径为 30mm 处，继续转动至原处。试绘制此凸轮轮廓曲线（如图 3-14）。

作图步骤：

（1）选取适当的比例尺 μ_l ，作出从动件的位移线图，如图 3-14（a）所示。

（2）按与位移线图相同的比例尺，以 r_b 为半径作基圆。基圆与导路的交点为 A ，即为从动件尖顶的起始位置。

（3）在基圆上，自 OA 开始，沿 $-\omega$ 方向依此量取推程角 120° ，远停程角 60° ，

回程角 90° ，近停程角 90° ，并将推程角、回程角分成与位移线图对应的若干

等份，得 1、2、3、...各点，联接 $O1$ 、 $O2$ 、 $O3$ 、...各径向线并延长，得到从动件导路在反转过程中的一系列位置线。

（4）沿各位置线自基圆向外量取 $11'=11'$ 、 $22'=22'$ 、 $33'=33'$ 、...，由此得尖顶从动件反转过程中的一系列位置 $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、...

（5）用光滑曲线将 $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、...连接起来，即得到所设计的凸轮轮廓曲线，如图 3-14（b）所示。

通过教师引导提问
——学生思考解答
——教师讲解——
学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

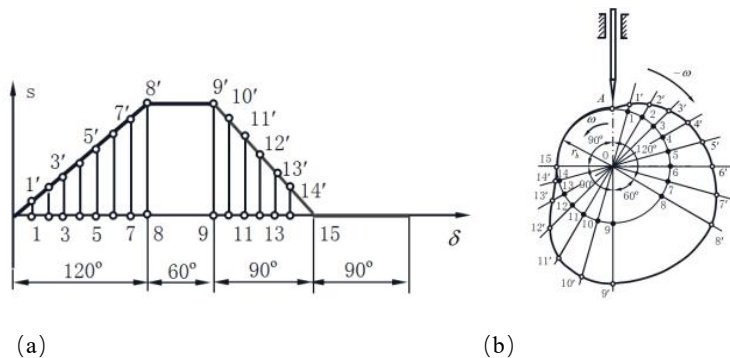


图 3-14 凸轮轮廓曲线

(三) 滚子对心直动从动件盘形凸轮轮廓线设计

如果从动件端部为滚子，设滚子半径为 r_T ，则作图步骤如下：

1. 将滚子中心看作尖顶从动件的尖顶，按设计尖顶从动件凸轮轮廓的方法作出滚子中心相对于凸轮的运动轨迹曲线，称为凸轮的理论轮廓线。
2. 如图 3-15 所示，以理论轮廓线为圆心，以 r_T 为半径作一系列圆，作一系列圆的内侧包络线（图中粗实线），即为凸轮实际轮廓线。

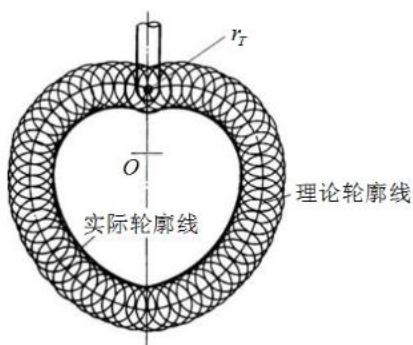


图 3-15 滚子对心直动从动件盘形凸轮轮廓线设计

知识点 2 凸轮压力角 α 的校核与基圆半径 r_b 的选择

如图 3-16 所示，忽略从动件与凸轮接触处的摩擦，凸轮对从动件的作用力 F 沿接触点 A 的法线方向，直动从动件的速度 v 沿导路方向，定义从动件所受的作用力 F 与受力点速度 v 之间所夹的锐角，称为凸轮机构的压力角，用 α 表示。

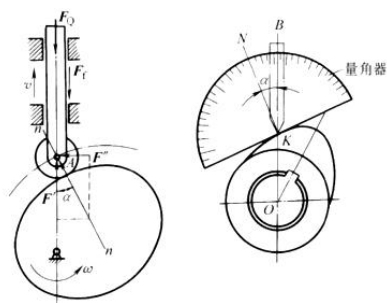


图 3-16 凸轮机构的压力角

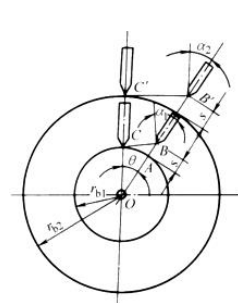


图 3-17 基圆半径与压力角

研究表明，当从动件的运动规律相同时，对应点的压力角 α 与基圆半径

r_b 等有关。如图 3-17 所示，基圆半径 r_b 较大的凸轮对应点的压力角 α 较

小，传动性能好，但结构尺寸较大；当基圆半径 r_b 较小时，压力角 α 较

大，容易引起自锁，但结构比较紧凑。因此，必须要限制最大压力角

α_{\max} ，使 α_{\max} 小于许用压力角 $[\alpha]$ 。基圆半径的确定可按运动规律、

许用压力角由图 3-18 诺模图求得。

一般推荐许用压力角 $[\alpha]$ 的数值如下：

直动从动件的推程： $[\alpha] \leq 30^\circ \sim 40^\circ$

摆动从动件的推程： $[\alpha] \leq 40^\circ \sim 50^\circ$

在空回行程： $[\alpha] = 70^\circ \sim 80^\circ$ 。

凸轮机构的 α_{\max} ，可在作出的凸轮轮廓图中测量；也可根据从动件的

运动规律、运动角 δ_0 和 h/r_b 的比值，由图 3-18 诺模图查得。

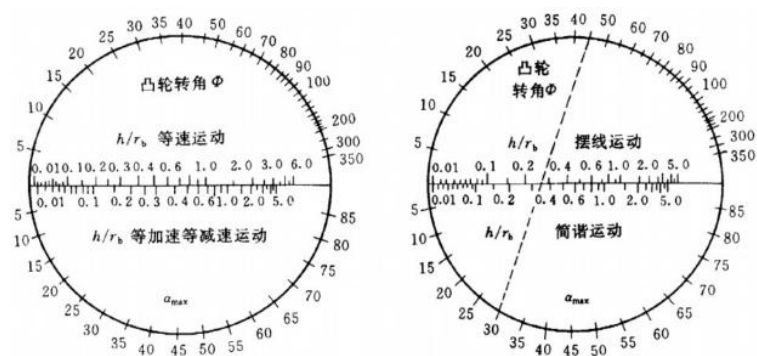


图 3-18 诺模图

知识点 3 凸轮机构的材料与结构

当载荷不大、低速时可选用 HT250、HT300、QT800-2、QT900-2 等作为

	<p>凸轮的材料。</p> <p>中速、中载的凸轮常用 45、40Cr、20Cr、20CrMn 等材料，并经表面淬火。</p> <p>高速、重载凸轮可用 40Cr，表面淬火，或用 38CrMoAl，经渗氮处理。</p> <p>滚子的材料可用 20Cr，经渗碳淬火，也可用滚动轴承作为滚子。</p> <p>对于凸轮轴结构（凸轮与轴做成一体），凸轮工作轮廓的最小半径 $(r_b - r_T)$ 应比轴的半径大 2 ~ 5mm；对于凸轮与轴分开的结构，$(r_b - r_T)$ 应比轮毂半径大 30% ~ 60%。</p> <p>知识点 4 实例讲解及练习</p> <p>试设计一尖顶对心直动从动件盘形凸轮机构。凸轮顺时针匀速转动，基圆半径 $r_b=50\text{mm}$，其行程 $h=30\text{mm}$，从动件的运动规律为：</p> <table><tr><td>δ</td><td>$0^\circ \sim 120^\circ$</td><td>$120^\circ \sim 180^\circ$</td><td>$180^\circ \sim 270^\circ$</td><td>$270^\circ \sim 360^\circ$</td></tr><tr><td>运动规律</td><td>等速上升</td><td>停止</td><td>等加速等减速下降</td><td>停止</td></tr></table>		δ	$0^\circ \sim 120^\circ$	$120^\circ \sim 180^\circ$	$180^\circ \sim 270^\circ$	$270^\circ \sim 360^\circ$	运动规律	等速上升	停止	等加速等减速下降	停止	
δ	$0^\circ \sim 120^\circ$	$120^\circ \sim 180^\circ$	$180^\circ \sim 270^\circ$	$270^\circ \sim 360^\circ$									
运动规律	等速上升	停止	等加速等减速下降	停止									
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错											
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习											
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>28、盘形凸轮轮廓的设计</p> <p>29、凸轮压力角与基圆的选择</p> <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】总结回顾知识点		总结回顾，巩固夯实										
作业布置	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】完成课后任务		反思学习，自我提升										
教学反思	用反转法来设计盘形凸轮轮廓曲线，讲解中要靠大家的想象理解能力，能有个实物教具演示就完美了。												

机械设计基础授课教案

课题 5：间歇机构 （4 课时）

课 题	间歇机构	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.了解棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构的工作原理与类型。</p>	

	<p>2.了解各种间歇机构的运动特点及其在机械与仪表中的应用。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能设计简单的间歇机构</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点：间歇机构的工作原理与应用。</p> <p>教学难点：槽轮机构的运动特性和运动设计。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题：</p> <p>提问复习凸轮机构相关知识，以自动车床转塔刀架机构引入本章节间歇机构概念及特点。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>当主动件作连续运动时，从动件作周期性的运动和停歇，这类机构称为间歇机构，也称为步进机构。主要类型包括棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构等。</p> <p>间歇机构广泛应用在各种自动化机械中，用来满足送进、制动、转位、分度、超越等工作要求。</p> <p>知识点 1 棘轮机构的组成与工作原理</p> <p>(一) 棘轮机构的组成</p> <p>棘轮机构主要由摇杆、棘爪、棘轮和机架组成，如图 4-2 所示。在棘轮机构中，棘轮多为从动件，由棘爪推动。而棘爪的运动则可用连杆机构、凸轮机构或电磁装置等来实现。</p> 	

图 4-2 棘轮机构

1-棘轮 2-驱动棘爪 3-摇杆 4-曲柄 5-止回棘爪 6-机架

(二) 棘轮机构的工作原理

典型的棘轮机构如图 4-2 所示, 该机构称为轮齿式外啮合棘轮机构。由棘轮 1、驱动棘爪 2、摇杆 3 和曲柄 4、止回棘爪 5、机架 6 以及弹簧等组成。棘轮 1 固装在传动轴上, 棘轮轮齿可制作在棘轮的外缘或内缘上, 通常制作在外缘的居多。摇杆 3 空套在传动轴上。当摇杆沿逆时针方向摆动时, 驱动棘爪 2 嵌入棘轮 1 的齿间, 推动棘轮转动。当摇杆沿顺时针方向转动时, 止回棘爪 4 嵌入棘轮齿间并阻止棘轮顺时针转动, 同时驱动棘爪在棘轮齿背上滑过, 此时棘轮静止不动。当摇杆往复摆动时, 棘轮便得到单向的间歇运动。

(三) 棘轮机构的类型

1. 单动式棘轮机构

如图 4-2 所示棘轮机构中, 主动摇杆往复摆动一次, 棘轮只能单向间歇转过某一角度, 这种棘轮机构称为单动式棘轮机构。按啮合方式可分为外啮合棘轮机构 (图 4-3a) 和内啮合棘轮机构 (图 4-3b)。

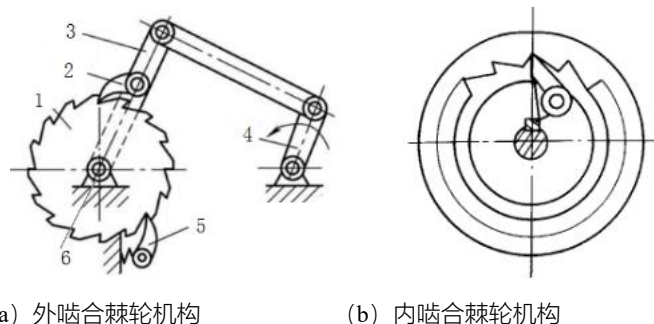


图 4-3 单动式棘轮机构

2. 双动式棘轮机构

如图 4-4 所示的棘轮机构中, 摇杆来回摆动时, 棘轮都能够向同一方向转动, 这种棘轮机构称为双动式棘轮机构。此种机构的棘爪可以制成钩头的 (图 4-4a) 或直的 (图 4-4b)。

3. 双向棘轮机构

如果要求棘轮能作不同转向的间歇运动, 则可把棘轮的齿作成矩形, 而将棘爪作成可翻转的棘爪。如图 4-5 所示的双向棘轮机构, 当棘爪处在图示 B 的位置时, 棘轮可得到逆时针方向的单向间歇运动; 而当棘爪绕其销轴 A 翻转到虚线位置时, 棘轮可以得到顺时针方向的单向间歇运动。牛头刨床工作台横向进给棘轮机构就是采用双向棘轮机构。

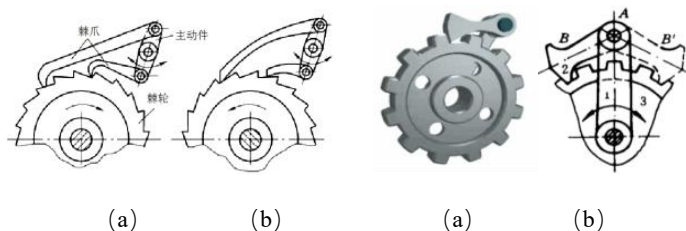


图 4-4 双动式棘轮机构

图 4-5 双向棘轮机构

4. 摩擦式棘轮机构

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解, 层层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

摩擦式棘轮机构是通过棘爪与棘轮之间的摩擦力实现转动,如图 4-6 所示。特点:与齿式棘轮机构相比,摩擦式棘轮机构能无级调节棘轮转角的大小,而且降低了棘轮机构的冲击和噪声。

(四) 棘轮转角的调节

齿式棘轮机构中,棘轮的转角可以进行有级调节,常用的方法有两种。

1. 改变摇杆的摆角

通过调节曲柄摇杆机构中曲柄的长度,改变摇杆摆角的大小,从而实现棘轮机构转角大小的调整。如图 4-7 所示。



图 4-6 摩擦式棘轮机构

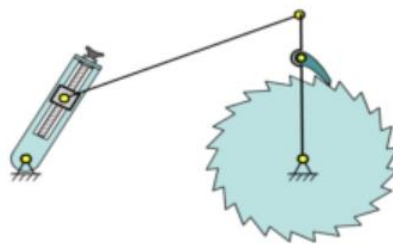


图 4-7 调整摆角改变棘轮转角

2. 用覆盖罩调节棘轮转角

通过改变棘轮罩的位置,使部分行程棘爪沿棘轮罩表面滑过,从而实现棘轮转角大小的调整。如图 4-8 所示。

(五) 棘轮机构的特点及应用

轮齿式棘轮机构结构简单、运动可靠,棘轮的转角容易实现有级调节;回程时,棘爪在棘轮齿背上滑过产生噪声;在运动开始和终了时,由于速度突变而产生冲击,运动平稳性差,且棘轮轮齿容易磨损,故常用于低速轻载等场合。摩擦式棘轮传递运动较平稳、无噪声,棘轮角可以实现无级调节,但运动准确性差,不宜用于运动精度高的场合。

棘轮机构常用在各种机床和自动进给机构以及某些千斤顶上。此外,在卷扬机、提升机及运输设备中还常作停止器或制动器用。如图 4-9 所示的卷扬机棘轮停止器。当卷筒 3 带动工件 5 上升到所需的高度位置时,卷筒 3 停止转动。为了防止卷筒 3 的逆转,棘爪 2 依靠弹簧 1 嵌入棘轮 4 的轮齿凹槽中,从而防止卷筒在任意位置停留时产生逆转,以保证起重工作安全可靠。

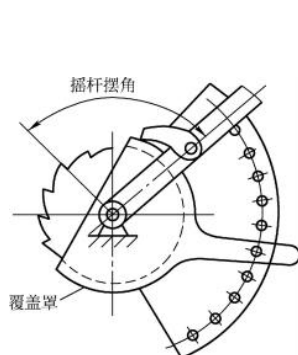


图 4-8 遮覆盖罩改变棘轮转角

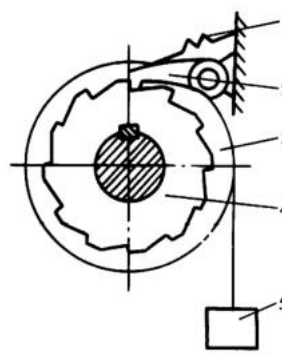


图 4-9 卷扬机棘轮机构

知识点 2 槽轮机构的结构组成、工作原理、应用、运动特性和运动设计

(一) 槽轮机构的组成与分类

槽轮机构由主动拨盘、从动槽轮和机架组成,如图 4-10 所示。槽轮机构有外槽轮机构、内槽轮机构和空间槽轮机构三种类型,如图 4-11 所示。

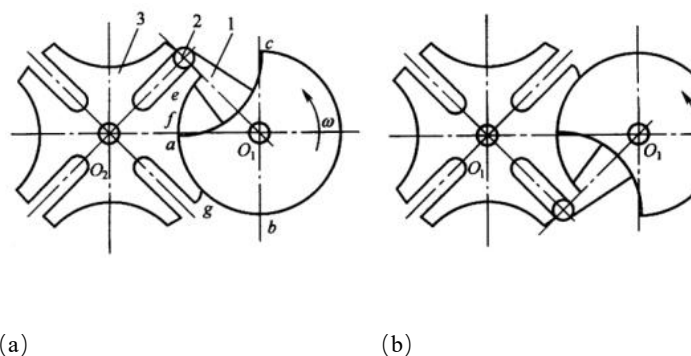


图 4-10 槽轮机构

1-主动拨盘 2-圆销 3-从动槽轮

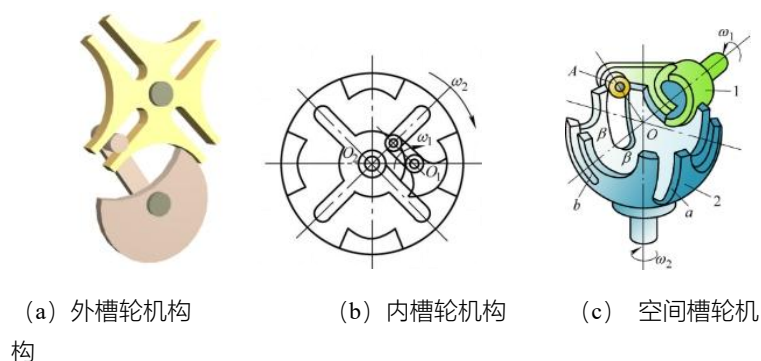


图 4-11 槽轮机构类型

(二) 槽轮机构的工作原理

如图 4-10 所示为一单圆销外啮合槽轮机构。槽轮机构工作时,拨盘为主动件并以等角速度连续回转,从动槽轮作时转时停的间歇运动。当圆销 2 未进入槽轮的径向槽时,由于槽轮的内凹锁止弧被拨盘的外凸圆弧卡住,故槽轮静止不动。当圆销 2 刚开始进入槽轮径向槽时(图 4-10a),这时锁止弧刚好被松开,随后槽轮因受圆销 2 的驱使沿反向转动。当圆销 2 开始脱出槽轮的径向槽时(图 4-10b),槽轮的另一内凹锁止弧又被曲柄的外凸圆弧卡住,致使槽轮又静止不动,直到圆销 2 进入下一径向槽,又重复上述运动。这样拨盘每转一周,槽轮转过一个角度。

(三) 槽轮机构的特点及应用

槽轮机构结构简单,外形尺寸小,工作可靠。与棘轮机构相比,其加工精度要求较高,因而制造成本比棘轮机构高。因轮槽的转角大小不能调节,圆销与槽轮间冲击较严重,尤其是在槽轮径向槽数目较少的情况下更为明显,因此在设计槽轮机构时不能将槽轮的槽数选得很少。在生产

实际中常选槽数为 4~8。槽轮机构不适用于高速传动，一般用于转速不高、转角不需要调节的自动转位和分度机械中。如电影放映机的卷片机构（如图 4-12）。

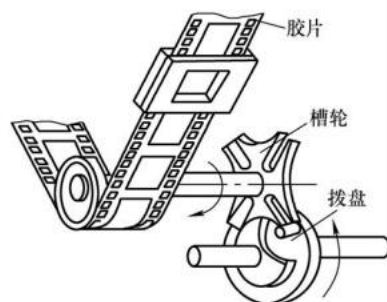


图 4-12 电影放映机卷片机构

（四）槽轮机构的运动特性和运动设计

1. 槽轮槽数 z 的选择

在图 4-13 所示的外槽轮机构中，为避免圆销与外径向槽发生冲击，圆销进入径向槽或从径向槽脱出时，径向槽的中心线应与圆销速度方向一致。即有 $O_1A \perp O_2A$ ，由此可得圆销从进槽到出槽的转角 $2\alpha_1$ 与槽轮相应转过的角度 $2\varphi_2$ 的关系为：

$$2\alpha_1 + 2\varphi_2 = \pi$$

槽轮转角与槽数 z 的关系为：

$$2\varphi_2 = \frac{2\pi}{z}$$

两式联立解得：

$$2\alpha_1 = \pi - 2\varphi_2 = \pi - \frac{2\pi}{z} \quad (4-1)$$

对于单圆销的外槽轮机构，拨盘转一周的时间为一个工作循环的时间，用 T 表示，设一个工作循环中槽轮的运动时间为 t_m ，定义 $\lambda = t_m / T$ ， λ 为槽轮机构运动系数。要实现间歇运动，机构应满足： $0 < \lambda < 1$ 。由于 $t_m = 2\alpha_1 / \omega_1$ 及 $T = 2\pi / \omega_1$ ，因此单圆销外槽轮机构的运动系数为：

$$\lambda = \frac{t_m}{T} = \frac{2\alpha_1 / \omega_1}{2\pi / \omega_1} = \frac{2\alpha_1}{2\pi} = \frac{z-2}{2z} \quad (4-2)$$

分析式 (4-2) 可知：

(1) 由于槽轮机构运动系数必须大于零，可得槽轮的槽数 $z \geq 3$ 。

(2) 对于单圆销外槽轮机构, 由于 $z \geq 3$, 所以 $\lambda < 1/2$, 即槽轮运动时间总是小于静止时间, 且 z 较小时 λ 也较小。槽轮回转时机器一般不进行加工, 所以 λ 越小, 槽轮运动时间越少, 即缩短了机器非加工时间, 提高了生产率。

但是, 圆销刚进入径向槽时, 槽轮的角速度 ω_2 为零, 然后角速度逐渐增大, 当圆销转过 α_1 时 (槽轮转过 φ_2 时), 槽轮角速度 ω_2 达到最大值。由于槽轮角加速度的存在, 故必有冲击, 且槽轮槽数越少, 角加速度越大。

2. 圆销数 k 的选择

若要使拨盘转一周而槽轮转几次, 则可采用多圆销槽轮机构。若设圆销数为 k , 则运动系数 λ 为:

$$\lambda = \frac{k(z-2)}{2z} \quad (4-3)$$

由于 $\lambda < 1$, 则得:

$$k < \frac{2z}{z-2} \quad (4-4)$$

由式 (4-4) 得圆销数与槽轮槽数的关系为:

当 $z = 3$ 时, $k < 6$, 可取 $k = 1 \sim 5$;

当 $z = 4$ 或 5 时, $k < 4$, 可取 $k = 1 \sim 3$;

当 $z > 6$ 时, $k < 3$, 可取 $k = 1$ 或 2 。

槽数 $z > 9$ 的槽轮机构比较少见, 因为当中心距一定时, z 越大, 槽轮的尺寸也越大, 转动时的惯性矩也增大。另由公式 (4-3) 可知, 当 $z > 9$ 时, 槽数虽增加, λ 的变化却不大, 起不到明显的作用, 故槽数 z 常取 $4 \sim 8$ 。

3. 槽轮机构的基本尺寸

按受力情况和实际机械所允许的安装空间和尺寸, 确定中心距 L 和圆销半径 r , 再按照几何关系求出其他尺寸:

$$R = L \sin \varphi_2 = L \sin(\pi / z)$$

$$s = L \cos \varphi_2 = L \cos(\pi / z)$$

$$h \geq s - (L - R - r)$$

拨盘轴的直径 d_1 及槽轮轴的直径 d_2 受以下条件限制:

$$d_1 \leq 2(L - s)$$

$$d_2 \leq 2(L - R - r)$$

锁止弧的半径大小根据槽轮轮叶齿顶厚度 b 来确定,通常取 $b=3 \sim 10\text{mm}$ 。

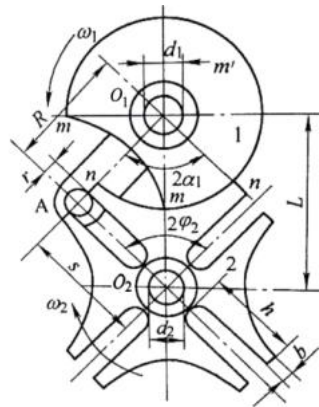
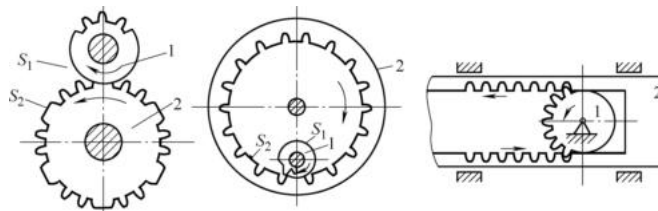


图 4-13 外槽轮机构

知识点 3 不完全齿轮机构的结构组成、工作原理与应用

（一）不完全齿轮机构的组成和类型

不完全齿轮机构是由普通的齿轮机构演变成的间歇机构，它由主动轮、从动轮和机架组成。类型有外啮合不完全齿轮机构、内啮合不完全齿轮机构、不完全齿轮齿条机构等，如图 4-14 所示。



(a) 外啮合不完全齿轮机构 (b) 内啮合不完全齿轮机构 (c) 不完
全齿轮齿条机构

图 4-14 不完全齿轮机构 1-主动轮 2-从动轮

（二）不完全齿轮机构的工作原理

不完全齿轮机构的主动轮只有一个或几个齿, 从动轮具有若干个与主动轮相啮合的轮齿及锁止弧, 可实现主动轮的连续转动和从动轮的停歇转动。在图 4-14 (a) 所示的外啮合不完全齿轮机构中, 主动轮 1 上有

	<p>3 个齿，从动轮 2 的圆周上有六个运动段和六个停歇段，而每个运动段有三个齿间与主动轮轮齿相啮合，主动轮转一周，从动轮转 1/6 周，从而实现当主动轮连续转动时，从动轮作转向相反的间歇转动。</p> <p>（三）不完全齿轮机构的特点及应用</p> <p>不完全齿轮机构与其他机构相比，结构简单，制造方便，从动轮的运动时间和静止时间的比例可不受机构结构的限制。但由于齿轮传动为定传动比运动，所以从动轮从静止到转动或从转动到静止时，速度有突变，冲击较大，因此，一般只用于低速或轻载场合。</p> <p>不完全齿轮机构常用于多工位自动机和半自动机工作台的间歇转位或某些间歇进给机构中。图 4-15 采用不完全齿轮机构实现工作台转位功能。</p> <div></div> <p>图 4-15 工作台转位机构</p> <p>1-主动件 2-主动不完全齿轮 3-工作台 4-从动不完全齿轮 5-从动轴</p>		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>30、棘轮机构的组成与工作原理</p> <p>31、槽轮机构的结构组成、工作原理、应用、运动特性和运动设计</p> <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】总结回顾知识点		总结回顾，巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课后作业 <p>学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】完成课后任务		反思学习，自我提升
教学反思	网上找来了棘轮和槽轮机构的动画演示，及典型代表应用的视频，比如电影放映机卷片机构，同学们更好的了解了虽然二者都是属于间歇机构，但二者之间的不同点在哪。		

机械设计基础授课教案

课题 6：常用连接——螺纹连接与螺旋传动（2 课时）

课 题	螺纹连接与螺旋传动
-----	-----------

课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.掌握螺纹联接主要参数的选择与计算；</p> <p>2.掌握螺纹联接的预紧和防松措施；</p> <p>3.掌握螺栓联接强度计算；</p> <p>能力目标：</p> <p>能够正确选择螺纹联接的主要参数；</p> <p>能够处理螺纹联接的预紧和防松；</p> <p>能够掌握提高螺纹联接强度的措施；</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>		
教学重难点	<p>教学重点：螺纹联接类型及应用；螺纹联接的预紧和防松</p> <p>教学难点：螺纹联接强度计算与设计</p>		
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法		
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪		
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置		
教学过程	主要教学内容及步骤		设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>		养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>		遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题：</p> <p>1.提问复习前次课内容：间歇机构相关知识</p> <p>2.以减速箱结构图提问引入本次课内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>		机器由于有许
传授新知	<p>知识点 1 螺纹联接</p> <p>为便于机器的制造、安装、运输及维修，机器各零部件间广泛采用各种联接。其中螺纹联接应用最广泛，起紧固联接作用，是一种可拆卸的联接。</p> <p>（一）螺纹的形成</p> <p>一动点在圆柱体的表面上，一边绕轴线等速旋转，同时沿轴向作等速移动的轨迹称为螺旋线。</p> <p>一平面图形沿螺旋线运动，运动时保持该图形通过圆柱体的轴线，就得到螺纹（如图 7-2）。</p>		



图 7-2 螺纹的形成

(二) 螺纹的分类、特点和应用

螺纹有外螺纹和内螺纹之分，共同组成螺纹副使用（如图 7-3）。起联接作用的螺纹称为联接螺纹，起传动作用的螺纹称为传动螺纹。按螺纹的旋向可分为左旋和右旋（如图 7-4），常用右旋螺纹。螺纹的螺旋线数分单线、双线及多线（如图 7-5），联接螺纹一般用单线。螺纹又分为米制和英制两类，我国除管螺纹外，一般都采用米制螺纹。

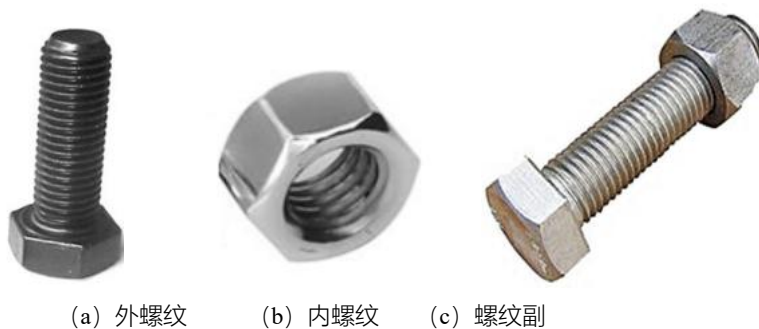
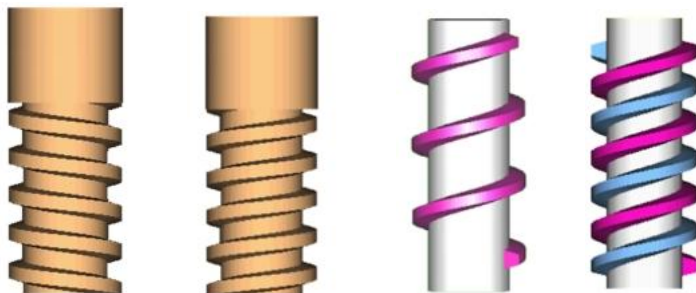


图 7-3 螺纹




(a) 左旋 (b) 右旋 (a) 单线 (b) 双线

图 7-4 螺纹旋向

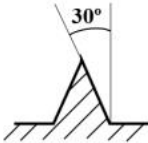
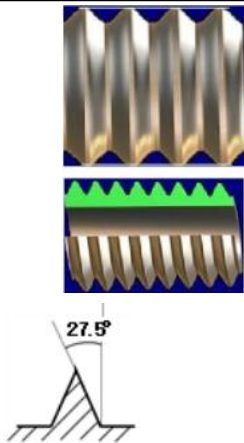
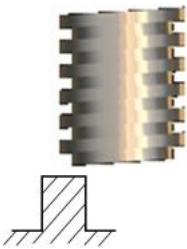
图 7-5 螺纹线数

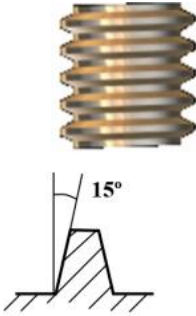
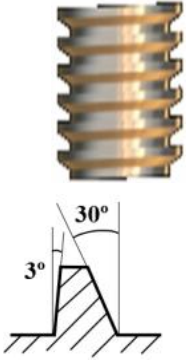
常用螺纹的类型、特点和应用见表 7-1 所示。

表 7-1 常用螺纹的类型、特点和应用

类型		牙 型	特 点 和 应 用
联 接 螺 纹	普 通 螺 纹		牙型角 $\alpha = 60^\circ$ ， 当量摩擦系数大，自锁 性能好，螺纹牙根部较 厚，强度高，应用广泛。

许多螺钉的连接和固定，才成了一个坚实的整体，才能运转自如，从而发挥巨大的工作能力。螺钉虽小，其作用是不可估量的，“螺丝钉”精神是不可缺少和需要发扬的。

				<p>同一公称直径，按螺距大小分为粗牙和细牙，常用粗牙。细牙的螺距和升角小，自锁性能较好，但不耐磨，易滑扣，常用于薄壁零件，或受动载荷和要求紧密性的联接，还可用于微调机构等。</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。</p>
		圆柱管螺纹		<p>牙型角 $\alpha = 55^\circ$，公称直径近似为管子孔径，以英寸为单位，螺距以每英寸的牙数表示。牙顶牙底呈圆弧，牙高较小。螺纹副的内外螺纹间没有间隙，联接紧密。常用于低压的水、煤气、润滑或电线管路系统中的联接。</p>	
		圆锥管螺纹		<p>牙型角 $\alpha = 55^\circ$，与圆柱管螺纹相似，但螺纹分布在 1:16 的圆锥管壁上。旋紧后，依靠螺纹牙的变形使联接更为紧密，主要用于高温、高压条件下工作的管子联接。如汽车、工程机械、航空机械，机床的燃料、油、水、气输送管路系统。</p>	
	传动螺纹	矩形螺纹		<p>螺纹牙的剖面多为正方形，牙厚为螺距的一半，牙根强度较低。因其摩擦系数较小，效率较其他螺纹为高，故多用于传动。但难于精确加工，磨损后松动、间隙难以补偿，对中性差，常用梯形螺纹代替。</p>	

	梯形螺纹		牙型角 $\alpha = 30^\circ$, 效率虽较矩形螺纹低, 但加工较易,对中性好, 牙根强度较高, 用剖分 螺母时, 磨损后可以调 整间隙, 故多用于传动。
	锯齿形螺纹		工作面的牙边倾斜 角为 3° , 便于铣制; 另 一边为 30° , 以保证螺 纹牙有足够的强度。它 兼有矩形螺纹效率高和 梯形螺纹牙强度高的优 点, 但只能用于承受单 向载荷的传动。

(三) 螺纹的主要参数

如图 7-6 所示, 在普通螺纹基本牙型中, 外螺纹直径用小写字母表示, 内螺纹直径用大写字母表示。普通螺纹主要参数如下。

1.大径 (d, D) : 与外螺纹牙顶 (或内螺纹牙底) 相重合的假想圆柱面的直径, 也称为公称直径。

2.小径 (d_1, D_1) : 与外螺纹牙底 (或内螺纹牙顶) 相重合的假想圆柱面的直径, 在强度计算中作危险剖面的计算直径。

3.中径 (d_2, D_2) : 在轴向剖面内牙厚与牙间宽相等处的假想圆柱面的直径, 近似等于螺纹的平均直径, $d_2 \approx 0.5(d + d_1)$ 。

4.螺距 (P) : 相邻两牙在中径圆柱面的母线上对应两点间的轴向距离。

5.导程 (S) : 同一螺旋线上相邻两牙在中径圆柱面的母线上的对应两点间的轴向距离

6.线数 (n) : 螺纹螺旋线数目, 一般为便于制造 $n \leq 4$; 螺距、导程、线数之间关系: $S = nP$

7.螺旋升角 (ψ) : 在中径圆柱面上螺旋线的切线与垂直于螺旋线轴线的平面的夹角。

8.牙型角 (α) : 螺纹轴向平面内螺纹牙型两侧边的夹角;

9.牙侧角 (β) : 牙侧角 β 指螺纹牙型的侧边与螺纹轴线的垂直平面的夹角, $\beta = \alpha/2$ 。

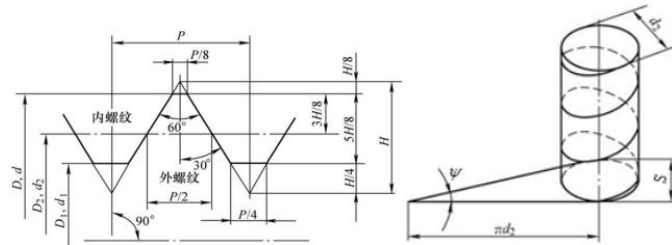


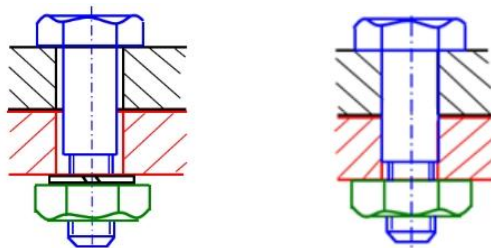
图 7-6 螺纹常用参数

(四) 螺纹联接的基本类型和螺纹联接件

1. 螺纹联接的基本类型与特点

(1) 螺栓联接

如图 7-7a 所示为普通螺栓联接, 被联接件的孔中不切制螺纹, 螺栓与孔之间有间隙。普通螺栓联接因加工简便, 装拆方便, 成本低, 所以应用最广。如图 7-7b 为铰制孔用螺栓联接, 被联接件上孔用高精度铰刀加工而成, 螺栓杆与孔之间一般采用过渡配合, 主要用于需要螺栓承受横向载荷或需靠螺栓精确固定被联接件相对位置的场合。



(a) 普通螺栓连接 (b) 铰制孔螺栓连接

图 7-7 螺栓连接

(2) 双头螺柱联接

双头螺柱两端均有螺纹, 一端旋入并紧定在较厚被联接件的螺纹孔中, 另一端穿过较薄被联接件的通孔 (如图 7-8)。适用于被联接件较厚, 要求结构紧凑和经常拆装的场合。

(3) 螺钉联接

螺钉直接旋入被联接件的螺纹孔中, 结构较简单, 适用于被联接件之一较厚, 或另一端不能装螺母的场合 (如图 7-9)。但经常拆装会使螺纹孔磨损, 导致被联接件过早失效, 所以不适用于经常拆装的场合。

(4) 紧定螺钉联接

将紧定螺钉拧入一零件的螺纹孔中, 其末端顶住另一零件的表面 (如图 7-10), 或顶入相应的凹坑中。常用于固定两个零件的相对位置, 并可传递不大的力或转矩。

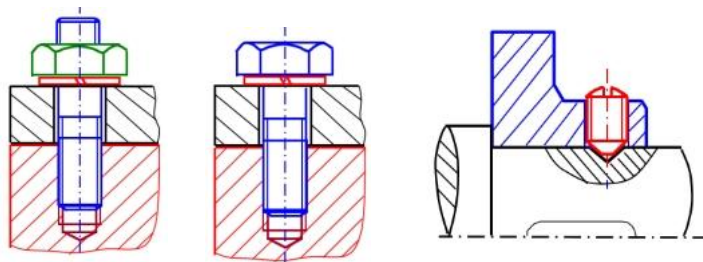


图 7-8 双头螺柱联接 图 7-9 螺钉连接 图 7-10 紧定螺钉连接

(五) 螺纹联接的预紧和防松

1. 螺纹联接的预紧

一般螺纹连接在装配时都要进行螺母拧紧，因为拧紧可增加连接的刚度、紧密性及提高防松能力，提高螺栓的疲劳强度。尤其是普通螺栓连接，应该使螺栓在承受工作载荷之前受到较大的拧紧力的作用，该拧紧力称为预紧力 F' ，预紧力的大小对普通螺栓的工作有很大的影响。预紧力过大，会使螺栓连接超载；预紧力不足，又有可能使连接失效，因此重要的螺纹连接，在装配时对预紧力应进行控制。

(1) 拧紧力矩 T

在预紧螺栓联接时，加在扳手上的力矩 T 必须克服螺旋副中的螺纹力矩 T_1 和螺母与支撑面之间的摩擦力矩 T_2 ，即拧紧力矩 $T = T_1 + T_2$ 。对于 M10 ~ M60 的普通粗牙螺纹，拧紧力矩 T (N·mm) 与预紧力 F' (N) 之间的关系可近似按下式计算：

$$T = 0.2 F' d$$

式中， d 为螺栓直径，mm。

(2) 预紧力的控制

- a. 凭经验控制；
- b. 测力矩扳手，如图 7-11 所示；
- c. 定力矩扳手，如图 7-12 所示；
- d. 测定伸长量。

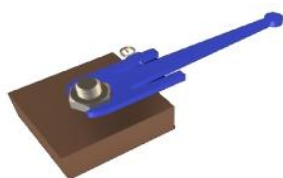


图 7-11 测力矩扳手

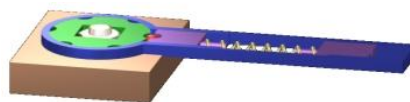


图 7-12 定力矩扳手

2. 螺纹联接的防松

螺纹连接一般具有自锁性，此外螺母及螺栓头部的支撑面上的摩擦力也有防松作用，故拧紧后一般不会松脱。但在冲击、振动或变载荷作用下，以及在高温或温度变化较大时，螺纹副之间的摩擦力会瞬时减小或消失，联接就可能松动。防松的关键就是防松螺旋副的相对转动。螺纹联接防松有摩擦防松、机械防松和不可

拆联接防松。

(1) 摩擦防松

摩擦防松有弹簧垫圈防松、对顶螺母防松、自锁螺母防松等方法。

- 1) 弹簧垫圈：如图 7-13a 所示；利用收口的弹力使旋合螺纹间压紧。
- 2) 对顶螺母：如图 7-13b 所示；增加摩擦防松。
- 3) 自锁螺母：如图所示 7-13c；增加摩擦防松。

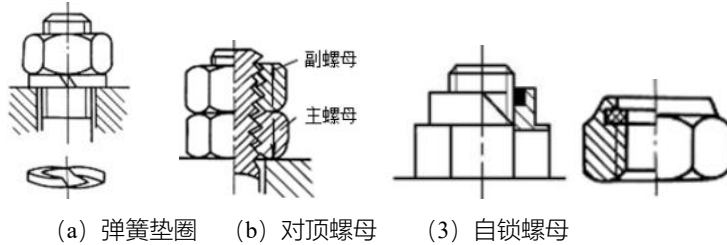


图 7-13 摩擦防松

(2) 机械防松

机械防松有开槽螺母与开口销防松、圆螺母与止动垫圈防松、串联钢丝防松、带翅垫片防松等方法，如图 7-14 所示。

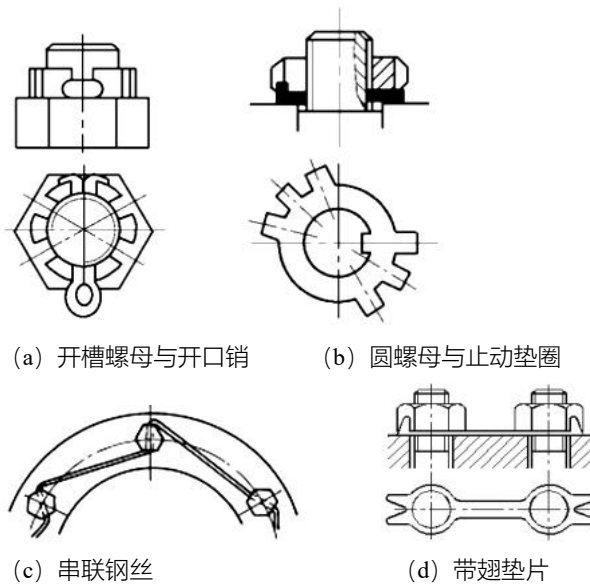


图 7-14 机械防松

(3) 不可拆联接防松

不可拆联接防松方式有胶粘、冲点、点焊等，如图 7-15 所示。

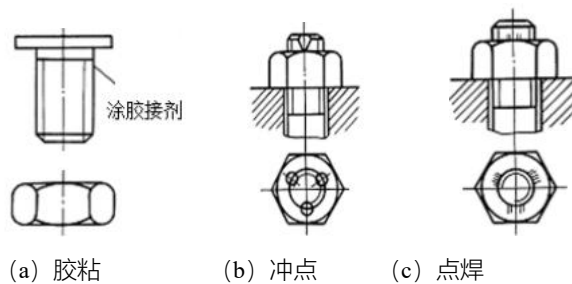


图 7-15 不可拆联接防松

(六) 螺栓组连接的结构设计

1. 螺栓组连接结构设计要求

- (1) 连接接合面的几何形状通常设计成轴对称简单几何形状
- (2) 螺栓的布置应使各螺栓的受力合理
- (3) 螺栓排列应有合理的间距、边距
- (4) 分布在同一圆周上的螺栓数目应成偶数
- (5) 避免螺栓承受附加的弯曲载荷
- (七) 螺栓连接的强度计算

螺栓联接强度计算的目的，主要是根据联接的结构形式、材料性质和载荷状态等条件，分析螺栓的受力和失效形式，然后按相应的计算准则计算螺纹小径 d_1 ，再根据标准选定螺纹公称直径 d 和螺距 P 等。螺栓其余部分尺寸及螺母、垫圈等，一般都可根据公称直径 d 直接从标准中选定，因为在制定标准时，已经考虑了螺栓、螺母各部分及垫圈的强度和制造、装配等要求。

需要说明的是，螺栓联接、螺钉联接和双头螺柱联接的失效形式和计算方法基本相同。因此，本节对螺栓联接计算的讨论，其结论对螺钉联接和双头螺柱联接也基本适用。

1. 松螺栓联接

松螺栓联接的特点是装配时不拧紧螺母，在承受工作载荷前，联接并不受力。这种联接只能承受静载荷，故应用不广。

当承受轴向工作载荷 F 时，螺纹部分的强度条件为：

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \leq [\sigma] \quad (7-1)$$

设计公式为：

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma]}} \quad (7-2)$$

式中： d_1 —螺杆危险截面直径 (mm) ；

$[\sigma]$ —许用拉应力， (MPa) ；

σ_s —材料屈服极限 MPa ；

n —安全系数， $[\sigma] = \sigma_s / n$ 。

2. 紧螺栓联接

紧螺栓联接 (包括受横向载荷、轴向载荷及铰制孔用螺栓联接) 装配时需要拧紧，

这种拧紧称为预紧。螺栓拧紧后，螺栓上作用有预紧力 F_0 ，在被联接件的接合面上则形成正压力，进而产生摩擦力，由摩擦力来平衡横向载荷。

紧螺栓联接在拧紧螺母时，螺栓杆除沿轴向受预紧力 F_0 的拉伸作用外，还受螺纹力矩的扭转作用。为了简化计算，可将螺栓所受的轴向力增大 30%，以考虑扭转切应力的影响。如图 7-19 所示，工作时联接受到与螺栓轴线相垂直的外载荷 F_Σ 的作用。被联接件在预紧力的作用下相互压紧，依靠结合面产生的摩擦力来抗衡外载荷，从而避免产生相对移动。显然，无论工作前还是工作后，螺栓本身仅受装配时由于拧紧螺母而产生的预紧力和螺纹副阻力矩的作用。预紧力使螺栓危险截面上产生拉应力。

$$F_0 f z m \geq K F_R$$

$$F_0 \geq K F_R / f z m$$

式中： z —联接螺栓的数目；

m —结合面数目；

f —结合面间摩擦系数，对于钢或铸铁的干燥加工表面，可取

$$f = 0.1 \sim 0.15;$$

K —可靠性系数，亦称防滑系数，通常取 $K = 1.1 \sim 1.3$ 。

因此，单个螺栓所需的预紧应力为： $\sigma = 4 F_0 / \pi d_1^2$ ，若计入扭转切应力的影响，则强度条件为：

$$\sigma = \frac{1.3 F_\Sigma}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \leq [\sigma] \quad (7-3)$$

设计公式为：

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{1.3 \times 4 \times F_\Sigma}{\pi [\sigma]}} \quad (7-4)$$

式中： $[\sigma]$ —许用拉应力， MPa 。

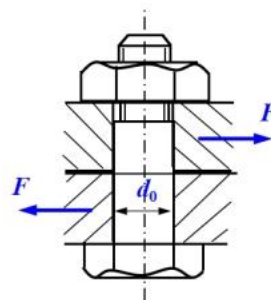
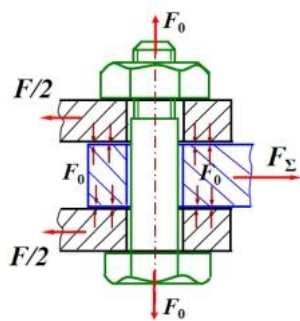


图 7-19 受横向外载荷的紧螺栓连接 图 7-20 受横向外载荷的铰制孔螺栓

连接

3.采用铰制孔用螺栓

铰制孔用螺栓联接一般均需拧紧,由预紧力产生的拉应力对联接强度的影响可以不计。如图 7-20 所示螺栓杆受横向工作载荷 F 时,剪切强度条件为:

$$\sigma_p = \frac{F}{d_0 L_{\min}} \leq [\sigma_p] \tag{7-5}$$

螺栓杆或孔壁的挤压强度条件:

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_0^2} \leq [\tau] \tag{7-6}$$

式中: d_0 —螺栓杆剪切面直径 (mm) ;

$[\tau]$ —螺栓的许用剪切应力 (MPa) , 从表 7-4 查取;

$[\sigma_p]$ —螺栓杆或孔壁中的低强度材料的许用挤压应力 (MPa) ;

L_{\min} —螺栓杆与孔壁间的最小高度。

知识点 2 螺旋传动的工作原理、分类、特点及应用

螺旋传动由螺杆 (也称丝杆) 和螺母组成,主要用来将主动件的回转运动转变为从动件的直线运动,同时传递运动和动力。

螺旋传动按其用途和受力情况可分为传力螺旋、传导螺旋、调整螺旋三种类型:

(1) 传力螺旋

以传递动力为主,要求用较小的力矩产生较大的轴向推力。传力螺旋多用在工作时间较短、速度较低的场合,通常需有自锁能力。如螺旋千斤顶 (如图 7-21) 和螺旋压力机等。

(2) 传导螺旋

以传递运动为主,并要求有较高的运动精度,速度较高且能较长时间连续工作,如机床进给螺旋机构 (如图 7-22) 。

(3) 调整螺旋

用于调整并固定零、部件之间的相互位置,如螺旋测微器中的螺旋 (图 7-23) 。上述螺旋传动一般采用梯形螺纹,单向受力传动时亦可采用锯齿形螺纹,次要场合则可采用矩形螺纹。螺旋传动由于结构简单,运转平稳无噪声,易于制造,容易实现自锁,因此应用广泛。但摩擦损失大,传动效率较低。如果采用滚动螺旋传动,则能使螺旋传动得到很大改善。

在调整螺旋中,有时要求当主动件转动时,从动件作微量移动,此时可用差动螺旋。如图 7-24 为微调差动螺旋工作原理图,螺杆 1 的 A 段螺距为 P_A , B 段螺

距为 P_B ，且 $P_A > P_B$ 。当两段螺旋的旋向相同时，如转动螺杆 1 转过 φ 角，螺

杆 1 相对于螺母 3 前移 $L_A = P_A \frac{\varphi}{2\pi}$ ，则螺母 2 相对于螺杆 1 后移

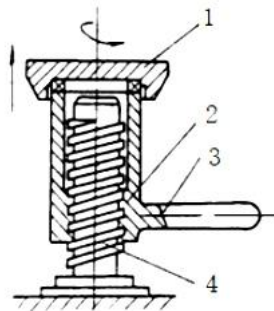
$L_B = P_B \frac{\varphi}{2\pi}$ ，因此螺母 2 相对于螺母 3 前移的距离 L 为：

$$L = L_A - L_B = (P_A - P_B) \frac{\varphi}{2\pi} \quad (7-7)$$

反之，如果 A、B 两段螺旋的旋向相反，则：

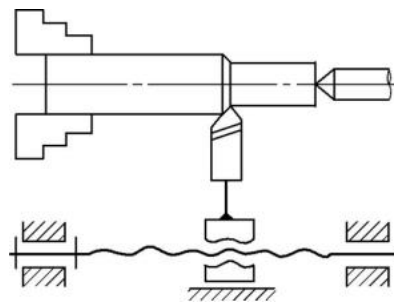
$$L = L_A + L_B = (P_A + P_B) \frac{\varphi}{2\pi} \quad (7-8)$$

螺母 2 将作快速移动。如图 7-25 所示的螺旋拉紧器就是一实例。



1-托盘 2-螺母 3-手顶 4-螺杆

图 7-21 螺旋千斤顶



1-螺杆 2-螺母 3-机架 4-工作台

图 7-22 机床进给螺旋机构

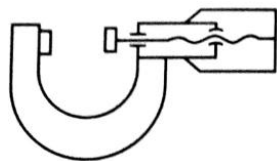


图 7-23 螺旋测微器

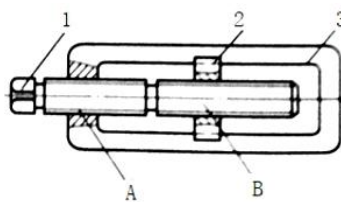


图 7-24 微调差动螺纹

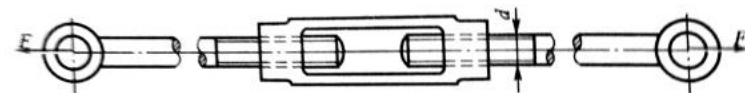


图 7-25 螺旋拉紧器

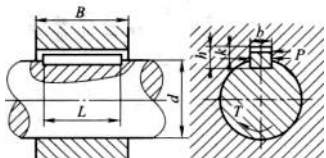
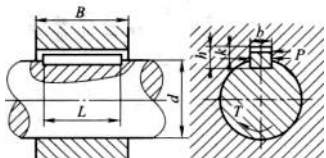
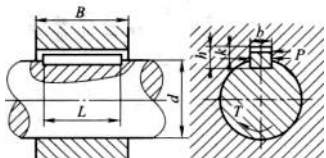
如图 7-26 所示，将螺杆与螺母的螺纹凹处做成钢球的滚道，滚道内放满钢球，当螺杆转动时，钢球一个接一个沿滚道循环滚动，螺旋副构件间形成滚动摩擦，这种螺旋称为滚动螺旋。滚动螺旋摩擦阻力小，效率高，运转平稳，但结构复杂，制造困难，成本高。它多用于汽车和拖拉机的转向机构、数控精密机床及飞机起落架的控制机构中。

	<div style="text-align: center;">  <p>(a) 外循环式 (b) 内循环式</p> </div> <p style="text-align: center;">图 7-26 滚动螺旋传动</p> <p>知识点 3 实例讲解及练习</p> <p>1.为什么螺纹联接要采用防松措施?螺纹联接防松措施有哪些?</p> <p>2.用四个铰制孔螺栓联接两个半凸缘联轴器, 螺栓均布在直径为 20 mm 的圆周上, 轴上转矩为 100 N·m, 试求每个螺栓受的横向力各为多少?</p>	
强化训练	<div> <div>变式训练</div> <div> <div>■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练</div> <div>■ 【学生】黑板板演</div> <div>■ 【教师】巡视纠错</div> </div> </div>	
	<div> <div>课堂达标</div> <div> <div>■ 【教师】布置练习题</div> <div>■ 【学生】练习</div> </div> </div>	
课堂小结	<div> <div>■ 【教师】简要总结本节课的要点</div> <div>32、螺纹连接:类型特点、预紧防松、强度计算</div> <div>33、螺纹传动</div> <div>■ 【学生】总结回顾知识点</div> </div>	总结回顾, 巩固 夯实
作业布置	<div> <div>■ 【教师】布置课后作业</div> <div>完成练习题与学习通章节测试</div> <div>■ 【学生】完成课后任务</div> </div>	反思学习, 自我 提升
教学反思	本节课课程思政非常符合主题, 机器由于有许许多多螺钉的连接和固定, 才成了一个坚实的整体, 才能运转自如, 从而发挥巨大的工作能力。螺钉虽小, 其作用是不可估量的, “螺丝钉”精神是不可缺少和需要发扬的。	

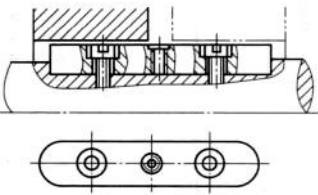
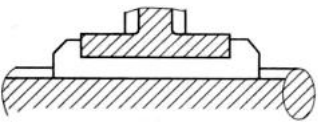
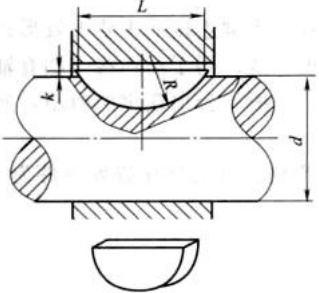
机械设计基础授课教案

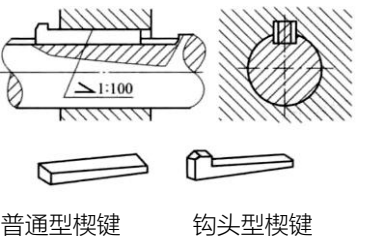
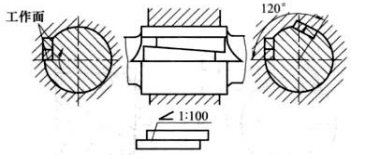
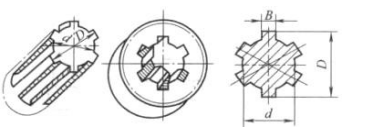
课题 6：常用连接——键销连接（2 课时）

课 题	键销连接	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.了解键连接的类型、特点和应用。 2.掌握平键联接的尺寸选择和强度校核。 能力目标： 能根据实际情况设计普通平键的尺寸，并能进行强度校核 素质目标： 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。	

教学重难点	教学重点：键连接的选择 教学难点：平键联接的尺寸选择和强度校核							
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法							
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪							
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置							
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)						
课前任务	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 预习课程内容 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课前任务 	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯						
考 勤	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民						
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】提出以下问题: 1.提问复习前次课内容: 螺纹连接的基本类型和适用场合? 螺纹连接的防松方式? 2.以减速箱结构图提问引入本次课内容。 <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】思考、举手回答 							
传授新知	知识点 1 键连接的类型和特点 键连接主要用于轴和轴上回转零件之间的圆周方向固定以传递转矩, 有些类型的键也可实现轴上零件的轴向固定或实现轴向移动的导向。 键连接的类型、特点见表 7-6 表 7-6 键连接的类型、特点 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型</th><th>结 构</th><th>特 点</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>普通平键</td><td>  </td><td> 键的上表面与轮毂不接触, 有间隙; 侧面与轴槽及轮毂槽间为配合尺寸; 两侧面为工作面, 靠键与 </td></tr> </tbody> </table>		类 型	结 构	特 点	普通平键		键的上表面与轮毂不接触, 有间隙; 侧面与轴槽及轮毂槽间为配合尺寸; 两侧面为工作面, 靠键与
类 型	结 构	特 点						
普通平键		键的上表面与轮毂不接触, 有间隙; 侧面与轴槽及轮毂槽间为配合尺寸; 两侧面为工作面, 靠键与						

平键虽小, 应用广泛, 在平凡的岗位上做出自己应有的贡献。

	平键连接	薄型平键	<p>槽的挤压和键的剪切传递转矩，属于静连接。薄型平键应用于薄壁结构和传递力矩较小的传动。</p> <p>A 型圆头平键连接轴上的槽用指状铣刀加工，因此键与槽同形，定位好，工程上最常用。但是，由于指状铣刀的圆角半径小，因此轴槽的应力集中较大地降低了轴的疲劳强度。</p> <p>B 型键用盘铣刀加工，盘铣刀的圆角半径大，因此键与槽不同形，轴向定位效果不好，但是轴槽的应力集中小</p> <p>C 型键是 A 型圆头平键的一部分，用于轴端。</p>		<p>通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。</p>
导向平键			<p>导向平键用螺钉固定在轴槽中，键不动，轮毂轴向移动，为拆装方便，有起键螺孔，导向平键连接为动连接。</p>		
滑键			<p>滑键固定在轮毂槽中，随轮毂一起沿轴槽做轴向移动，也为动连接。导向平键用于轴上零件轴向移动量不大的场合，如变速器中的滑移齿轮，滑键用于轴上零件轴向移动量较大的场合</p>		
半圆键连接			<p>轴槽用与半圆键形状相同的铣刀加工，键能在槽中绕几何中心摆动，键的侧面为工作面，工作时靠其侧面的挤压来传递转矩。半圆键连接的优点是工艺性好，装配方便，适用于锥形轴与轮毂的连接；其缺点是轴槽对轴的强度削弱较大，只适用于轻载连接。</p>		

<p>楔键连接</p>	 <p>普通型楔键 钩头型楔键</p>	<p>楔键连接靠键的上、下表面与轮毂孔及轴槽之间楔紧产生的摩擦力传递转矩，并可传递小部分单向轴向力。楔键分为普通型楔键和钩头型楔键两种。普通型楔键又有圆头、方头及单圆头三种。楔键上、下面为工作表面，有 1:100 的斜度（侧面有间隙）。适用于低速轻载、精度要求不高的场合。这种连接的对中性较差，有偏心，不宜用于高速和精度要求高的连接，变载下易松动。钩头型楔键只用于轴端连接，且应加保护罩。</p>	
<p>切向键连接</p>		<p>切向键连接是两个斜度为 1:100 的楔键组成的，靠工作面与轴及轮毂相挤压来传递转矩。切向键的上、下面为工作面，布置在圆周的切向上。一个切向键连接只能单向传动，如果要求双向传动，必须使用两个切向键且呈 120°布置。</p>	
<p>花键连接</p>		<p>花键连接是由带有多个纵向键齿的轴（外花键）与轮毂孔（内花键）组成的。花键可视为由多个平键组成。键齿侧面为工作面，依靠内、外花键齿侧面的相互挤压传递转矩，根据齿形可分为矩形花键、渐开线花键。花键可用于静连接，也可用于动连接。</p>	
<p>知识点 2 平键连接的尺寸选择与强度校核</p> <p>（一）平键连接的尺寸选择</p> <p>键的选择包括类型选择和尺寸选择两个方面。选择键类型时，一般需考虑传递转矩大小、轴上零件沿轴向是否有移动及移动距离大小、对中性</p>			

键的主要尺寸为其截面尺寸（键宽 b 和键高 h ）和键长 L 。键的截面尺寸一般按轴的直径由标准中选取，普通平键的长度一般按轮毂的长度来确定，即键长等于或略短于轮毂的长度。普通平键和键槽的形式如图 7-29，尺寸见表 7-7。

平键连接传递转矩时的受力分析如图 7-30 所示。平键连接的失效形式有：较弱零件工作面压溃（静连接）、磨损（动连接）、键被剪断（沿 aa 截面），键剪断一般较少出现，除非有严重过载。因此，对于普通平键通常进行挤压强度计算；而对于导向平键或滑键只进行耐磨性计算，即按工作面上的压力进行条件性的强度校核计算。

设载荷沿键长度与高度方向均匀分布，不计摩擦，其接触面面积为： $A = hl/2 = 0.5hl = kl$ 。

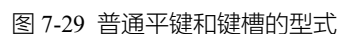


表 7-7 普通平键和键槽尺寸 (摘自 GB/T 1095-2003, GB/T 1096-2003)

[illegible]

标记示例：

普通 A 型平键, $b=16\text{mm}$, $h=10\text{mm}$, $L=100\text{mm}$, 标记为: GB/T 1096
键 $16\times 10\times 100$;

普通 B 型平键, $b=16\text{mm}$, $h=10\text{mm}$, $L=100\text{mm}$, 标记为: GB/T 1096
键 B $16\times 10\times 100$;

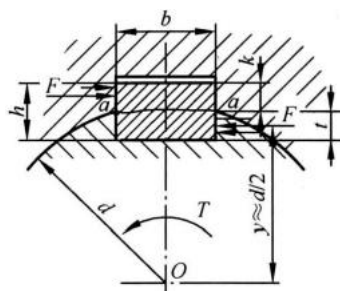


图 7-30 平键连接受力情况

1. 普通平键挤压强度条件为 (静链接) :

$$\sigma_p = \frac{2T}{kld} \leq [\sigma_p] \quad \text{MPa}$$

式中: σ_p — 挤压应力 (MPa) ;

d — 轴径 (mm) ;

T — 传递的转矩 (N · mm) ;

$k=0.5h$, h — 键高 (mm) ;

L — 键的有效长度 (mm) ;

$[\sigma_p]$ — 许用挤压应力 (见表 7-8) , 取键、轴、轮毂三者中最弱材料
的许用挤压应力;

l — 键的工作长度, A 型键 $l = L - b$, B 型键 $l = L - b/2$, C 型键 $l = L$,
这里 L 为键的公称长度, b 为键的宽度。

2. 导向平键连接、滑键连接的强度条件为 (动连接) :

$$p = \frac{2T}{kdl} \leq [p]$$

式中: p — 工作面压强

$[p]$ — 许用压强, 取键、轴、轮毂三者中最弱材料的许用
压强。

知识点 3 花键连接

(一) 花键类型

花键按齿形不同分为：矩形花键连接（见图 7-31）和渐开线花键连接（见图 7-32）。

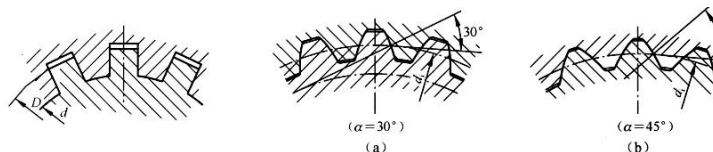


图 7-31 矩形花键连接

图 7-32 渐开线花键连接

1. 矩形花键

在矩形花键的标准中，按齿高不同分成两个系列，即轻系列和中系列。轻系列的承载能力较低，多用于静连接，而中系列多用于中等载荷的连接。矩形花键采用小径定心，即外花键和内花键的小径作为配合表面。其特点是定心精度高，定心的稳定性好。

2. 渐开线花键

渐开线花键的齿廓是渐开线，分度圆压力角有 30° 及 45° 两种。齿高分别为 $0.5m$ 和 $0.4m$ ，这里 m 为模数。 d_1 为渐开线花键的分度圆直径。

渐开线花键采用齿形定心方式。当传递载荷时花键齿上的径向力能够起到自动定心作用，有利于各齿均匀受力。

知识点 4 销的类型、特点和应用

主要用来固定零件之间相对位置的销称定位销（见图 7-35）；用于轴与轮毂或其他零件之间的连接，传递不大的载荷，称连接销（见图 7-36）；作为安全装置中的过载剪断元件，称安全销（见图 7-37）。

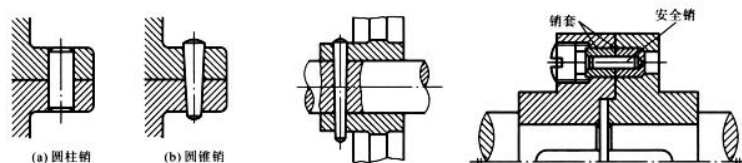


图 7-35 定位销

图 7-36 连接销

图 7-37 安全销

销按形状可分为圆柱销、圆锥销、开尾圆锥销和特殊形式销等，均已标准化。

圆柱销（见图 7-35 (a)）靠微量过盈固定在铰光的销孔中，这种销经多次装拆会降低其定位精度和可靠性。

圆锥销（见图 7-35 (b)）具有 $1:50$ 的锥度，安装方便，在受横向力时能可靠地自锁，定位精度比圆柱销高，多次装拆对定位精度的影响也

较小，应用广泛。普通圆锥销用于通孔定位，拆卸时可以打击小头。对于盲孔或拆卸困难的场合可采用端部带螺纹的圆锥销（见图 7-38）。开尾圆锥销（见图 7-39）装配后可将尾口分开，防止松脱，适用于有冲击、振动的场合。

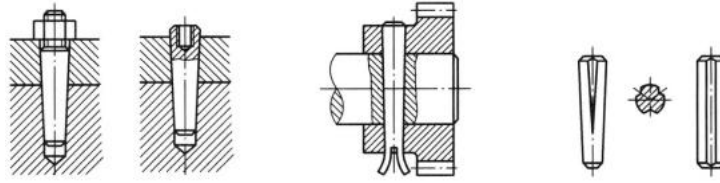


图 7-38 端部带螺纹的圆锥销 图 7-39 开尾圆锥销 图 7-40 槽销

槽销是用弹簧钢滚压或模锻而成的，上有三条纵向凹槽（见图 7-40），将槽销打入销孔后，由于材料的弹性使销挤紧在销孔中，不易松脱，因而能承受振动和变载荷。安装槽销的孔不需要铰制，加工方便，制造简单，可多次装拆，多用于传递载荷。

销轴用于两零件的铰接处，构成铰链连接（见图 7-41）。销轴通常用开口销锁定，工作可靠，拆卸方便。

开口销如图 7-42 所示。装配时，将尾部分开，以防脱出。开口销除与销轴配合外，还常用于螺纹连接的防松装置中。

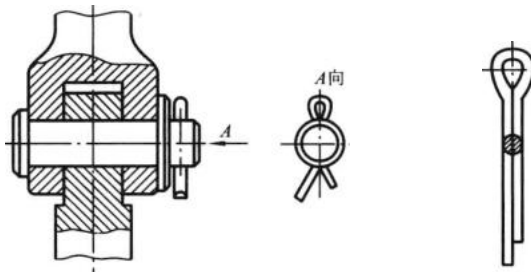
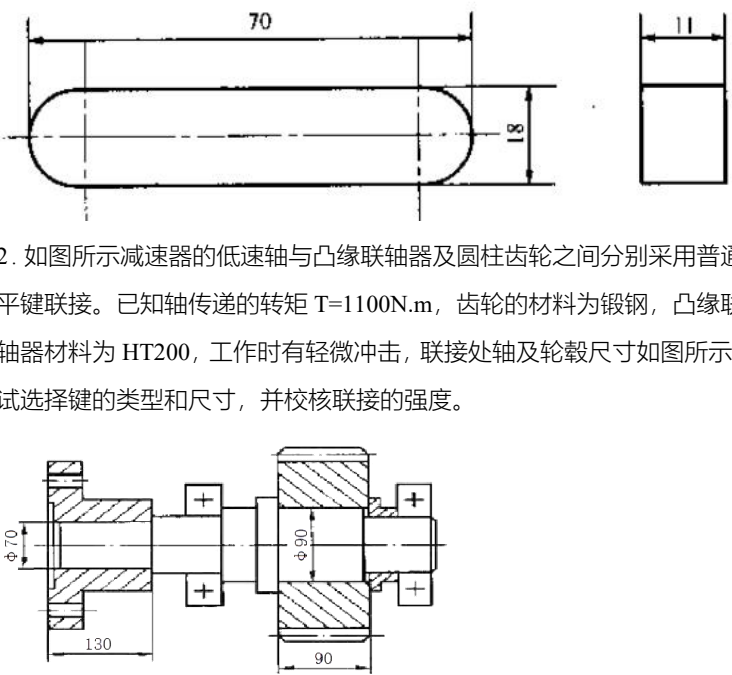


图 7-41 销轴连接 图 7-42 开口销

定位销通常不受载荷或只受很小的载荷，故不作强度校核计算，其直径可按结构由经验确定，同一面上的定位销数目一般不少于两个。销装入每个被连接件内的长度为销直径的 1~2 倍。连接销在工作时通常受到挤压和剪切，设计时，可先根据连接的结构特点和工作要求选择销的类型、材料和尺寸，必要时再按剪切和挤压强度条件进行校核计算。安全销在机器过载时应被剪断，因此，销的直径应按过载时被剪断的条件确定。

知识点 5 实例讲解及练习

1. 完成减速器键强度的校核：某减速器输出轴上装有联轴器，用图所示 A 型平键联接。已知输出轴直径为 60 mm，输出转矩为 1200 N·m，键的许用挤压应力为 150MPa，试校核键的强度。

	 <p>2. 如图所示减速器的低速轴与凸缘联轴器及圆柱齿轮之间分别采用普通平键联接。已知轴传递的转矩 $T=1100\text{N}\cdot\text{m}$，齿轮的材料为锻钢，凸缘联轴器材料为 HT200，工作时有轻微冲击，联接处轴及轮毂尺寸如图所示。试选择键的类型和尺寸，并校核联接的强度。</p>	
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>34、键连接的类型特点</p> <p>35、平键连接的尺寸选择与强度校核</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 	
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 	
教学反思	<p>本节课引入自然流畅，但部分同学基础太差，键的工作还是未能理解，下次还是要用动画视频辅助讲解。</p>	

机械设计基础授课教案

课题 7：轴系零部件——轴（4 课时）

课 题	轴	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 4 课时
教学目标	知识目标： 1.了解轴的类型和特性；	

	<p>2.掌握轴的常用材料;</p> <p>3.掌握轴的结构设计;</p> <p>4.掌握轴的强度校核。</p> <p>能力目标:</p> <p>1.能够正确选择轴的材料;</p> <p>2.能够进行轴的结构设计;</p> <p>3.能够进行轴的强度校核。</p> <p>素质目标:</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神, 具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点: 轴的功用和类型、轴的结构设计</p> <p>教学难点: 轴的结构设计</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】 布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】 完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】 使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤</p> <p>■ 【学生】 班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】 提出以下问题:</p> <p>1.提问复习前次课内容:</p> <p>普通平键的分类及标记?</p> <p>平键界面尺寸时如何确定的?</p> <p>2.以带式输送机减速器输出轴引入本次课内容。</p> <p>■ 【学生】 思考、举手回答</p>	通过轴的学习任务的完成培养学生的创新意识和精益求精的精神。
传授新知	<p>知识点 1 轴的功用和类型</p> <p>(一) 轴的功用</p> <p>轴的主要功用是支承旋转零件 (如齿轮、带轮、联轴器等), 以传递运动和动力, 是组成机器的重要零件之一。</p> <p>(二) 轴的类型</p> <p>1.根据承载情况不同, 轴可分为传动轴、心轴和转轴三类。如图 8-2 所示。</p> <p>(1) 传动轴</p> <p>只承受转矩而不承受弯矩, 或承受弯矩很小的轴。如图 8-2 (a) 所示汽车的传动轴。</p>	

(2) 心轴

只承受弯矩而不承受转矩，或承受转矩可忽略不计的轴。如图 8-2 (b) 所示机车的轮轴。

(3) 转轴

既承受弯矩又承受转矩的轴。如图 8-2 (c) 所示减速器中的轴。

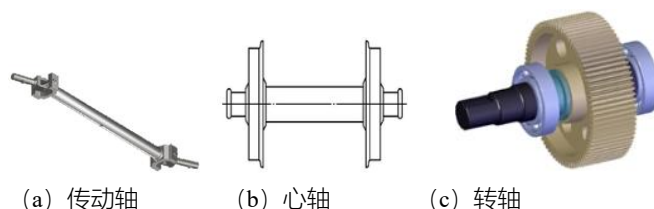


图 8-2 根据承载情况分类

2. 按轴线的几何形状分类

按轴线的几何形状不同，轴可分为直轴、曲轴和挠性轴三类，如图 8-3 所示。机械中最常用的是直轴（图 8-3a），是主要的研究对象。

如图 8-3 (b) 所示的曲轴，常用于往复式机械，如曲柄压力机、内燃机等中，以实现运动的转换和动力的传递。

如图 8-3 (c) 所示的挠性轴，由几层紧贴在—起的钢丝层构成，它能把旋转运动和转矩灵活地传到任何位置，但不能承受弯矩，多用于转矩不大、以传递运动为主的简单传动装置中。

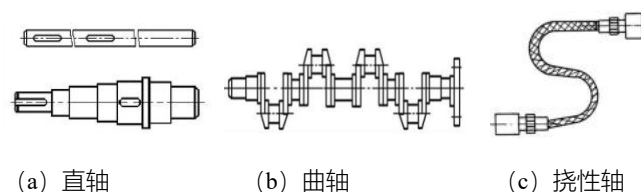


图 8-3 按轴线的几何形状分类

知识点 2 轴的材料

轴的主要失效形式为疲劳破坏，其材料应具有较好的强度、韧性及耐磨性。碳素结构钢因具有较好的综合力学性能，应用较多，尤其是 45 钢应用最广。合金钢具有较高的力学性能，但成本高，多用于有特殊要求的轴。

选用轴材料时应综合考虑，具体按以下要求选取：

1. 一般用途的轴常用优质碳素结构钢，如 35、45、50 等，采用正火或调质处理；
2. 轻载或不重要的轴可采用普通碳素钢；
3. 重载重要的轴可选用合金结构钢，如 20Cr、20CrMnTi、40CrNi、38CrMoAlA 等，其力学性能高，但成本较高。

知识点 3 轴的结构设计

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

(一) 轴的结构应满足的基本要求

- 1.有利于提高轴的强度和刚度。
- 2.轴和轴上零件要有准确的工作位置。
- 3.轴上零件应便于装拆和调整。
- 4.轴应具有良好的制造工艺性。

(二) 轴的结构组成

轴的结构一般由轴头、轴颈、轴身、轴肩和轴环等组成，典型的阶梯轴结构组成如图 8-4 所示。

轴头：与传动零件轮毂（如齿轮、带轮和联轴器等）相配合的轴段称为轴头。

轴颈：轴上与轴承相配合的部分。

轴身：联接轴头与轴颈的非配合部分。

轴头、轴颈部分的直径应取标准值，其大小由与之配合的零件的内孔决定，轴身部分的直径应取整数。

(三) 轴最小直径的估算

在设计轴的结构之前，轴上零件的位置还未确定，轴的受力情况无法进行分析。此时，常根据轴的扭转强度条件来估算轴的最小直径，轴的最小直径可按照公式（1-29）进行计算。

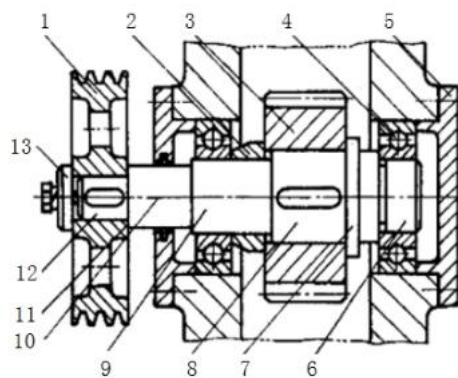


图 8-4 轴的结构组成

- 1-带轮 2-套筒 3-齿轮 4-滚动轴承 5-轴承座 6、9-轴颈
7-轴环 8、12-轴头 10-轴身 11-轴肩 13-轴端挡圈

根据校核公式（1-29）：

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_n} \leq [\tau]$$

, 则轴的最小直径估算公式为:

$$d \geq C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (8-1)$$

式中: T —轴横截面扭矩, $T = 9550 \frac{P}{n}$;

W_n —抗扭截面系数, 对于实心圆轴,

$$W_n = \frac{I_p}{R} = \frac{2\pi D^4}{32D} = \frac{\pi D^3}{16} \approx 0.2D^3 ;$$

$[\tau]$ —轴材料的许用切应力;

P —轴传递的功率, 单位为 kW;

n —轴的转速, 单位为 r/\min ;

C —由轴的材料和载荷情况确定的常数。

常用材料的 $[\tau]$ 值和 C 值可查表 8-1。

表 8-1 常用材料的 $[\tau]$ 值和 C 值

轴 的材料	Q235 、 20	35	45	40Cr、 35SiMn
$[\tau]$	12 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 52
C	160 ~ 135	135 ~ 118	118 ~ 107	107 ~ 98

考虑到轴上开有键槽会削弱轴的强度, 可将轴径适当增大。轴上开有一个键槽时, 轴径可增大 3%左右, 轴的同一截面开有两个键槽时, 轴径可增大 7%左右。轴的标准直径见表 8-2。

表 8-2 轴的标准直径 (摘自 GB/T2822-2005) (单位: mm)

0	2	4	6	8	0	2	4	5	6	8	0	2	4	6
8	0	2	5	8	0	3	6	0	3	7	1	5	0	5

(四) 轴的结构设计

轴的结构设计主要是确定轴各段的直径和长度以及轴上的一些结构细节（如键槽、倒角、圆角等）。

1.轴的加工和装配工艺性

- (1) 轴的形状应力求简单，阶梯级数尽可能少。
- (2) 键槽、圆角半径、倒角、中心孔等尺寸尽可能统一，以利于加工和检验。如图 8-5 所示。
- (3) 车制螺纹的轴段应有退刀槽，磨削的轴段应设计砂轮越程槽，如图 8-6 所示。
- (4) 当轴上有多处键槽时，应使各键槽位于同一圆轴母线上。
- (5) 为便于装配，轴端均应有倒角。
- (6) 为了便于安装与拆卸，阶梯轴应设计成两端小中间大，便于零件从两端装拆。
- (7) 各零件装配应尽量不接触其他零件的配合表面。
- (8) 轴肩高度不应妨碍零件的拆卸。

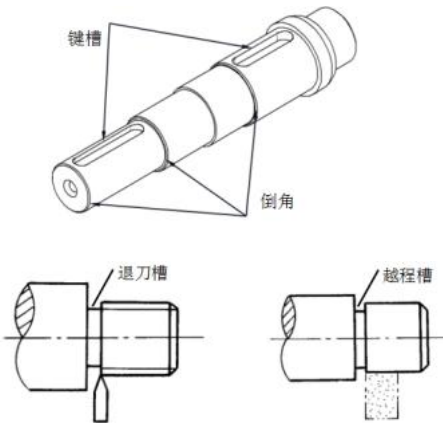


图 8-5 键槽与倒角 图 8-6 退刀槽与越程槽

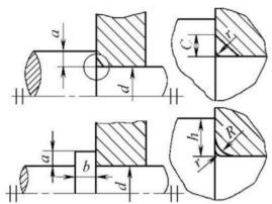
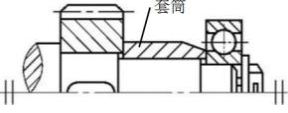
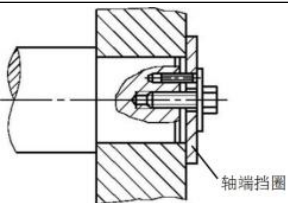
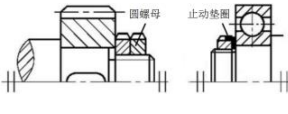
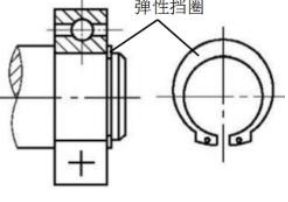
2.轴上零件的定位与固定

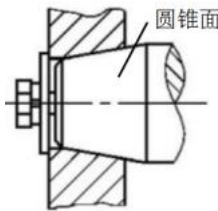
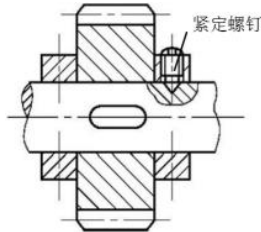
(1) 轴上零件的轴向定位与固定

为使轴上零件能承受轴向力，并且轴向不产生移动，零件必须在轴向定

位好。常用轴上零件的轴向定位与固定方式、特点及应用见表 8-3。

表 8-3 常用轴上零件的轴向定位与固定方式、特点及应用

轴向定位与固定方式		特点及应用
轴肩和轴环		<p>(1) 结构简单、定位可靠、承受较大的轴向力、加工方便，常用于齿轮、联轴器、带轮及链轮等零件的轴向定位。</p> <p>(2) 为保证定位可靠，应使 $r < r_1$。</p> <p>(3) 定位轴肩高 $a = (0.07 \sim 0.1)d$。</p> <p>(4) 与滚动轴承相配合处的 a 由轴承的 r_1 来确定。</p> <p>(5) 轴肩尺寸 a 及零件孔端圆角半径 r_1 应满足 $r_1 < r$。</p>
套筒		<p>(1) 结构简单、定位可靠、加工方便。</p> <p>(2) 可同时轴向定位两个零件。</p> <p>(3) 轴上不需开槽、钻孔及加工。</p> <p>(4) 一般用于两零件间距不大。</p> <p>(5) 高转速时不宜采用。</p>
轴端挡圈		<p>(1) 常用于轴端零件的固定。</p> <p>(2) 轴端挡圈尺寸已标准化。</p>
圆螺母		<p>(1) 固定可靠，能承受较大的轴向力。</p> <p>(2) 轴上加工螺纹，影响轴的强度。</p> <p>(3) 常用双螺母或圆螺母与止动垫圈。</p> <p>(4) 当零件间距较大时，可采用。</p> <p>(5) 重量较大。</p>
弹性挡圈		<p>(1) 结构简单紧凑。</p> <p>(2) 只能承受很小的轴向力。</p> <p>(3) 常用于固定滚动轴承。</p> <p>(4) 轴用弹性挡圈已标准化。</p>

圆锥面		<p>(1) 能消除轴与轮毂间的径向</p> <p>(2) 装拆方便，能承受冲击载</p> <p>(3) 大多用于轴端零件的固定，以使零件获得双向轴向固定。</p> <p>(4) 加工锥形面较困难。</p>
紧定螺钉		<p>(1) 结构简单。</p> <p>(2) 只能用于轴向力很小、转</p>

注意：(1) 非定位轴肩是为了加工和装配方便而设置的，其高度没有严格的规定，一般为 1 ~ 2mm。

(2) 为保证轴上零件能可靠定位，当采用套筒、轴端挡圈、圆螺母作轴向定位与固定时，轴与零件相配合的轴段长度应比轮毂的长度短 2 ~ 3mm。

表 8-4 轴肩尺寸 a 及零件孔端圆角半径 R 和倒角 C （单位：mm）

轴径	>	>	>	>	>
d	10 ~ 18	18 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 100
r	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5
R 或 C	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0
a_{\min}	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5
b	$b \geq 1.4a$				

(3) 轴上零件的周向固定

轴上零件周向必须固定可靠，才能传递运动与动力。周向固定可采用键、花键、销、成形联接或过盈配合，如图 8-7 所示。其结构可参考常用联接中的内容。

周向固定方式要根据载荷的大小和性质、轮毂与轴的对中性要求和重要性等因素来决定。如齿轮与轴，一般采用平键联接；对过载、冲击或振动大的情况，可用过盈配合加键联接；在传递较大转矩、轴上零件需作轴向移动或对中要求较高的情况下，可采用花键联接；对轻载或不重要的场合，可采用销或紧定螺钉联接。



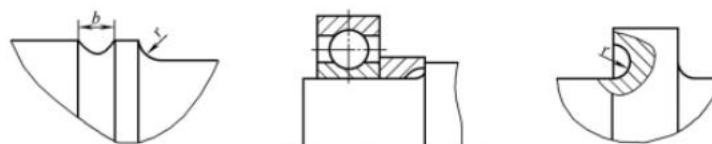
(a) 键固定 (b) 花键固定 (c) 销固定 (d) 成形联接固定
(e) 过盈配合固定

图 8-7 轴上零件的周向固定

3. 提高轴疲劳强度的结构设计

在设计轴的结构时，应考虑减少应力集中，以提高轴的疲劳强度。

由于在轴截面处容易造成应力集中，因此在设计阶梯轴时，应尽量减缓截面尺寸的变化，直径变化处应平滑过渡，或制成半径尽可能大的过渡圆角。在重要轴的结构中，可采用中间环或凹切圆角，以增大轴肩圆角半径，减少应力集中，以改善轴的疲劳强度。如图 8-8 所示。



(a) 过渡圆角 (b) 中间环 (c) 凹切圆角

图 8-8 减少应力集中措施

思考与分析:

知识点 4 传动轴、心轴与转轴强度的计算

根据传动轴、心轴与转轴受力情况的不同分别用模块一任务二中的公式计算。

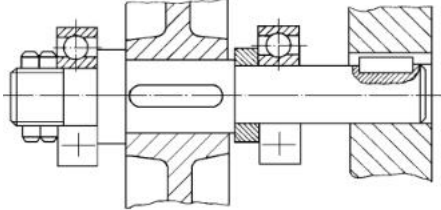
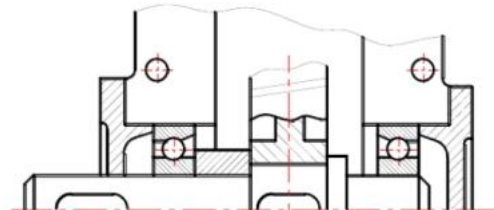
传动轴只承受扭矩，不承受弯矩，按照公式 (1-29) 校核传动轴强度，按公式 (1-33) 校核传动轴刚度。

心轴只承受弯矩，不承受扭矩，则按公式 (1-39) 校核心轴弯曲强度，按公式 (1-40) 校核心轴刚度。

转轴既承受扭矩，又承受弯矩，属于弯扭组合变形，则按第三 (公式 1-41) 或第四强度理论进行强度 (公式 1-43)。

知识点 5 实例讲解及练习

1. 如图示为轴的结构图，从轴的结构工艺性上考虑，该结构是否合理，请指出错误之处，并作修改？

	 <p>2.图中为用一对角接触球轴承支承的轴系部件，轴承外圈窄边相对安装。试找出图中错误（不少于8处）。注：不考虑轴承润滑、倒角和圆角。</p>  <p>3.轴上零件的周向固定有哪些方法？</p> <p>4.轴上零件的轴向固定方法有哪些？</p>		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 	
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 	
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>36、轴的功用和类型</p> <p>37、轴的结构设计和强度计算</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾，巩固夯实
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习，自我提升
教学反思	本节课着重讲解轴的结构设计，我选用了几个经典错误案例进行讲解，效果不错。		

机械设计基础授课教案

课题 7：轴系零部件——轴承的类型及选择（2 课时）

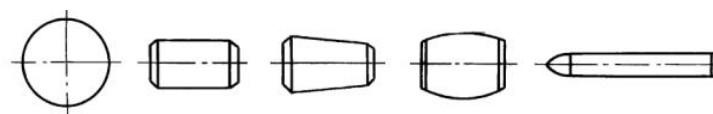
课 题	轴承的类型及选择		
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位		总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.掌握滚动轴承的类型、代号的含义。 2.掌握滚动轴承的选择。		

	<p>能力目标：</p> <p>1.能正确选择滚动轴承。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点：滚动轴承的类型与代号。</p> <p>教学难点：滚动轴承的选择。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务 <p>预习课程内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课前任务 	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】提出以下问题： <p>1.提问复习前次课内容：</p> <p>轴的组成？</p> <p>轴上零件常用的轴向/周向定位方式有哪些？</p> <p>2. 以带式输送机减速器轴承引入本次课内容。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】思考、举手回答 	
传授新知	<p>知识点 1 轴承的功用和分类</p> <p>轴承是机械的重要组成部分，主要起支承轴和轴上零部件的作用，同时能保持轴的旋转精度和减少轴与支承间的摩擦及磨损。</p> <p>根据摩擦性质不同，轴承可分为滚动轴承和滑动轴承两大类。</p> <p>知识点 2 滚动轴承</p> <p>滚动轴承因具有摩擦阻力小、易起动、适用范围宽、轴向尺寸小、润滑及维护方便等优点，应用非常广泛。各国的滚动轴承都已标准化。</p> <p>(一) 滚动轴承的结构和材料</p> <p>如图 8-11 所示，滚动轴承一般由内圈、外圈、滚动体和保持架组成。内圈装在轴颈上，外圈装在机座或零件的轴承孔内。工作时内圈与轴一起转动，外圈不动，滚动体在内、外圈间的滚道上滚动。保持架的作用是把滚动体均匀地隔开，以减少滚动体间的摩擦和磨损。</p>	通过轴的学习任务的完成培养学生的创新意识和精益求精的精神。



图 8-11 滚动轴承的组成

滚动体有多种形式，常用的滚动体有球、圆柱滚子、圆锥滚子、球面滚子和滚针等，如图 8-12 所示。



(a) 球 (b) 圆柱滚子 (c) 圆锥滚子 (d) 球面滚子 (e) 滚针

图 8-12 滚动体的形式

滚动轴承的内圈、外圈和滚动体均采用强度高、耐磨性好的铬锰高碳钢制造，常用材料有 GCr15、GCr15SiMn 等。淬火后硬度可达 60HRC 以上。保持架多用低碳钢或铜合金制造，也可采用塑料或其他材料。

(二) 滚动轴承的类型

1. 按滚动体种类分

按滚动体的种类可分为球轴承和滚子轴承。

2. 按承载方向（公称接触角）分

滚动体与轴承圈滚道接触处的法线方向与轴承径向平面（垂直于轴线的平面）之间的夹角 α 称为公称接触角，简称接触角。接触角越大，轴承承受轴向载荷的能力越强。轴承按承受载荷方向（公称接触角）的分类见表 8-6。

3. 按调心能力分

按滚动轴承工作时能否调心可分为调心轴承和刚性轴承。

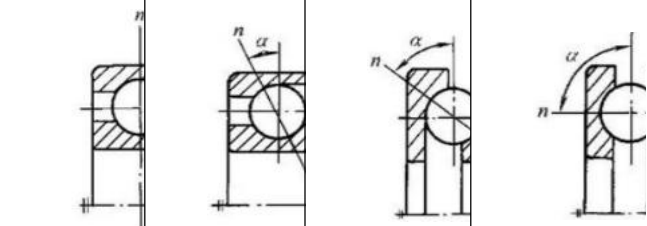
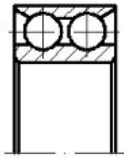
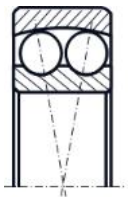

4. 按滚动体列数分


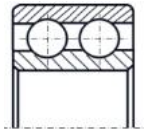
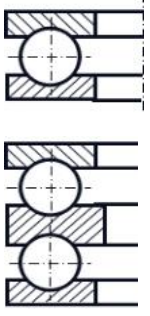
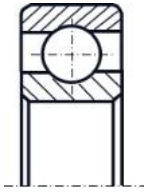
按滚动体的列数可分为单列轴承、双列轴承和多列轴承。

表 8-6 轴承按公称接触角分类

承 类 型	向心轴承		推力轴承	
	径 向 接 触	角接触		轴向接触
称 接 触 角	$\alpha = 0^\circ$	$0^\circ < \alpha$	$45^\circ < \alpha$	$\alpha = 90^\circ$

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

α	例				
		<p>常见滚动轴承的主要类型、特性及应用见表 8-7。</p> <p>表 8-7 滚动轴承的主要类型、特性及应用</p>			
		轴 承名称	类 型代号	简图	主要特性及应用
		双 列角接 触球轴 承	0		<p>能同时承受径向载荷和双向的轴向载荷，极限转速比双向推力球轴承高，刚性好，能承受较大的倾覆力矩。具有相当于一对角接触球轴承背靠背安装的特性。广泛应用于小型汽车前轮轮毂中。</p>
		调 心球轴 承	1		<p>主要承受径向载荷，同时也能承受少量轴向载荷，具有调心性能。允许角偏差 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$。</p> <p>适用于多支点传动轴、刚性较小的轴及难以对中的轴。</p>
		调 心滚子 轴承	2		<p>能承受很大的径向载荷和少量轴向载荷，承载能力大，具有调心性能。允许角偏差 $0.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$。常用于其他轴承不能适应的重载和有冲击载荷的场合。如重型机械、大型立式电动机轴的支承等。</p>

	圆锥滚子轴承	3		能承受较大的径向载荷和单向轴向载荷，承载能力大。内、外圈可分离，装拆方便，一般应成对使用。允许角偏差 $2'$ 。适用于径向和轴向载荷较大的场合，如斜齿轮、锥齿轮、蜗轮轴与蜗杆以及机床主轴的支承等。
	双列深沟球轴承	4		具有深沟球轴承的特性，比深沟球轴承的承载能力和刚性更大，可用于比深沟球轴承要求更高的场合。
	推力球轴承	5		分为单、双向两种。只能承受轴向载荷。单向推力球轴承承受单向轴向载荷，双向推力球轴承承受双向轴向载荷。极限转速低。不允许角偏差。常用于起重机吊钩、蜗杆轴和立式车床主轴的支承等。
	深沟球轴承	6		能承受较大的径向载荷，同时能承受一定的双向轴向载荷，高速时可用来承受不大的纯轴向力。承受冲击能力差。允许角偏差 $8' \sim 16'$ ，极限转速高。应用广泛，适用于安装在刚性较大的轴上，如机床的齿轮箱、小功率的电动机等。

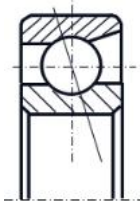

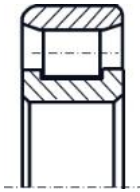
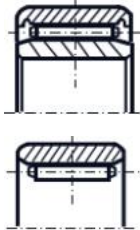
	角 接 触 轴 承	7		能承受较大的径向载荷和单向轴向载荷。接触角 α 越大，其承受轴向载荷的能力也越大，一般应成对使用。允许角偏差 $2' \sim 10'$ 。极限转速较高。适用于刚性大、跨距较大的轴，如斜齿轮减速器和蜗杆减速器中轴的支承等。
	推 力 圆 柱 滚 子 轴 承	8		能承受很大的单向轴向载荷，承载能力比推力球轴承大得多。不允许角偏差，极限转速低。常用于承受轴向载荷大而不需要调心的场合。
	圆 柱 滚 子 轴 承	N		不能承受轴向载荷，承载能力比深沟球轴承大，能承受较大的冲击载荷。允许角偏差 $2' \sim 4'$ ，极限转速较高。适用于刚性大，对良好的轴，如大功率电动机、人字齿轮减速器等。
	滚 针 轴 承	NA		只能承受径向载荷，承载能力大，径向尺寸特小。一般无保持架，因而滚针间有摩擦，极限转速低。不允许角偏差。适用于安装尺寸受限制的支承结构，主要用于汽车、耕耘机、机床等的变速装置。
	<p>(三) 滚动轴承的代号</p> <p>滚动轴承的类型很多，每种类型又有不同的结构、尺寸精度和技术要求，为了便于组织生产、设计和选用，GB/T 272—1993 规定了滚动轴承代号的构成及表示方法。滚动轴承代号的构成见表 8-8。</p>			

表 8-8 滚动轴承代号的构成					
前 置代号	基本代号				后 置代号
成 套 轴 承 分 部 件 代号	×	×	×	×	内 部结构、 材 料 及 公 差 等 级等
	类 型代号	尺寸系列代号		内 径代号	
		宽 度（高 度）系列 代号	直 径 系 列 代号		
1.基本代号					
基本代号表示轴承的基本类型、结构和尺寸，由轴承的内径、直径系列、宽度（高度）系列和类型构成。					
(1) 内径代号					
用基本代号右起的第一、二位数字表示。常用内径代号的含义见表 8-9。 对于内径小于 10mm 和大于 500mm 的轴承表示方法，可参阅 GB/T272-1993。					
表 8-9 轴承内径代号					
内径代 号	00	01	02	03	04 ~ 99
轴 承 内 径 尺 寸 (mm)	10	12	15	17	数 字 ×5
内径为 22、28、32mm 的轴承，内径代号直接用内径值表示， 但与尺寸系列之间用“/”隔开					
内径 > 500mm 的轴承，内径代号直接用内径值表示，但与尺寸 系列之间用“/”隔开					
示 例 1	深沟球轴承 6200，内径 d=10mm				
示 例 2	调心滚子轴承 23208，内径 d=40mm				
示 例 3	深沟球轴 62/22，内径 d=22mm				
示 例 4	调心滚子轴承 230/500，内径 d=500mm				
(2) 尺寸系列代号					
用基本代号右起第三、四位数字表示，包括直径系列代号和宽度（高 度）系列代号。					
①直径系列代号					
用基本代号右起第三位数字表示。直径系列是表示内径相同而外径 与宽度不同的轴承系列。其表示见表 8-10。					
②宽度（高度）系列代号					

用基本代号右起第四位数字表示。宽度（高度）系列是表示内径、外径相同的轴承，而宽度（高度）不同。对向心轴承，配有不同宽度的尺寸系列；对推力轴承，配有不同高度的尺寸系列。其表示见表 8-10。

表 8-10 尺寸系列代号

径 系 列 代 号	向心轴承						推力轴承				
	宽度系列代号						高度系列代号				
	0	常 1	2	宽 3	宽 4	宽 5	宽 6	低 7	9	常 1	常 2
	尺寸系列代号										
特 轻 7		7		7							
轻 8	8	8	8	8	8	8	8				
轻 9	9	9	9	9	9	9	9				
轻 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
轻 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3			3	3	3	3	3
4	4		4					4	4	4	4
重 5									5		

(3) 类型代号

用基本代号右起第五位数字或字母表示。表 8-7 中列出了常见的类型代号。类型代号为“0”时省略不标。

2.前置代号

在基本代号段的左侧用字母表示。它表示成套轴承的分部件（如 L 表示可分离轴承的内圈或外圈；K 表示滚子和保持架组件），例如 LN207，表示（0）2 尺寸系列的单列圆柱滚子轴承的可分离外圈。前置代号见表

8-11。

表 8-11 前置代号

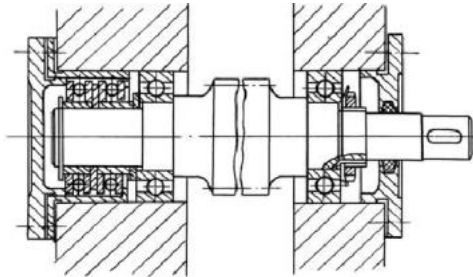
代 号	含 义	示例	代 号	含 义	示例
L	可 分 离 轴 承 的 内 圈 或 外 圈	7 LNU20 LN207	K	圆 柱 滚 子 轴 承 的 滚 子 与 保 持 架 组 件	K81107
R	不 带 可 分 离 内 圈 或 外 圈 的 轴 承 (滚 针 轴 承 仅 适 用 于 NA 型)	7 RNU20 RNA69 04	WS	推 力 圆 柱 滚 子 轴 承 轴 圈	WS811 07
			GS	推 力 圆 柱 滚 子 轴 承 座 圈	GS8110 7

3.后置代号

后置代号用字母或字母加数字表示轴承的结构、公差等级及材料等有特殊要求的内容，与基本代号相距半个汉字距离（代号中有“—”“/”符号的除外）。后置代号共分八组，见表 8-12。

表 8-12 滚动轴承后置代号

后 置 代 号							
1	2	3	4	5	6	7	8
内 部 结 构 代 号,见 表 8-13	密 封 与 防 尘 结 构 代 号	保 持 架 及 其 材 料 代 号	特 殊 轴 承 材 料 代 号	公 差 等 级 代 号 共 有 6 个,见 表 8-14, 精 度 等 级 从 P0	游 隙 代 号	配 置 代 号	其 他 代 号

	<p>载荷较大或有冲击载荷，转速较低时，宜用滚子轴承。</p> <p>(2) 同时承受径向及轴向载荷的轴承，如以径向载荷为主时可选用深沟球轴承；径向载荷和轴向载荷均较大时可选用角接触轴承或圆锥滚子轴承；轴向载荷比径向载荷大很多或要求轴向变形小时，可选用推力轴承和圆柱滚子轴承（或深沟球轴承）组合的支承结构，如图 8-13 所示的蜗杆支承结构。</p> <p>(3) 跨距较大或难以保证两轴承孔的同轴度的轴及多支点轴，宜选用调心轴承。</p> <p>(4) 为便于安装、拆卸和调整轴承游隙，可选用内、外圈可分离的圆锥滚子轴承。</p> <p>(5) 从经济性角度考虑，一般地说，球轴承比滚子轴承价廉；有特殊结构的轴承比普通的贵。如低精度轴承能满足要求时，则不选高精度轴承，一般机械传动宜选用普通级（P0）精度。</p> <p>2.尺寸选择</p> <p>尺寸选择有类比法和计算法两种方法。</p> <p>类比法：轴承内径根据轴颈直径选取，轴承外廓系列根据空间位置用类比法选取。这种方法简便，适用于一般机械的轴承。</p> <p>计算法：根据轴承的载荷、工作转速、失效形式，用计算方法选择轴承型号。适用于重要机械的轴承。</p>  <p>图 8-13 蜗杆支承结构</p> <p>知识点 4 实例讲解及练习</p> <p>1.滚动轴承的代号由哪几部分组成？</p> <p>2.指出下列滚动轴承代号的含义：3129、6208、52206、30316/P4、729AC/P5。</p> <p>指出下列滚动轴承代号的含义：3129、6208、52206、30316/P4、729AC/P5。</p> <p>3.选择滚动轴承时，要考虑哪些因素？</p>	
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练■ 【学生】黑板板演■ 【教师】巡视纠错
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置练习题■ 【学生】练习
课堂小结	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>38、滚动轴承的类型与代号</p> <p>39、滚动轴承的选择</p> <ul style="list-style-type: none">■ 【学生】总结回顾知识点	
	总结回顾，巩固夯实	

作业布置	<ul style="list-style-type: none"> 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 【学生】完成课后任务 	反思学习, 自我提升
教学反思	本节课过大量的例题讲解与习题练习让同学充分掌握了轴承类型及标记, 有部分同学进度还是跟不上, 如何调动这部分同学的积极性, 是要思考和探索的方向。	

机械设计基础授课教案

课题 7: 轴系零部件——滚动轴承的寿命计算 (2 课时)

课 题	滚动轴承的寿命计算	
课 时	2 课时 (90 min) 注: 可以是 1 节课, 1 次课 (2 节课) 为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标: 1.掌握滚动轴承的组合设计。 2.掌握滚动轴承的失效形式及计算准则。 3.掌握滚动轴承的寿命计算。 能力目标: 1.能对滚动轴承的组合进行设计。 2.能分析并计算滚动轴承的寿命。 素质目标: 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神, 具有标准意识和协作精神。	
教学重难点	教学重点: 滚动轴承的寿命计算。 教学难点: 滚动轴承的寿命计算。	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none"> 【教师】布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 预习课程内容 【学生】完成课前任务 	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none"> 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> 【教师】提出以下问题: 1.提问复习前次课内容: 	

	<p>滚动轴承的类型与代号</p> <p>滚动轴承的选择</p> <p>2. 以带式输送机减速器轴承引入本次课内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 滚动轴承的组合设计</p> <p>为了保证轴承的正常工作，除合理地选择轴承类型、尺寸外，还应解决轴承的轴向定位、装拆、与其他零件的配合等问题，即合理进行轴承的组合设计。</p> <p>1. 轴向定位的结构形式</p> <p>(1) 两端单向固定</p> <p>如图 8-14 所示，两端轴承各限制一个方向的轴向位移。这种支承形式结构简单，适用于普通工作温度下的短轴（跨距$\leq 350\text{mm}$）。考虑到轴受热后伸长，一般在轴承端盖与轴承外圈端面间留有补偿间隙 $C=0.25 \sim 0.4\text{mm}$。间隙量的大小，通常用一组垫片来调整。</p> <p>(2) 一端双向固定、一端游动</p> <p>如图 8-15 所示，当轴的跨距较长或工作温度较高时，轴的伸缩量大，可采用一端轴承双向固定，另一端轴承游动形式。固定端轴承可承受双向轴向载荷，游动端可选用深沟球轴承或圆柱滚子轴承。选用深沟球轴承时，应在轴承外圈与端盖之间留有间隙，允许轴与机座作相对移动；选用圆柱滚子轴承时，则轴承外圈应作双向固定，以免外圈同时移动，造成过大错位。</p> <div data-bbox="437 1151 1086 1375"></div> <p>图 8-14 两端单向固定 图 8-15 一端双向固定、一端游动</p> <p>(3) 两端游动</p> <p>如图 8-16 所示人字齿轮传动的高速主动轴，由于轮齿两侧螺旋角不易做到完全对称，为了防止轮齿卡死或两侧受力不均匀，应采用轴系能有左右微量轴向游动的结构，图示两端都选用圆柱滚子轴承，滚动体与外圈间可轴向移动。与其相啮合的另一低速齿轮轴系则必须两端固定，以便两轴都能得到轴向定位。</p> <div data-bbox="437 1697 1015 1966"></div> <p>图 8-16 两端游动</p>	<p>通过轴的学习任务的完成培养学生的创新意识和精益求精的精神。</p>

轴承内圈在轴上的固定方法常为一端用轴肩定位，另一端用圆螺母、轴用弹性挡圈、轴端压板等方法固定。轴承外圈的轴向定位可采用轴承端盖、孔用弹性挡圈、座孔凸肩等方法。

2.滚动轴承组合的调整

滚动轴承组合的调整包括轴承间隙的调整和轴系轴向位置的调整。

(1) 轴承间隙的调整

轴承间隙的大小将影响轴承的旋转精度，传动零件工作的平稳性，故轴承间隙必须能够调整。轴承间隙调整的方法有：

①靠加减轴承盖与机座间垫片的厚度（图 8-17a）或轴承盖与机座间的调整环的厚度（图 8-17b）进行间隙调整。

②利用螺钉推动轴承外圈压盖移动滚动轴承外圈进行间隙调整，调整后用螺母锁紧锁紧（图 8-17c）。

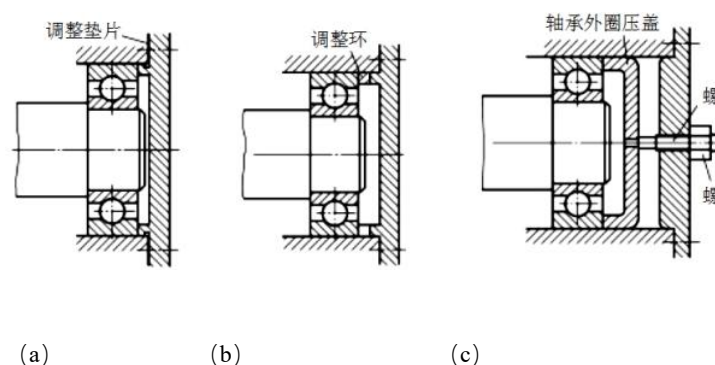


图 8-17 轴承间隙的调整

(2) 轴承的预紧

轴承预紧的目的是提高轴承的精度和刚度，以满足机器的要求。在安装轴承时要施加一定的轴向预紧力，消除轴承的内部的原始游隙，并使套圈与滚动体产生预变形，在承受外载后，仍不出现游隙，这种方法称为轴承的预紧。预紧的方法有：

①在一对轴承内圈或外圈之间加金属垫片（图 8-18a）；

②磨窄外圈或内圈（图 8-18b）。

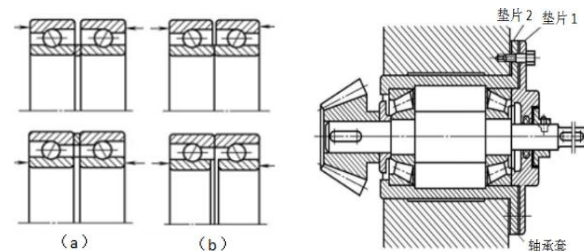


图 8-18 轴承的预紧

图 8-19 轴系位置及轴承间隙调整

(3) 轴承组合位置的调整

轴承组合位置调整的目的，是使轴上零件（如齿轮、带轮等）具有准确的工作位置。如蜗杆传动，要求蜗轮的中间平面必须通过蜗杆轴线；直齿锥齿轮传动，要求两锥齿轮的锥顶点必须重合，方能保证正确啮合。

图 8-19 所示为小锥齿轮轴的轴承组合结构，轴承装在轴承套内，通过加减套杯与箱体间垫片 2 的厚度来调整轴承套杯的轴向位置，即可调整小锥齿轮的轴向位置。而轴承盖与套杯间的垫片 1 是用来调整轴承间隙的。

通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。

知识点 2 滚动轴承的配合与装拆

1. 滚动轴承与轴和座孔的配合

滚动轴承是标准件，因此，轴承内圈与轴的配合采用基孔制，轴承外圈与座孔的配合采用基轴制。一般轴承内圈旋转，内圈与轴选过盈配合，常用 k5、m5、m6、n6、p6、r6 等；外圈不旋转的，外圈与座孔选用有间隙或过盈不大的配合，常用 H7、G7、J7 等。具体选用时可参考标准 GB/T275-2015。

2. 滚动轴承的安装与拆卸

通常轴承内圈与轴颈配合较紧。安装时，小型轴承可采用压力法（如图 8-20）；尺寸较大轴承，可先将轴承放在温度为 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的热油中预热，再安装。拆卸轴承时一般可用压力机或拆卸工具（如图 8-21）。为拆卸方便，设计时应留拆卸高度，或在轴肩上预先开槽，以便安放拆卸工具，使钩爪能钩住内圈。

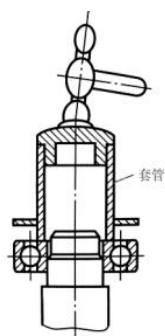


图 8-20 用手锤安装轴承

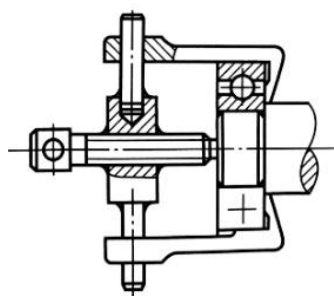


图 8-21 轴承的拆卸

知识点 3 滚动轴承的失效形式及计算准则

一般转速时，轴承套圈滚道和滚动体受变应力作用，滚动轴承的主要失效形式是疲劳点蚀。为了防止疲劳点蚀现象的发生，滚动轴承应按额定载荷进行寿命计算。

转速较低的滚动轴承，可能因过大的静载荷或冲击载荷，使套圈滚道与滚动体接触处产生过大的塑性变形，因此，低速重载的滚动轴承应进行静强度计算。

高速工作的轴承，可能因润滑不良等原因引起磨损甚至胶合，因此，除进行寿命计算外，还要校核极限转速。

知识点 4 滚动轴承的轴承寿命

1. 轴承寿命

轴承的任一滚动体或内、外圈滚道上出现疲劳点蚀以前所经历的总转数，或在一定转速下所经历的工作小时数，称为轴承的寿命。

同一型号尺寸的轴承，由于材料组织及工艺过程中存在差异等原因，即使工作条件完全相同，各个轴承的寿命也不相同，有的甚至相差几十倍。通过对一批同型号轴承进行疲劳试验，测出了不同总转数时疲劳破坏的百分数，即测出了轴承寿命和破坏率的关系曲线，如图 8-22 所示。可见，随着运转次数的增加，轴承疲劳破坏率也增加。一般用 10%破坏率的轴承寿命作为轴承的基本额定寿命，用 L 表示，单位为 $10^6 r$ (10^6 转)。

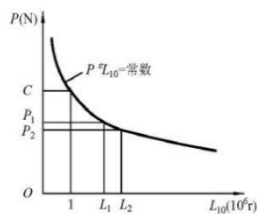
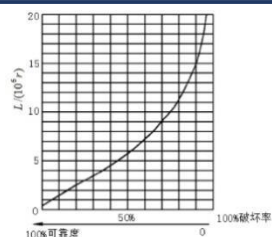


图 8-22 轴承寿命分布曲线 图 8-23 滚动轴承的载荷-寿命曲线

2.轴承寿命计算

滚动轴承的基本额定寿命与承受的载荷有关，其载荷 P 与基本额定寿命 L_{10} 的关系可以用疲劳曲线表示，如图 8-23 所示。疲劳曲线也可用下列方程表示：

$$P^\varepsilon L_{10} = \text{常数} \quad (8-2)$$

式中： P —当量动载荷 (N) ；

ε —寿命指数，球轴承 $\varepsilon=3$ ，滚子轴承 $\varepsilon=10/3$ ；

L_{10} —滚动轴承的基本额定寿命 ($10^6 r$) 。

标准规定，基本额定寿命 $L_{10}=10^6 r$ 时，轴承所能承受的载荷称为基本额定动载荷，用 C 表示，单位为 N。 C 值可由轴承样本中查出。将 $L_{10}=10^6 r$ 代入公式 (8-2) 中得， $P^\varepsilon L_{10} = C^\varepsilon 10^6 = \text{常数}$ ，即：

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^\varepsilon \cdot 10^6 \quad (8-3)$$

实际计算时常年工作小时数来表示寿命，同时考虑工作温度及载荷对轴承寿命的影响，则由上式可得基本额定寿命 L_h 的计算式为：

$$L_{h10} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{f_t C}{f_p P} \right)^\varepsilon \quad (8-4)$$

式中： ε —寿命指数，球轴承 $\varepsilon=3$ ，滚子轴承 $\varepsilon=10/3$ ；

n —轴承的工作转速 (r/min) ；

C —基本额定动载荷 (kN) ， C 值可从附表 1-附表 3 中查得；

P —当量动载荷 (kN) 。

f_t —温度系数，考虑到轴承在工作温度高于 120°C 时，材料硬度下降，

会导致轴承的基本额定动载荷 C 下降, f_t 的值查表 8-15。

f_P —考虑到冲击和振动载荷影响轴承当量动载荷的载荷系数, f_P 的值查表 8-16。

表 8-15 温度系数 f_t

承 工 作 温 度 $t/^{\circ}\text{C}$	12 0	25	50	75	100	125	150	175	200	225
度 系 数 f_t	1.0	.95	.90	.85	.80	.75	.70	.60	.50	.40

表 8-16 载荷系数 f_P

载 荷 性质	f_P	机器举例
无 冲 击 或 轻 微 冲击	1.0 ~ 1.2	电机、汽轮机、水泵、通风机
中 等 冲击振动	1.0 ~ 1.8	车辆、机床、传动装置、起重 机、冶金设备、内燃机、减速器等
强 大 冲击振动	1.8 ~ 3.0	破碎机、轧钢机、石油钻机、 振动筛

如果已知轴承的当量动载荷 P 、转速 n ，设计机器时所要求的轴承预期寿命 L'_h 也已确定，则可计算出轴承应具有的基本额定动载荷 C' 值，从而可根据计算的 C' 值选取所需的轴承。

$$C' = \frac{f_P P}{f_t} \sqrt[6]{\frac{60 n L'_h}{10^6}}$$

(8-5)

在选择轴承型号时，应满足 $C \geq C'$ 。其预期寿命 L'_h 的推荐值按表 8-17 选取。

表 8-17 滚动轴承预期计算寿命推荐值

机器种类		预期寿命 (h)
不经常使用的仪器和设备		500
航空发动机		1000 ~ 2000
间断使用的机器	中断使用不引起严重后果, 如手动机械、农业机械等。	4000 ~ 8000
	中断使用会引起严重后果, 如升降机、运输 机等。	8000 ~ 12000
每天工作 8 小时的机器	利用率不高的齿轮传动、电机等。	12000 ~ 20000
	利用率较高的通讯设备、机床等。	20000 ~ 30000
连续工作 24 小时的机器	一般可靠性的空气压缩机、电机、水泵等。	50000 ~ 60000
	高可靠性的电站设备、给排水装置等。	> 100000

3.当量动载荷 P 的计算

滚动轴承的基本额定动载荷 C 是在一定条件下确定的。对向心轴承是指纯径向载荷；对推力轴承是指纯轴向载荷。寿命计算时, 如果作用在轴承上的实际载荷与上述条件不一样, 必须将实际载荷折算成与上述条件相同的载荷, 在此载荷作用下, 轴承的寿命与实际载荷作用下的寿命相同, 这种折算后的假想载荷称为当量动载荷, 用 P 表示。当量动载荷的计算式为

$$P = XF_r + YF_a \tag{8-6}$$

式中: F_r —轴承所受的径向载荷, 单位为 N;

F_a —轴承所受的轴向载荷, 单位为 N;

X 、 Y —径向载荷系数和轴向载荷系数, 可查表 8-18。

表 8-18 当量动载荷的 X、Y

机械设计基础授课教案

课题 7：轴系零部件——角接触轴承的轴向力计算（2 课时）

课 题	角接触轴承的轴向力计算	
课 时	2 课时（90 min） 注：可以是 1 节课，1 次课（2 节课）为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <p>1.掌握角接触轴承轴向力的计算。</p> <p>2.掌握滚动轴承的润滑与密封。</p> <p>能力目标：</p> <p>1.能分析并计算角接触轴承的轴向力。</p> <p>2.能对滚动轴承进行静强度计算。</p> <p>3.能正确选择滚动轴承的润滑与密封方式。</p> <p>素质目标：</p> <p>培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神，具有标准意识和协作精神。</p>	
教学重难点	<p>教学重点：角接触轴承轴向力的计算、滚动轴承的润滑与密封。</p> <p>教学难点：角接触轴承轴向力的计算。</p>	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<p>■ 【教师】布置课前任务，让同学通过学习通 APP 或其他学习软件，完成课前任务</p> <p>预习课程内容</p> <p>■ 【学生】完成课前任务</p>	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<p>■ 【教师】使用学习通进行签到，清点上课人数，记录好考勤</p> <p>■ 【学生】班干部报请假人员及原因</p>	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<p>■ 【教师】提出以下问题：</p> <p>1.提问复习前次课内容： 滚动轴承的失效形式与产生原因？</p> <p>2. 以带式输送机减速器轴承引入本次课内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>	
传授新知	<p>知识点 1 角接触轴承的轴向力</p> <p>1.角接触轴承内部轴向力的确定</p> <p>角接触轴承在滚动体与外圈滚道接触处存在着接触角 α。当它受到径向</p>	

载荷时，作用在滚动体上的法向力可分解为径向分力和轴向分力（如图 8-24）。各个滚动体上所受轴向分力的合力即为轴承的内部轴向力 S 。内部轴向力 S 的大小的近似计算式见表 8-19。内部轴向力 S 的方向为从外圈的宽边指向窄边。

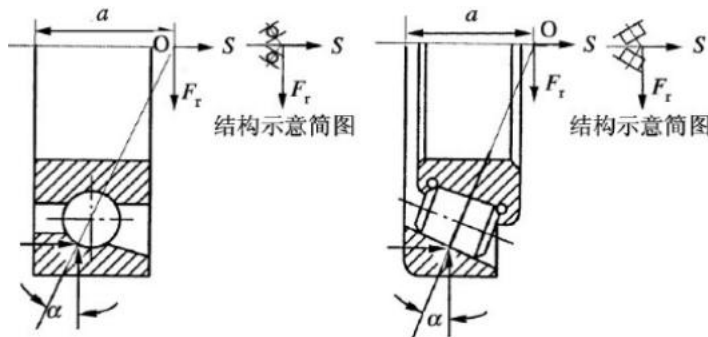


图 8-24 角接触轴承的内部轴向力

表 8-19 内部轴向力的计算公式

轴 承 类 型	角接触球轴承			圆 锥 滚 子轴承 30000 型
	7000C 型 $\alpha = 15^\circ$	7000AC 型 $\alpha = 25^\circ$	7000B 型 $\alpha = 40^\circ$	
内 部 轴 向 力 S	$S = 0.4 F_r$	$S = 0.68 F_r$	$S = 1.14 F_r$	$S = F_r / 2 Y$

注： e 为判别值，初算时 $e=0.4$ 。 Y 为 $F_a / F_r > e$ 时的轴向系数。

2. 轴承的装配形式

角接触轴承成对安装有正装（面对面）和反装（背靠背）两种形式，如图 8-25 所示。

(1) 正装

外圈的窄端面相对，此时两角接触球轴承或圆锥滚子轴承压力的中心距小于两轴承中点的跨距，这种安装方法称为正装，如图 8-25 (a)。正装结构简单，装拆及调整方便，但轴受热伸长会减小轴承的轴向游隙，甚至会卡死。

(2) 反装

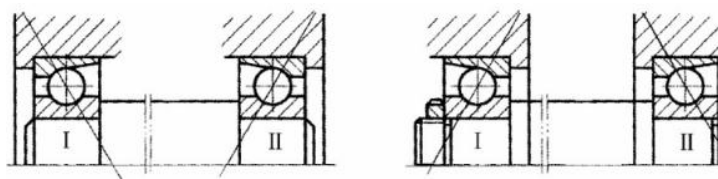
外圈的宽端面相对，此时两角接触球轴承或圆锥滚子轴承压力的中心距大于两轴承中点的跨距，这种安装方法称为反装，如图 8-25 (b)。显然，轴的热膨胀会增大轴承的轴向游隙。另外，反装结构较复杂，装拆及调整不方便。

(3) 正、反装的刚度分析

当传动零件悬臂安装时，反装的轴系刚度比正装的轴系高，这是因为反装的轴承压力中心距较大，使轴承的反力、变形及轴的最大弯矩和变形均小于正装。当传动零件介于两轴承中间时，正装使轴承压力中心距减小而有利于提高轴的刚度，反装则相反。

通过轴的学习任务的完成培养学生的创新意识和精益求精的精神。

通过教师引导提问——学生思考解答



(a) 正装 (面对面) (b) 反装 (背靠背)

图 8-25 角接触轴承成对安装的形式

3. 角接触轴承轴向载荷 F_{a1} 与 F_{a2} 的计算

如图 8-26 所示, 根据力的平衡关系, 当轴处于平衡状态时, 应满足:

$$S_2 + F_a = S_1$$

如果不满足上述关系时, 则可能会出现以下两种情况:

(1) $S_2 + F_a > S_1$ 。如图 8-26 (a) 中, 轴有向左移动的趋势, 此时轴承 I 被压紧, 但由于轴承 I 外圈受到轴向约束, 实际上轴并没有移动, 根据力的平衡关系, 这个轴向约束反力 S'_1 为: $S'_1 = S_2 + F_a - S_1$

因此, 作用在轴承 I 上的总的轴向力 F_{a1} 为 S_1 与 S'_1 的和, 而轴承 II 则只受到自身的内部轴向力 S_2 , 即:

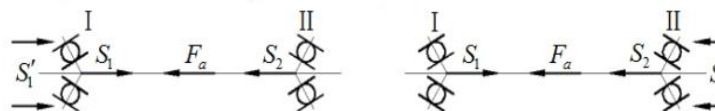
$$\left. \begin{aligned} F_{a1} &= S_1 + S'_1 = S_2 + F_a \\ F_{a2} &= S_2 \end{aligned} \right\} \quad (8-7)$$

(2) $S_2 + F_a < S_1$ 。如图 8-26 (b) 中, 此时轴有向右移动的趋势, 轴承 II 被压紧, 同理, 为保持轴的平衡, 在轴承 II 的外圈上必有一个轴向约束反力 S'_2 的作用, 约束反力 S'_2 为:

$$S'_2 = S_1 - (S_2 + F_a)$$

因此, 作用在轴承 II 上的总轴向力 F_{a2} 为 S_2 与 S'_2 的和, 而轴承 I 则只受到自身的内部轴向力 S_1 。即:

$$\left. \begin{aligned} F_{a1} &= S_1 \\ F_{a2} &= S_2 + S'_2 = S_1 - F_a \end{aligned} \right\} \quad (8-8)$$



——教师讲解——
学生再思考理解, 层层递进, 将工匠精神潜移默化, 培养独立分析思考的能力。

(a) (b)

图 8-26 轴向力示意图

角接触轴承轴向载荷的计算方法可归纳如下：

(1) 判断出轴上全部轴向力，即所有轴向外载荷 F_a 及轴承的内部轴向力 S 的大小和方向；

(2) 根据 F_a 、 S_1 、 S_2 判定轴的移动趋势，从而确定轴承的“压紧”端和“放松”端；

(3) 被“压紧”轴承的轴向力等于除其本身的内部轴向力以外的所有轴向力的代数和，被“放松”轴承的轴向力等于其本身的内部轴向力。

知识点 2 滚动轴承的静强度计算

1. 滚动轴承的额定静载荷

滚动轴承受载后，在应力最大的滚动体与滚道接触处产生的永久塑性变形量之和为滚动体直径的万分之一时，所承受的载荷称为滚动轴承的额定静载荷，以 C_{0r} 表示。

2. 当量静载荷

当轴承同时承受径向和轴向的复合载荷时，需折算成当量静载荷进行计算。当量静载荷为一假定的载荷，在此载荷作用下，滚动轴承与套圈接触处产生的塑性变形量之和与实际的复合载荷作用下产生的塑性变形量相等，以 P_0 表示。其计算公式为：

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad (8-9)$$

式中： X_0 、 Y_0 —滚动轴承静载荷的径向系数与轴向系数，可查表 8-20。

表 8-20 静载荷的 X_0 、 Y_0 系数

轴承类型	代号	单列轴承		双列轴承 (或成对使用)	
		X_0	Y_0	X_0	Y_0
深沟球轴承	60000	0.6	0.5	—	—
调心球轴承	10000	—	—	1	$0.4 \cot \alpha$

调 心 滚 子 轴 承	20000	—	—	1	0.4 $4 \cot \alpha$
角 接 触 球 轴 承	70000C	0.5	0.4 6	1	0.9 2
	70000A C	0.5	0.3 8	1	0.7 6
圆 锥 滚 子 轴 承	30000	0.5	0.2 $2 \cot \alpha$	1	0.4 $4 \cot \alpha$
推 力 轴 承	50000	2.3 $\tan \alpha$	1	2.3	1
	80000			$\tan \alpha$	

3.静载荷的计算

对于缓慢摆动或极低速转动的轴承，为避免产生过大的塑性变形，在选择轴承尺寸时，应进行轴承的静载荷计算。滚动轴承的静强度计算公式为：

$$P_0 \leq \frac{C_{0r}}{S_0} \quad (8-10)$$

式中： S_0 —静强度许用安全系数，查表 8-21。

P_0 —当量静载荷（N）；

C_{0r} —滚动轴承的额定静载荷（N），由轴承手册查得。

表 8-21 静强度许用安全系数 S_0

工作条件	S_0
旋转精度和平稳性要求高或受强大冲击载荷的轴承	1.2 ~ 2.5
一般情况	0.8 ~ 1.2
旋转精度低，允许摩擦力矩大，没有冲击振动的轴承	0.5 ~ 0.8

知识点 3 滚动轴承的润滑与密封

1.滚动轴承的润滑

润滑的主要目的是减小轴承的摩擦与磨损，还有吸收振动、降低温度和噪声等作用。滚动轴承的润滑剂有润滑脂、润滑油或固体润滑剂。一般

情况下，滚动轴承采用润滑脂润滑，具体选择可按速度因数 dn 值来确定， d 为轴承内径（mm）， n 为轴承转速（r/min）。当 $dn < (1.5 \sim 2) \times 10^5 \text{ mm} \cdot \text{r} / \text{min}$ 时，可采用润滑脂润滑，超过此范围时宜采用润滑油润滑。

因润滑脂不易流失，故便于密封和维护，且一次充填润滑脂可运转较长时间，但是转速较高时，脂润滑功率损失较大。润滑脂在轴承中的填充量不要超过轴承内空隙的 1/3 ~ 1/2，否则轴承容易过热。

油润滑时，油的粘度可根据轴承的速度因数 dn 值和工作温度 t 来选择，如图 8-27 所示。油量不宜过大，当采用浸油润滑时，要注意油面高度不要超过轴承中最低滚动体的中心，否则搅油损失大，轴承温升较高。高速时则应采用滴油或油雾润滑。在润滑油的选择上，原则是：轴承载荷大，温度高，转速较低时选用粘度高的油；反之选用粘度低的油。油润滑比脂润滑摩擦阻力小，并能散热，主要用于高速或工作温度较高的轴承。

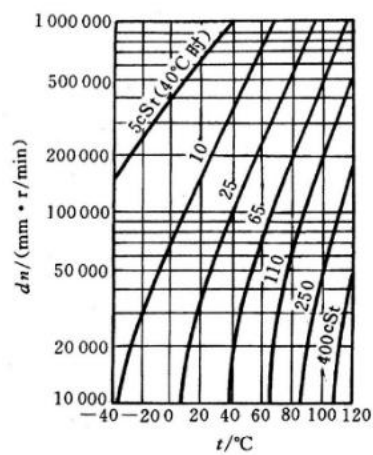


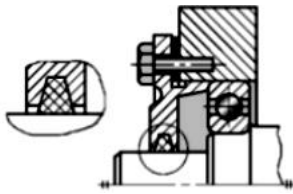
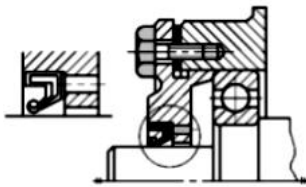
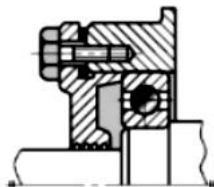
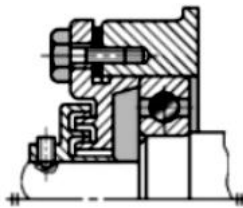
图 8-27 润滑油粘度的选择

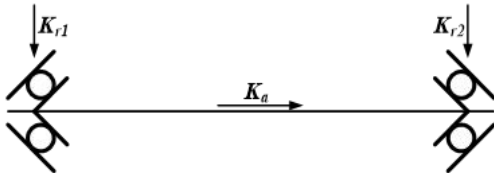
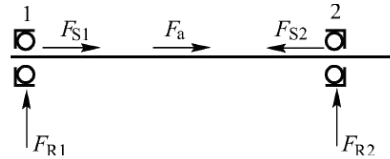
2.滚动轴承的密封

轴承密封的目的是为了防止外部灰尘、水分及其他杂质等进入轴承，并防止轴承内润滑剂流失。轴承的密封方法很多，通常可归纳为接触式密封与非接触式密封两大类。选择轴承的密封方式时应考虑密封的目的、润滑剂的种类、工作环境、温度、密封表面的线速度等。接触式密封适用于线速度较低场合，为了减少密封件的磨损，轴表面粗糙度 Ra 宜小于 $1.6 \sim 1.8 \mu m$ ，轴表面硬度应在 40HRC 以上。非接触式密封不受速度限制。常用的滚动轴承密封型式见表 8-22。

表 8-22 常用的滚动轴承密封型式

密封	图 例	适用场合	说 明
----	-----	------	-----

类型					
接触式密封				脂润滑，要求环境清洁，轴颈圆周速度 v 不大于 $4 \sim 5\text{m/s}$ ，工作温度不超过 90°C 。	矩形断面的毛毡圈被安装在梯形槽内，它对轴产生一定的压力而起到密封作用。
				脂或者油润滑，要求环境清洁，轴颈圆周速度 v 不大 $< 7\text{m/s}$ ，工作温度范围为 $-40 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。	唇形密封圈用皮革、塑料或耐油橡胶制成，有的具有金属骨架，有的没有，是标准件，单向密封。
非接触式密封	间隙密封			脂润滑，干燥、清洁环境	靠轴与盖间的细小环形间隙密封，间隙愈小愈长，效果愈好，间隙 δ 取 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 。
	曲路密封	径向密封		脂润滑或油润滑，工作环境不高于密封用脂的滴点。密封效果可靠。	将旋转件与静止件之间的间隙做成迷宫（曲路）形式，在间隙中充填润滑油或润滑脂以加强密封效果。迷宫

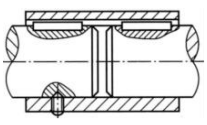
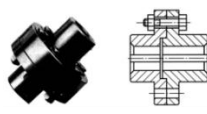
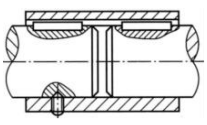
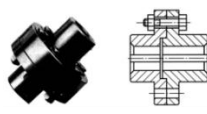
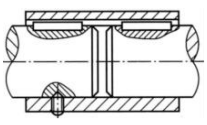
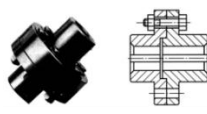
					式密封分径向、轴向两种。左图为径向曲线，径向间隙 δ 不大于 0.1 ~ 0.2mm。	
<p>知识点 4 实例讲解及练习</p> <p>1. 根据工作条件，决定在某传动轴上安装一对角接触向心球轴承(如图所示)，已知两个轴承受到的径向载荷分别为 $F_{r1} = 1650N$ 和 $F_{r2} = 3500N$，外加轴向力 $K_a = 1020N$，载荷系数 $f_p = 1$。</p> <p>若内部轴向力 $S = 0.7 F_r$，试计算两个轴承实际受到的轴向载荷 F_{a1} 和 F_{a2}。已知 $e = 0.65$，当 $F_a / F_r \leq e$ 时，$X = 1$，$Y = 0$；当 $F_a / F_r > e$ 时，$X = 0.84$，试计算两轴承的当量动载荷 P_1 和 P_2</p>  <p>2. 已知 7208AC 轴承，$n = 1450 \text{r/min}$，$F_a = 1000N$，$F_{R1} = 1500N$，$F_{R2} = 750N$，有中等冲击，要求预期寿命为 6000h。试该校核该轴承能否满足要求？</p> 						
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 				
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 				
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>42、角接触轴承的轴向力</p> <p>43、滚动轴承的静强度计算</p>					总结回顾，巩固夯实


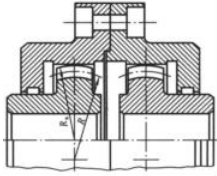
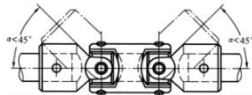
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 	
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 完成练习题与学习通章节测试 ■ 【学生】完成课后任务 	反思学习, 自我提升
教学反思	轴向力的计算较难, 有些同学难理解, 下次思考怎样能讲得简单易懂。	

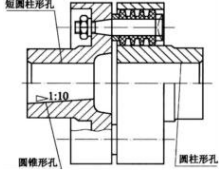
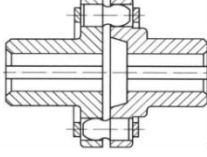
机械设计基础授课教案

课题 7: 轴系零部件——联轴器与离合器 (2 课时)

课 题	联轴器与离合器	
课 时	2 课时 (90 min) 注: 可以是 1 节课, 1 次课 (2 节课) 为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标: 1.掌握联轴器的类型、特点和应用; 2.掌握联轴器的选择; 3.了解离合器类型及特点。 能力目标: 1.能够根据工作条件正确选择联轴器。 素质目标: 培养学生严谨细心、科学规范的工匠精神, 具有标准意识和协作精神。	
教学重难点	教学重点: 联轴器的类型及特点。 教学难点: 联轴器的选择。	
教学方法	讲授法、讨论法、案例法、任务驱动法	
教学用具	课本、教案、课件、视频资料、投影仪	
教学设计	课前任务→考勤→问题导入→传授新知→强化训练→课堂小结→作业布置	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课前任务, 让同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 预习课程内容 ■ 【学生】完成课前任务 	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因 	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
问题导入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】提出以下问题: 1.提问复习前次课内容: 角接触球轴承内部轴向力的方向? 滚动轴承的润滑形式?	

	<p>2. 以螺旋输送机电动机轴和减速机高速轴之间的联轴器引入本次课内容。</p> <p>■ 【学生】思考、举手回答</p>									
传授新知	<p>知识点 1 联轴器的类型及特点</p> <p>联轴器是用来连接两轴或轴与其他回转零件，使之共同回转并传递转矩的装置。</p> <p>在机器中，联轴器连接的两轴，由于制造、安装等误差，加上承载后支承的弹性变形及温度变化的影响，往往不能保证严格对中而引起相对位置的变化，如图 8-38 所示。这就要求所设计或选用的联轴器有一定的适应能力，否则就会在轴、联轴器和轴承上引起附加载荷，使机器运行时出现剧烈振动，工作情况严重恶化。</p> <div data-bbox="427 683 1129 828"> <p>轴向位移 径向位移 角位移 综合位移</p> </div> <p>图 8-38 联轴器所连两轴的偏移形式</p> <p>联轴器的种类很多，根据内部是否含弹性元件，可分为刚性联轴器和挠性联轴器两大类。刚性联轴器根据结构特点又可分为固定式与可移式两种。可移式刚性联轴器对两轴间的偏移量具有一定的补偿能力。挠性联轴器具有弹性元件，可缓和冲击和振动，并可补偿两轴间的偏移。常用联轴器的分类与特点见表 8-26。弹性套柱销联轴器(LT 型—基本型)的形式、基本参数和主要尺寸 (GB/T4323-2017) 见附表 4。</p> <p>表 8-26 常用联轴器的分类与特点</p> <table> <tr> <th>类型</th><th>结 构</th><th>特 点</th></tr> <tr> <td rowspan="2">固 定式刚 性联轴 器</td><td>套 筒联轴 器 </td><td> <p>用键或销把套筒与两轴连接起来，以传递转矩。</p> <p>结构简单，径向尺寸小，容易制造，但拆卸较困难。常用于两轴直径较小、同轴度要求较高、工作平稳的场合。</p> </td></tr> <tr> <td>凸 缘联轴 器 </td><td> <p>由两个带有凸缘的半联轴器用螺栓连接而成。两半联轴器与轴分别用键相连。</p> <p>无补偿性能，对两轴安装精度要求较高</p> </td></tr> </table>	类型	结 构	特 点	固 定式刚 性联轴 器	套 筒联轴 器 	<p>用键或销把套筒与两轴连接起来，以传递转矩。</p> <p>结构简单，径向尺寸小，容易制造，但拆卸较困难。常用于两轴直径较小、同轴度要求较高、工作平稳的场合。</p>	凸 缘联轴 器 	<p>由两个带有凸缘的半联轴器用螺栓连接而成。两半联轴器与轴分别用键相连。</p> <p>无补偿性能，对两轴安装精度要求较高</p>	<p>通过轴的学习任务的完成培养学生的创新意识和精益求精的精神。</p>
类型	结 构	特 点								
固 定式刚 性联轴 器	套 筒联轴 器 	<p>用键或销把套筒与两轴连接起来，以传递转矩。</p> <p>结构简单，径向尺寸小，容易制造，但拆卸较困难。常用于两轴直径较小、同轴度要求较高、工作平稳的场合。</p>								
	凸 缘联轴 器 	<p>由两个带有凸缘的半联轴器用螺栓连接而成。两半联轴器与轴分别用键相连。</p> <p>无补偿性能，对两轴安装精度要求较高</p>								

	可 移动式 刚性联 轴器	滑 块联轴 器	 <p>两轴线间的径向偏移允许量为 $[y] \leq 0.04d$ (d 为轴径)；允许偏移角为 $[\alpha] \leq 30'$；轴的转速不宜超过 300r/min。</p> <p>滑块联轴器径向尺寸小、结构简单，但不耐冲击、易磨损，适用于轴的刚度大、转速低、两轴同轴度误差较大的场合。</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考解答——教师讲解——学生再思考理解，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考的能力。</p>
		齿 式联轴 器	 <p>由有外齿的半联轴器和有内齿的外壳组成，两外壳用螺栓连成一体。能补偿两轴的相对轴向、径向、偏角或综合位移。允许的径向位移 $[y] \leq 0.4 \sim 6.3 \text{ mm}$，允许的偏移角 $[\alpha] \leq 3^\circ$。结构较复杂，成本较高。常应用于重型机械和起重设备中。</p>	
		万 向联轴 器	 <p>将固结在主、从动轴上的叉形接头和十字头用销铰接而成。两轴线不重合时，主动轴的角速度为 ω_1 时，从动轴的角速度 ω_2 作周期性变化。</p> <p>结构紧凑，维护方便，适用于工作时两轴偏移角较大的场合。</p>	

	弹性套柱销联轴器		<p>用套有弹性套的圆柱销代替螺栓连接。常采用耐油橡胶作为弹性套。</p> <p>联轴器的径向偏移允许量 $[y] \leq 0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$, 角偏移允许量 $[\alpha] \leq 1^\circ$。</p>
	弹性柱销联轴器		<p>用弹性柱销代替弹性套和金属销。为了防止柱销脱落, 在柱销两端配置挡圈。挡圈用螺钉固定在半联轴器的外侧面。柱销可用酚醛布棒、尼龙等制造。</p> <p>结构简单, 耐磨性好, 具有一定的缓冲和吸振能力。适用于轴向窜动量较大、起动频繁、经常正反转的高低速传动。允许的径向偏移量为 $[y] \leq 0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$, 允许的角偏移为 $[\alpha] \leq 30'$。</p>
<p>知识点 2 联轴器的选择</p> <p>常用的联轴器大多已标准化, 使用时只需参考有关于册, 根据具体的工作条件选择合适的联轴器, 也可以参考同类机械或相似机械上的应用进行选择, 若标准不能满足要求则需自行设计。选用联轴器的基本步骤如下。</p> <p>(一) 联轴器类型的选择</p> <p>不同类型的联轴器, 其工作性能差异很大, 成本差异也很大, 选择联轴器前需全面了解常用联轴器的结构特点、使用性能和场合。各类联轴器的每一规格都有固定的安装尺寸和相应的许用转速、许用转矩, 应按被连接轴的直径、所传递的转矩和转速值来选定具体的规格。</p> <p>选择联轴器类型应考虑的主要因素有:</p> <ol style="list-style-type: none">1. 两轴对中情况。低速、刚性大的短轴, 或当两轴对中准确、工作时两轴线不会发生相对偏移时, 可选择固定式刚性联轴器; 不能保证两轴严格对中或工作时会发生相对偏移选用挠性联轴器。2. 载荷情况。载荷平稳或变动不大时选用刚性联轴器, 经常启动或载荷变化大时选用有弹性元件的挠性联轴器。			

3.轴的工作转速。选择时必须满足轴的工作转速小于联轴器许用转速的要求。低速时选用刚性联轴器，高速时选用有弹性元件的联轴器。

4.环境情况。环境温度低（< -20℃）或高（> 45℃）不宜选用具有橡胶或尼龙做弹性元件的联轴器。

(二) 联轴器的计算转矩

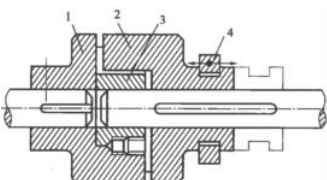
在选择和计算联轴器时，传递的最大转矩应考虑启动时的惯性力矩，以及过载等因素。但确定这些载荷往往需要繁琐的计算，选用和校核联轴器时，通常用计算转矩界。作为最大转矩来考虑。计算转矩按下式计算：

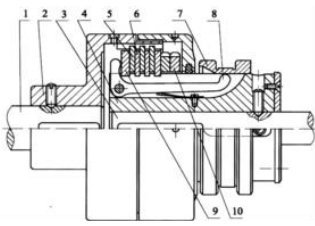
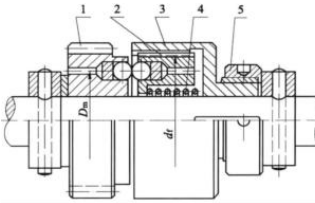
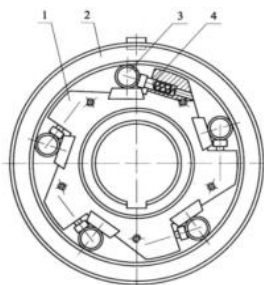
$$T_c = K_A T = K_A \times 9550 \times \frac{P_w}{n}$$

式中， K_A 是工作情况系数，见表 8-27； P_w 是驱动功率（kW）； n 是转速（r/min）。

表 8-27 工作情况系数 K_A

分 类	工作情况及 举例	电 动 机、 汽轮机	四 缸 及 以 上 内 燃 机	双 缸 内 燃 机	单 缸 内 燃 机
I	转矩变化很小，如发电机、小型通风机、小型离心泵	1.3	1.5	1.8	2.2
II	转 矩 变 化 小，如涡轮压缩机、木工机床、运输机	1.5	1.7	2.0	2.4
III	转矩变化中等，如搅拌机、增压泵、有风轮的压缩机、冲床	1.7	1.9	2.2	2.6
IV	转矩变化和冲击载荷中等，如织布机、水泥搅拌机、拖拉机	1.9	2.1	2.4	2.8
V	转矩变化和冲击载荷大，如造纸机、挖掘机、起重机、碎石机	2.3	2.5	2.8	3.2
VI	转矩变化大并有极强烈冲击载荷，如压延机、无飞轮的活塞	3.1	3.3	3.6	4.0

	泵、中型初轧机				
<p>(三) 查联轴器标准, 根据 $T_c < T_n$ 确定联轴器的型号, T_n 为该型号联轴器的公称转矩。</p> <p>(四) 按 $n \leq [n]$ 校核最大转速, $[n]$ 为所选联轴器允许的最高转速。</p> <p>(五) 协调轴孔直径。多数情况下, 每一型号的联轴器适用的直径均有一个范围。标准中或者给出轴直径的最大和最小值, 或者给出适用直径的尺寸系列, 被连接两轴的直径应当在此范围之内。一般情况下, 被连接两轴轴端的直径是不同的, 两个轴端的形状也可能是不同的。</p> <p>(六) 规定部件相应的安装精度。</p>					
<p>知识点 3 离合器的类型及特点</p> <p>离合器可用于各种机械, 并随时实现两轴的接合和分离。它的主要功用是用来操纵机器传动系统的断续, 以便进行变速及换向等。此外, 还可用于对重要零件的过载保护。</p> <p>根据工作原理的不同, 操纵式离合器主要分为啮合式和摩擦式两大类。它们分别利用接合元件牙齿的啮合(啮合式)和工作表面之间的摩擦(摩擦式)来传递转矩。对操纵式离合器的主要要求是: 接合平稳、分离彻底、工作可靠、易于操作、调节维修方便、尺寸小、重量轻、散热好、耐磨损、成本低。常用操纵式离合器的类型及特点见表 8-28。</p>					
表 8-28 常用操纵式离合器的类型及特点					
类 型	结构		特点		
牙 嵌 离 合 器	 <p>1、2-半离合器 3-对中环 4-拨叉</p>		<p>由两个端面上有牙的半离合器组成, 其中左边的半离合器固定在主动轴上, 右边的半离合器用导向键(或花键)与从动轴连接, 并可用操纵机构使其作轴向移动。</p> <p>结构简单, 外廓尺寸小, 接合后两半离合器没有相对滑动。但由于其为刚性啮合、有冲击, 故宜在两轴的转速相差较小的情况下接合。</p>		

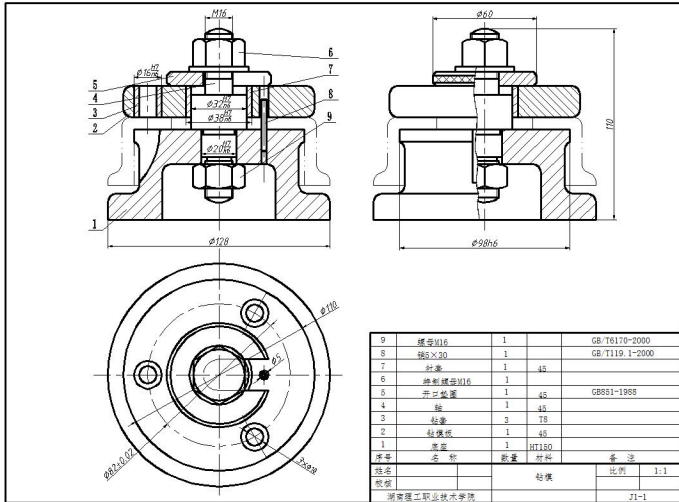
	<p>多 盘式摩 擦离合 器</p>	 <p>1-主动轴 2-外鼓轮 3-从动轴 4-套筒 5-外摩擦盘 6-内摩擦盘 7-滑环 8-曲臂压杆 9-压板 10-调节螺母</p>	<p>此离合器有内、外两组摩擦盘：外摩擦盘组通过花键与外鼓轮相连，外鼓轮则与主动轴用键连接；内摩擦盘组通过花键与套筒相连，套筒则与从动轴用键连接。滑环 7 在操纵机构控制下可沿轴向移动。</p> <p>两轴无论在何转速差的情况下都可以离合。应限制其表面温度。</p>	
	<p>滚 珠安全 离合器</p>	 <p>1-主动齿轮 2-从动盘 3-外套筒 4-弹簧 5-调节螺母</p>	<p>主动齿轮 1 活套在轴上，外套筒 3 用花键与从动盘连接，同时又用键与轴相连。在主动齿轮 1 和从动盘 1 的端面内，各沿半径为 R 的圆周上制有数量相等的滚珠承窝（一般为 4 ~ 8 个），承窝中装入滚珠。</p> <p>宜用于传递小转矩</p>	
	<p>滚 柱式超 越离合 器</p>	 <p>1—星轮 2—外圈 3—滚柱 4—弹簧顶杆</p>	<p>星轮和外圈均可作为主动件。以星轮为主动件旋转时，滚柱受摩擦力的作用被楔紧在槽内，从而带动外圈一起转动，离合器处于接合状态；当星轮反转时，滚柱将滚到槽的宽敞部分，不再楔紧在槽内，离合器便处于分离状态。</p> <p>无噪声，宜用于高速传动。缺点是精度要求较高，不易调</p>	

			整与维修。	
		<p>知识点 4 实例讲解及练习</p> <p>1.刚性联轴器和挠性联轴器有何区别？各适用于何种场合？</p> <p>2.为螺旋输送机选择电动机轴和减速机高速轴之间的联轴器（如图）。电动机为三相异步电动机，功率 $P=11\text{kW}$，电动机转速 $n=970\text{r/min}$，轴径为 $d_1=42\text{mm}$，轴伸长度 $L=110\text{mm}$。减速器的输入轴直径为 $d_2=35\text{mm}$，轴伸长度 $L=82\text{mm}$。载荷平稳，启动过载不超过正常载荷的 15%。</p>		
强化训练	变式训练	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】通过课堂例题进行变式训练 ■ 【学生】黑板板演 ■ 【教师】巡视纠错 		
	课堂达标	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置练习题 ■ 【学生】练习 		
课堂小结	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】简要总结本节课的要点 <p>44、联轴器的类型及特点</p> <p>45、联轴器的选择</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】总结回顾知识点 		总结回顾，巩固夯实	
作业布置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 【教师】布置课后作业 <p>完成练习题与学习通章节测试</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 【学生】完成课后任务 		反思学习，自我提升	
教学反思	理论讲解+相应的动画视频，帮助同学更好的掌握联轴器的类型及特点。			

机械设计基础（实训）授课教案

任务 1：拆画钻模装配图零件（6 课时）

任务名称	拆画钻模装配图零件	
课 时	6 课时（270 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 6 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.了解钻模的工作原理2.了解钻模各零件在装配图中的作用3.了解本任务中要拆画零件的结构4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等 <p>素质目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.具有创新意识。2.具有团结协作与互帮互助的意识3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	<p>教学重点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.钻模的工作原理。2.零件图绘制的方法。3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。4.装配图的识图方法。 <p>教学难点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务（供参考）	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课前任务,和学生负责人取得联系,让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务学生课前复习机械制图中装配图的规定画法、零件图的绘制方法。■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
任务导入	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】任务描述:对任务进行解读,细化任务分工(分组),明	任务明确,目标驱

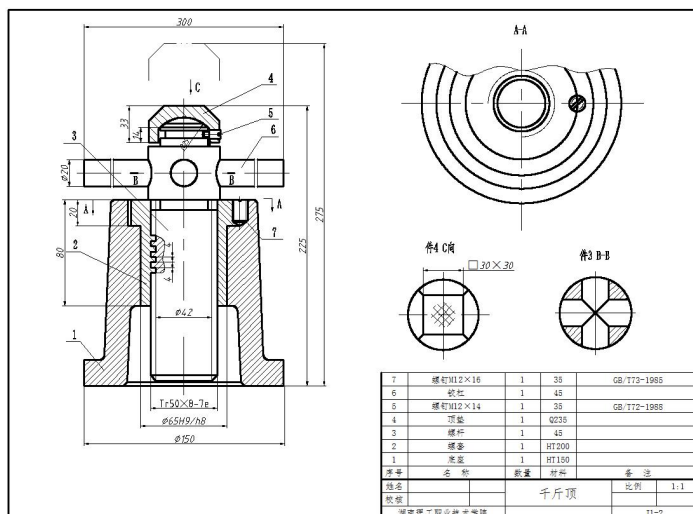
	<p>确考核要求。</p> <p>分组讨论并完成钻模装配图中 1（底座）、2（钻模板）、4（轴）三张零件图的绘制。</p> <div><table data-bbox="753 665 1066 835"><tr><td>9</td><td>螺母M16</td><td>1</td><td></td><td>GB/T6170-2000</td></tr><tr><td>8</td><td>垫圈20</td><td>1</td><td></td><td>GB/T119.1-2000</td></tr><tr><td>7</td><td>衬套</td><td>1</td><td>45</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>钻套M16</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>开孔衬套</td><td>1</td><td>45</td><td>GB681-1988</td></tr><tr><td>4</td><td>轴</td><td>1</td><td>45</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>钻套</td><td>3</td><td>35</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>钻模板</td><td>1</td><td>45</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>底座</td><td>1</td><td>HT150</td><td></td></tr><tr><td>序号</td><td>名称</td><td>数量</td><td>材料</td><td>备注</td></tr><tr><td>姓名</td><td></td><td></td><td>制图</td><td>比例 1:1</td></tr><tr><td>教师</td><td></td><td></td><td>审核</td><td></td></tr><tr><td colspan="5">湖南理工职业技术学院</td></tr></table></div> <p>■ 【学生】接受任务，明确任务分工及要求，做好任务前期准备。</p>	9	螺母M16	1		GB/T6170-2000	8	垫圈20	1		GB/T119.1-2000	7	衬套	1	45		6	钻套M16	1			5	开孔衬套	1	45	GB681-1988	4	轴	1	45		3	钻套	3	35		2	钻模板	1	45		1	底座	1	HT150		序号	名称	数量	材料	备注	姓名			制图	比例 1:1	教师			审核		湖南理工职业技术学院					<p>动，培养团队协作精神。</p> <p>夹具用以保证零件的加工精度要求。而只有保证了夹具的精度要求才能保证零件的加工要求。机械加工是制造业重要组成部分，钻模是如何保证零件的加工要求的呢？</p>
9	螺母M16	1		GB/T6170-2000																																																															
8	垫圈20	1		GB/T119.1-2000																																																															
7	衬套	1	45																																																																
6	钻套M16	1																																																																	
5	开孔衬套	1	45	GB681-1988																																																															
4	轴	1	45																																																																
3	钻套	3	35																																																																
2	钻模板	1	45																																																																
1	底座	1	HT150																																																																
序号	名称	数量	材料	备注																																																															
姓名			制图	比例 1:1																																																															
教师			审核																																																																
湖南理工职业技术学院																																																																			
任务实施	<p>■ 实施过程 1 引入任务</p> <p>根据钻模装配图，回答以下问题：</p> <p>1.该钻模工作原理？各零件作用是什么？</p> <p>2.如何识读装配图？</p> <p>3.绘制零件视图、尺寸标注、形位公差、技术要求应考虑哪些方面？</p> <p>■ 实施过程 2 释疑任务</p> <p>1.钻模的工作原理</p> <p>2.装配图的识读</p> <p>3.装配图中零件图的绘制</p> <p>4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求</p> <p>■ 实施过程 3 完成任务</p> <p>学生完成钻模装配图中 1（底座）、2（钻模板）、4（轴）三张零件图的绘制，教师答疑解惑。</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。</p>																																																																	
任务小结	<p>■ 【教师】简要总结本任务实施要点</p> <p>1.拆画的零件图视图的表达</p> <p>2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求</p> <p>3.图幅的选择及标题栏的填写</p> <p>■ 【学生】总结回顾</p>	<p>总结回顾，巩固夯实</p>																																																																	
课程任务	<p>■ 【教师】布置课后任务</p> <p>完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。</p> <p>■ 【学生】完成课后任务</p>	<p>反思学习，自我提升</p>																																																																	
教学反思	<p>此前学生未接触过此种钻模，绘制底座时，缺乏考虑零件的加工要求，导致学生在绘制圆弧部分时无从下手。在指导过程中，应结合零件的加工，同时加强学生的动手能力，采用分组教学法，由动手能力强的学生指导差的学生。</p>																																																																		

机械设计基础（实训）授课教案

任务 2：拆画千斤顶装配图零件（4 课时）

任务名称	拆画千斤顶装配图零件	
课 时	4 课时（180 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.了解千斤顶的工作原理2.了解千斤顶各零件在装配图中的作用3.了解本任务中要拆画零件的结构4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 <p>素质目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.具有创新意识。2.具有团结协作与互帮互助的意识3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	<p>教学重点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.千斤顶的工作原理。2.零件图绘制的方法。3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。4.装配图的识图方法。 <p>教学难点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课前任务,和学生负责人取得联系,让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务学生预习并讨论如何拆画千斤顶的零件图。■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
任务导入	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】任务描述:对任务进行解读,细化任务分工(分组),明	任务明确,目标驱

分组讨论并完成千斤顶装配图中 1（底座）、3（螺杆）两张零件图的绘制。



动, 培养团队协作精神。

千斤顶是干什么用的呢？那这螺旋千斤顶是怎么顶起重物的呢？有一句古话，叫四两拨千斤。怎么理解呢？通过转动螺杆，螺母不动，螺杆上升，从而将重物举起。螺旋千斤顶还具有自锁的功能。重物被举起后不再往下掉，起保护作用。小机械，作用大！这么一个千斤顶能够顶起 50 辆小轿车呢。

任务实施

根据千斤顶装配图，思考讨论以下问题：

1.该千斤顶工作原理？各零件作用是什么？

2.如何识读装配图?

3.绘制零件视图、尺

■ 实施过程 2 释疑任务及演示

1.千斤顶的工作原理

2.装配图的识读

3.装配图中零件图的绘制

4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求

■ 实施过程3 完成任务

学生完成千斤顶装配图中 1 (底座)、3 (螺杆) 两张零件图的绘制, 教师答疑解惑。

通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。

任务小结

■ **【教师】**简要总结本任务实施要点

1.拆画的零件图视图的表达

2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求

3.图幅的选择及标题栏的填写

■ 【学生】总结回顾

总结回顾, 巩固夯实

课程任务

■ 【教师】布置课后任务

完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。

■ 【学生】完成课后任务

反思学习，自我提升

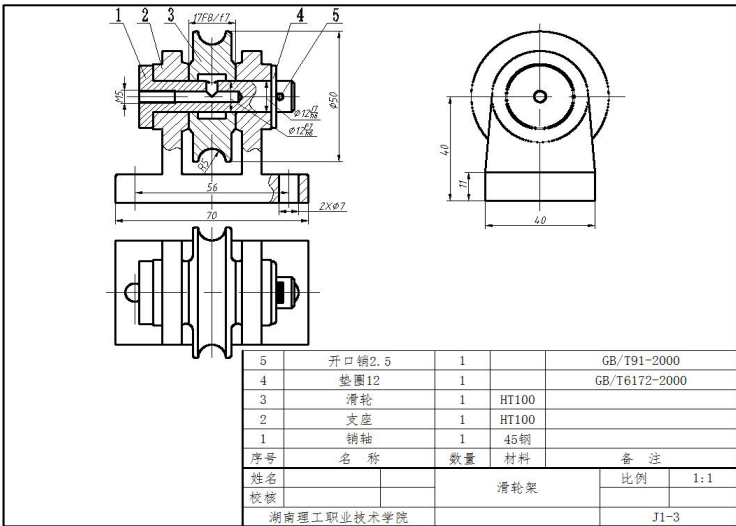
教学反思

千斤顶较为熟悉，大多数学生理解其工作原理。学生在绘图中问题最多的地方在序号 3 螺杆螺纹部分的绘制及尺寸标注、序号 1 底座斜度的绘制及标注，在指导过程中，要求学生多查阅资料，多练习。

机械设计基础（实训）授课教案

任务 3：拆画滑轮架装配图零件（2 课时）

任务名称	拆画滑轮架装配图零件	
课 时	2 课时（90 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.了解滑轮架的工作原理 2.了解滑轮架各零件在装配图中的作用 3.了解本任务中要拆画零件的结构 4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 能力目标： 1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。 2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 素质目标： 1.具有创新意识。 2.具有团结协作与互帮互助的意识 3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	教学重点： 1.滑轮架的工作原理。 2.零件图绘制的方法。 3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。 4.装配图的识图方法。 教学难点： 1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	■ 【教师】布置课前任务, 和学生负责人取得联系, 让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 学生预习并讨论如何拆画滑轮架的零件图。 ■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民

任务导入	<div>■ 【教师】任务描述：对任务进行解读，细化任务分工（分组），明确考核要求。</div> <div>分组讨论并完成滑轮架装配图中 2（支座）、3（滑轮）两张零件图的绘制。</div> <div><table data-bbox="627 732 1126 911"><tr><td>5</td><td>开口销2.5</td><td>1</td><td></td><td>GB/T91-2000</td></tr><tr><td>4</td><td>垫圈12</td><td>1</td><td></td><td>GB/T6172-2000</td></tr><tr><td>3</td><td>滑轮</td><td>1</td><td>HT100</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>支座</td><td>1</td><td>HT100</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>销轴</td><td>1</td><td>45钢</td><td></td></tr><tr><td>序号</td><td>名 称</td><td>数 量</td><td>材 料</td><td>备 注</td></tr><tr><td>姓名</td><td></td><td></td><td>滑轮架</td><td>比例 1:1</td></tr><tr><td>校核</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="5">湖南理工职业技术学院 J1-3</td></tr></table></div> <div>■ 【学生】接受任务，明确任务分工及要求，做好任务前期准备。</div>	5	开口销2.5	1		GB/T91-2000	4	垫圈12	1		GB/T6172-2000	3	滑轮	1	HT100		2	支座	1	HT100		1	销轴	1	45钢		序号	名 称	数 量	材 料	备 注	姓名			滑轮架	比例 1:1	校核					湖南理工职业技术学院 J1-3					任务明确，目标驱动，培养团队协作精神。
5	开口销2.5	1		GB/T91-2000																																											
4	垫圈12	1		GB/T6172-2000																																											
3	滑轮	1	HT100																																												
2	支座	1	HT100																																												
1	销轴	1	45钢																																												
序号	名 称	数 量	材 料	备 注																																											
姓名			滑轮架	比例 1:1																																											
校核																																															
湖南理工职业技术学院 J1-3																																															
任务实施	<div>■ 实施过程 1 引入任务</div> <div>根据滑轮架装配图，思考讨论以下问题：</div> <div>1.该滑轮架工作原理？各零件作用是什么？</div> <div>2.如何识读装配图？</div> <div>3.绘制零件视图、尺寸标注、形位公差、技术要求应考虑哪些方面？</div> <div>■ 实施过程 2 释疑任务及演示</div> <div>1.滑轮架的工作原理</div> <div>2.装配图的识读</div> <div>3.装配图中零件图的绘制</div> <div>4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求</div> <div>■ 实施过程 3 完成任务</div> <div>学生完成滑轮架装配图中 2（支座）、3（滑轮）两张零件图的绘制，教师答疑解惑。</div>	通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。																																													
任务小结	<div>■ 【教师】简要总结本任务实施要点</div> <div>1.拆画的零件图视图的表达</div> <div>2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求</div> <div>3.图幅的选择及标题栏的填写</div> <div>■ 【学生】总结回顾</div>	总结回顾，巩固夯实																																													
课程任务	<div>■ 【教师】布置课后任务</div> <div>完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。</div> <div>■ 【学生】完成课后任务</div>	反思学习，自我提升																																													
教学反思	大多数学生理解滑轮架的工作原理。学生在尺寸标注中存在重复标注的现象，在指导过程中，应提醒学生尺寸标注应注意事项，同时要求学生多思考，要举一反三。																																														

机械设计基础（实训）授课教案

任务 4：拆画阀装配图零件（2 课时）

任务名称	拆画阀装配图零件	
课 时	2 课时（90 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 2 课时
教学目标	知识目标： 1.了解阀的工作原理 2.了解阀各零件在装配图中的作用 3.了解本任务中要拆画零件的结构 4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 能力目标： 1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。 2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 素质目标： 1.具有创新意识。 2.具有团结协作与互帮互助的意识 3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	教学重点： 1. 阀的工作原理。 2.零件图绘制的方法。 3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。 4.装配图的识图方法。 教学难点： 1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标, 尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	■ 【教师】布置课前任务, 和学生负责人取得联系, 让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件, 完成课前任务 学生预习并讨论如何拆画阀的零件图。 ■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	■ 【教师】使用学习通进行签到, 清点上课人数, 记录好考勤 ■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民

任务导入	<div>■ 【教师】任务描述：对任务进行解读，细化任务分工（分组），明确考核要求。</div> <div>分组讨论并完成阀装配图中 2（管接头）零件图的绘制。</div> <div><div><p>技术要求 1. 阀关闭时不得漏油。 2. 阀工作压力为 25000Pa。</p><table><tr><td>9</td><td>阀</td><td>1</td><td>35</td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>0型圈10×1.8</td><td>1</td><td></td><td>GB/T 3452.1-2005</td></tr><tr><td>7</td><td>垫片</td><td>1</td><td>35</td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>阀体</td><td>1</td><td>HT250</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>阀盖</td><td>1</td><td>45</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>密封垫</td><td>2</td><td>聚四氟乙烯</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>压紧</td><td>1</td><td>50</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>管接头</td><td>1</td><td>35</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>底座</td><td>1</td><td>35</td><td></td></tr></table><p>零件名称：管接头 数量：1 材料：HT250 比例：1:1 制图：王小明 审核：李小红 日期：2023.10.10</p></div><div>■ 【学生】接受任务，明确任务分工及要求，做好任务前期准备。</div></div>	9	阀	1	35		8	0型圈10×1.8	1		GB/T 3452.1-2005	7	垫片	1	35		6	阀体	1	HT250		5	阀盖	1	45		4	密封垫	2	聚四氟乙烯		3	压紧	1	50		2	管接头	1	35		1	底座	1	35		<div>任务明确，目标驱动，培养团队协作精神。</div> <div>球阀随着科学技术的飞速发展，生产工艺及产品结构的不不断改进，在短短的 40 年时间里，已迅速发展成为一种主要的阀类。在西方工业发达的国家，球阀的使用正在逐年不断的上升。</div>
9	阀	1	35																																												
8	0型圈10×1.8	1		GB/T 3452.1-2005																																											
7	垫片	1	35																																												
6	阀体	1	HT250																																												
5	阀盖	1	45																																												
4	密封垫	2	聚四氟乙烯																																												
3	压紧	1	50																																												
2	管接头	1	35																																												
1	底座	1	35																																												
任务实施	<div>■ 实施过程 1 引入任务</div> <div>根据阀装配图，思考讨论以下问题：</div> <div>1.该阀的工作原理？各零件作用是什么？</div> <div>2.如何识读装配图？</div> <div>3.绘制零件视图、尺寸标注、形位公差、技术要求应考虑哪些方面？</div> <div>■ 实施过程 2 释疑任务及演示</div> <div>1.阀的工作原理</div> <div>2.装配图的识读</div> <div>3.装配图中零件图的绘制</div> <div>4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求</div> <div>■ 实施过程 3 完成任务</div> <div>学生完成阀装配图中 2（管接头）零件图的绘制，教师答疑解惑。</div>	<div>通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。</div>																																													
任务小结	<div>■ 【教师】简要总结本任务实施要点</div> <div>1.拆画的零件图视图的表达</div> <div>2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求</div> <div>3.图幅的选择及标题栏的填写</div> <div>■ 【学生】总结回顾</div>	<div>总结回顾，巩固夯实</div>																																													
课程任务	<div>■ 【教师】布置课后任务</div> <div>完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。</div> <div>■ 【学生】完成课后任务</div>	<div>反思学习，自我提升</div>																																													
教学反思	<div>阀装配图中只拆画序号 2 管接头，由于管接头两头都有螺纹结构，学生在绘制时内、外的粗细实线的经常出错，在指导过程中，应提醒学生记住“外螺纹大径用粗实线，小径用细实线；内螺纹大径用细实线，小径用粗实线”，并且尺寸标注应应标大径。应加强学生对基础的理解能力。</div>																																														

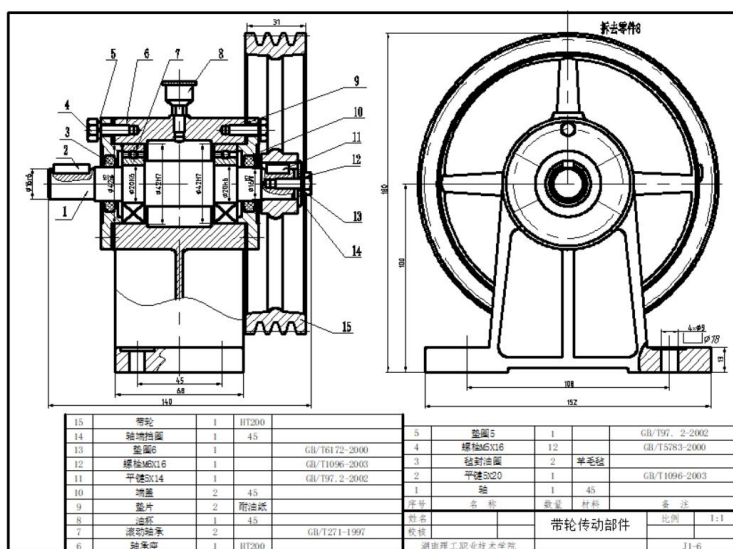
机械设计基础（实训）授课教案

任务 5：拆画带轮传动部件装配图零件（4 课时）

任务名称	拆画带轮传动部件装配图零件	
课 时	4 课时（180 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.了解带轮传动部件的工作原理2.了解带轮传动部件各零件在装配图中的作用3.了解本任务中要拆画零件的结构4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 <p>素质目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.具有创新意识。2.具有团结协作与互帮互助的意识3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	<p>教学重点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.带轮传动部件的工作原理。2.零件图绘制的方法。3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。4.装配图的识图方法。 <p>教学难点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课前任务,和学生负责人取得联系,让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务学生预习并讨论如何拆画带轮传动部件的零件图。■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
任务导入	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】任务描述:对任务进行解读,细化任务分工(分组),明	任务明确,目标驱

确考核要求。

分组讨论并完成带轮传动部件装配图中 1（轴）、10（端盖）两张零件图的绘制。



■ 【学生】接受任务，明确任务分工及要求，做好任务前期准备。

动，培养团队协作精神。

皮带轮主要用于远距离传送动力的场合，皮带轮传动具有结构简单、缓和载荷冲击、运行平稳、低噪音、低振动、过载保护、两轴中心距调节范围较大等优点。具有弹性滑动和打滑、传动效率较低、传动比不准确等缺点。但其应用非常广泛，主要应用在机床、汽车、农业机械等机器上。带传动的使用和维护非常重要！稍不注意就会酿成事故。

任务实施

■ 实施过程 1 引入任务

根据带轮传动部件装配图，思考讨论以下问题：

- 1.该带轮传动部件工作原理？各零件作用是什么？
- 2.如何识读装配图？
- 3.绘制零件视图、尺寸标注、形位公差、技术要求应考虑哪些方面？

■ 实施过程 2 释疑任务及演示

- 1.带轮传动部件的工作原理
- 2.装配图的识读
- 3.装配图中零件图的绘制
- 4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求

■ 实施过程 3 完成任务

学生完成带轮传动部件装配图中 1（轴）、10（端盖）两张零件图的绘制，教师答疑解惑。

通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。

任务小结

■ 【教师】简要总结本任务实施要点

- 1.拆画的零件图视图的表达
- 2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求
- 3.图幅的选择及标题栏的填写

■ 【学生】总结回顾

总结回顾，巩固夯实

课程任务

■ 【教师】布置课后任务

完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。

■ 【学生】完成课后任务

反思学习，自我提升

教学反思

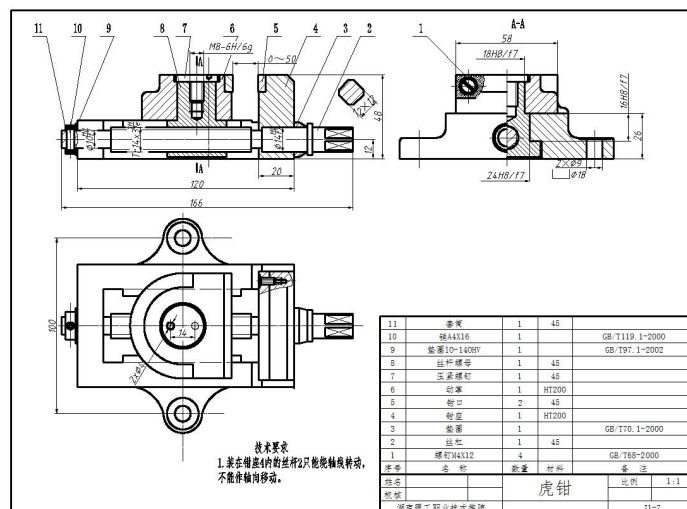
带轮传动部件装配图中拆画 2 个零件，序号 1 轴在尺寸标注时，学生往往错标、漏标；粗糙度符号、形位公差也有漏标；键槽尺寸标注有错误。应加强学生动手能力，多查阅机械设计手册。

机械设计基础（实训）授课教案

任务 4：拆画虎钳装配图零件（2 课时）

任务名称	拆画虎钳装配图零件	
课 时	2 课时（90 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 2 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.了解虎钳的工作原理2.了解虎钳各零件在装配图中的作用3.了解本任务中要拆画零件的结构4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 <p>素质目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.具有创新意识。2.具有团结协作与互帮互助的意识3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	<p>教学重点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.虎钳的工作原理。2.零件图绘制的方法。3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。4.装配图的识图方法。 <p>教学难点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课前任务,和学生负责人取得联系,让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务学生预习并讨论如何拆画虎钳的零件图。■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
任务导入	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】任务描述:对任务进行解读,细化任务分工(分组),明	任务明确,目标驱

分组讨论并完成虎钳装配图中 2（丝杠）零件图的绘制。



虎钳装配图学生在大一零件测绘课中已绘制过, 装配图中拆画序号 2 丝杠, 丝杠属于轴类零件, 在绘制过程中往往画错四方位置。应加强学生对基础知识的理解能力, 提醒学生多思考, 要举一反三, 以提高学生的机械设计能力。

虎钳属于通用夹具，用以夹紧工件在机床上加工，只有保证虎钳的加工精度，保证虎钳的夹紧力，才能保证零件在虎钳夹紧后夹紧牢固，不至松动，否则会酿成事故。

通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。

总结回顾, 巩固夯实

反思学习, 自我提升

任务实施

任务小结

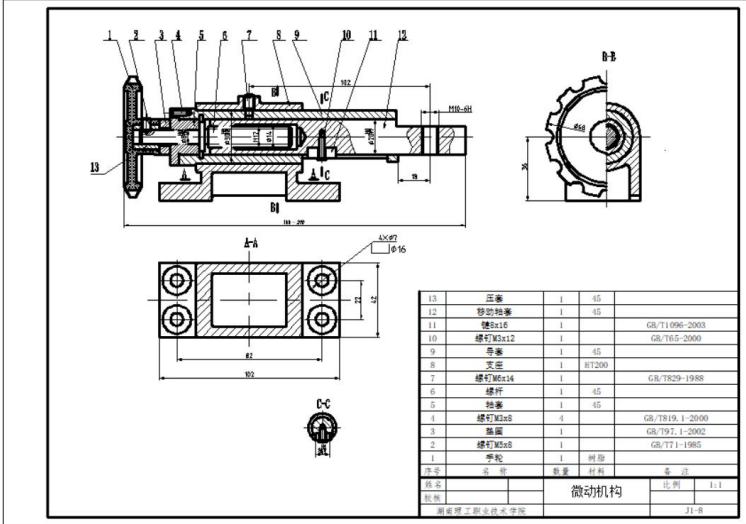
课程任务

教学反思

机械设计基础（实训）授课教案

任务 7：拆画微动机构装配图零件（4 课时）

任务名称	拆画微动机构装配图零件	
课 时	4 课时（180 min） 注：以 1 个子任务为单位	总 4 课时
教学目标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.了解微动机构的工作原理2.了解微动机构各零件在装配图中的作用3.了解本任务中要拆画零件的结构4.了解机械制图的相关标准及绘图知识 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.能根据装配图绘制所需拆画的零件图。2.能按机械制图的有关规定标注尺寸及精度要求、形位公差、技术要求等。 <p>素质目标：</p> <ol style="list-style-type: none">1.具有创新意识。2.具有团结协作与互帮互助的意识3.具备查阅资料、获取信息的能力，独立制订工作计划的及独立分析问题解决问题的能力。	
教学重难点	<p>教学重点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.微动机构的工作原理。2.零件图绘制的方法。3.尺寸标注、形位公差标注、技术要求应注意事项。4.装配图的识图方法。 <p>教学难点：</p> <ol style="list-style-type: none">1.零件图尺寸标注、形位公差标注、技术要求。	
教学方法	示例法、任务驱动法	
教学用具	PPT、电脑、AutoCAD 绘图软件	
教学设计	课前任务→考勤→任务导入→任务实施→任务小结→课后任务	
教学过程	主要教学内容及步骤	设计意图 (如何实现教学目标,尤其是必须明确课程思政设计)
课前任务	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】布置课前任务,和学生负责人取得联系,让其提醒同学通过学习通 APP 或其他学习软件,完成课前任务学生预习并讨论如何拆画微动机构的零件图。■ 【学生】完成课前任务	养成课前预习及独立思考的良好学习习惯
考 勤	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】使用学习通进行签到,清点上课人数,记录好考勤■ 【学生】班干部报请假人员及原因	遵守课堂纪律、做遵纪守法好公民
任务导入	<ul style="list-style-type: none">■ 【教师】任务描述:对任务进行解读,细化任务分工(分组),明	任务明确,目标驱

	<p>确考核要求。</p> <p>分组讨论并完成微动机构装配图中 8（支座）、12（移动轴套）两张零件图的绘制。</p>  <p>13 压套 1 45 12 移动轴套 1 45 11 螺套 1 GB/T1096-2003 10 螺钉M3x12 1 GB/T65-2000 9 导套 1 45 8 支套 1 HT200 7 螺钉M3x16 1 GB/T829-1988 6 螺杆 1 45 5 垫套 1 45 4 螺钉M2x5 4 GB/T819.1-2000 3 轴套 1 GB/T97.1-2002 2 螺钉M3x8 1 GB/T77.1-1985 1 螺套 1 45 序号 代号 数量 材料 备注 设计 审核 制图 比例 1:1 机械工程学院 机械制图 第 11 页</p> <p>■ 【学生】接受任务，明确任务分工及要求，做好任务前期准备。</p>	<p>动，培养团队协作精神。</p> <p>移动轴套右端头的螺孔用于固定焊枪。当转动手轮时，移动轴套在导套内作轴向移动，对焊枪进行微调。在设计移动轴套的过程中一定要注意与焊枪的连接位置，不能粗心，否则造成微调不准确。</p>
任务实施	<p>■ 实施过程 1 引入任务</p> <p>根据微动机构装配图，思考讨论以下问题：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.该微动机构工作原理？各零件作用是什么？ 2.如何识读装配图？ 3.绘制零件视图、尺寸标注、形位公差、技术要求应考虑哪些方面？ <p>■ 实施过程 2 释疑任务及演示</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.微动机构的工作原理 2.装配图的识读 3.装配图中零件图的绘制 4.尺寸标注、形位公差标注、技术要求 <p>■ 实施过程 3 完成任务</p> <p>学生完成微动机构装配图中 8（支座）、12（移动轴套）两张零件图的绘制，教师答疑解惑。</p>	<p>通过教师引导提问——学生思考——学生实践——教师讲解演示——学生理解——学生实践，层层递进，将工匠精神潜移默化，培养独立分析思考并解决问题的能力。</p>
任务小结	<p>■ 【教师】简要总结本任务实施要点</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.拆画的零件图视图的表达 2.拆画的零件图尺寸、形位公差的标注及技术要求 3.图幅的选择及标题栏的填写 <p>■ 【学生】总结回顾</p>	<p>总结回顾，巩固夯实</p>
课程任务	<p>■ 【教师】布置课后任务</p> <p>完成该任务上传至学习通，并预习下一任务。</p> <p>■ 【学生】完成课后任务</p>	<p>反思学习，自我提升</p>
教学反思	<p>微动机构装配图中拆画两个零件图，学生在绘制序号 12 移动轴套中螺纹部分经常出错，序号 8 支套常漏画俯视图剖面线、不会用 CAD 软件直接绘制沉头孔符号。应提醒学生要仔细，加强学生对基础知识的理解能力，举一反三，以提高学生的机械设计能力。</p>	