

# 目录



第 1 章 机械概述 .....	1
1. 1 机器的组成 .....	1
1. 2 摩擦、磨损与润滑 .....	3
第 2 章 机械零件 .....	6
2. 1 轴 .....	6
2. 2 轴承 .....	16
2. 3 键连接与销连接 .....	29
2. 4 联轴器、离合器、制动器 .....	37
2. 5 机械的润滑与密封 .....	47
2. 6 弹簧 .....	54
第 3 章 常用机构 .....	59
3. 1 运动副 .....	59
3. 2 平面连杆机构 .....	63
3. 3 铰链四杆机构的演化 .....	70
3. 4 凸轮机构 .....	73
3. 5 间歇运动机构 .....	78
第 4 章 机械传动 .....	85
4. 1 带传动 .....	85
4. 2 链传动 .....	93



4. 3 螺纹连接与螺旋传动 .....	95
4. 4 齿轮传动 .....	104
4. 5 蜗杆传动 .....	112
4. 6 齿轮系与减速器 .....	116
<b>第 5 章 液压传动</b> .....	<b>122</b>
5. 1 液压传动概述 .....	122
5. 2 液压元件 .....	124
5. 3 液压基本回路 .....	138
<b>参考文献</b> .....	<b>145</b>

# 第1章 机械概述

## 1.1 机器的组成

在现代生产和日常生活中，机器已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

### 一、机器与机构

#### 1. 机器

在日常生活和生产中，我们都接触过许多机器，例如，缝纫机、洗衣机、复印机、各种机床、汽车、拖拉机、起重机等。机器的主体部分是由许多运动构件组成的。尽管它们的用途、结构和性能不相同，但机器都有如下三个特征：

- (1) 它们都是人为的实物组合；
- (2) 它们各部分之间具有确定的相对运动；
- (3) 在工作时能代替或减轻人类的劳动，完成有用的机械功或转换机械能。

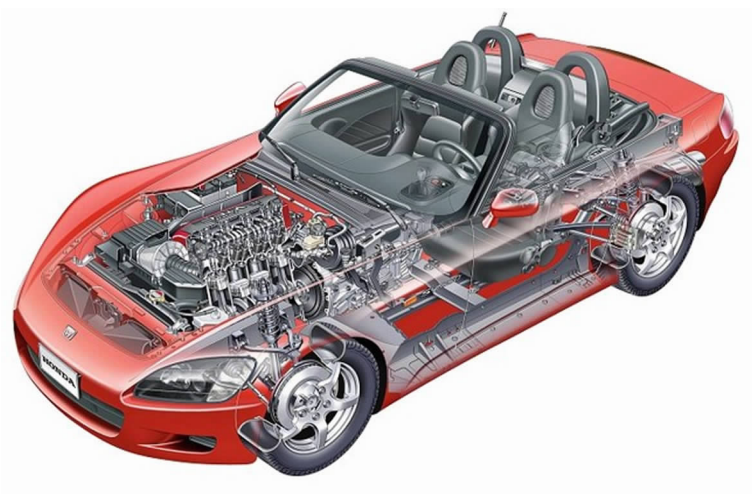
#### 2. 机构


机器包含着机构，机构是机器的主要组成部分，机构具有以下两个特征：

- (1) 它们都是人为的实物组合；
- (2) 它们各部分之间具有确定的相对运动。

机器与机构的区别：机器能完成机械功或转换机械能，而机构只能完成传递运动力或改变运动形式，例如图 1-1 所示的汽车是一部机器，汽车包含曲柄连杆机构、凸轮机构等机构。汽车整体和曲柄连杆机构的相同点是：它们都是人为的实物组合，各部分之间也都有确定的相对运动。不同点是：曲柄连杆机构是一个将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动的过程，而汽车不仅有运动转换和传递的过程，同时启动汽车时是化学能转化为动能的过程。

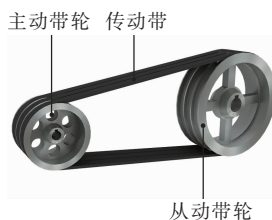
机械是机器与机构的总称。




扫一扫  图 1-1 汽车

### 3. 构件、零件

如图 1-2 所示,带传动由带和两个带轮组成,带轮又由轴、键和 V 带三个零件组成。带传动实现主动带轮与从动带轮间运动的传递,所以带传动是机构。组成机构的各个相对运动的实物称为构件,所以组成带传动的带轮是构件。机械中不可拆的制造单元体称为零件,所以组成带轮的轴、键和 V 带是零件。



扫一扫  图 1-2 带传动

构件通常由多个零件组成也可以由一个零件组成,这些多个零件之间是没有相对的运动。零件是机械制造的基本单元,构件是机械运动的基本单元。

机器由机构组成,机构由构件组成,构件由零件组成。

## 二、机器的功能组成

作为一部完整的机器,从功能和系统的角度来看,一般主要由五部分组成。如图 1-3 所示,台钻主运动的传递路线为:电动机把运动传递给主轴变速箱再传给主轴做旋转运动;台钻进给运动的传递路线为:以机座和立柱为支撑体,主轴在进给手柄的作用下做上下运动。



图 1 - 3 台钻

#### 1. 动力系统

机器的动力来源，包括动力机及其配套装置；它的功能是向机器提供运动和动力，例如图 1 - 3 台钻的电动机。

#### 2. 执行系统

执行系统包括若干执行机构，它的功能是驱动执行构件按给定的运动规律运动，实现预期的工作。执行系统一般处于机械系统的末端，执行构件直接与工作对象接触。例如图 1 - 3 台钻的主轴。

#### 3. 传动系统

传动系统是把动力系统的运动和力传递给执行系统的中间装置。例如图 1 - 3 台钻的主轴变速箱。

#### 4. 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调工作，并准确可靠地完成整机功能的装置，多指通过人工操作以实现上述要求的装置。例如图 1 - 3 台钻的进给手柄。

#### 5. 框架支撑系统及其他辅助系统

包括基础件（如床身、底座、立柱等）和支撑构件（如支架、箱体等）。它用于安装和支承动力系统、传动系统和操作系统等，机器各部分的位置精度、运动精度及机器的承载能力等主要依靠框架支撑系统来保证，该系统是机械系统中必不可少的部分。例如图 1 - 3 台钻的机座和立柱。

## 1.2 摩擦、磨损与润滑

各类机器在工作时，零件相对运动的接触部分都存在着摩擦，摩擦是机器运转过程中不可避免的物理现象。摩擦不仅消耗能量，而且使零件发生磨损，甚至导致零件失效。据统计，世界上每年有接近 40% 能源消耗在摩擦上，而各种机械零件因磨损失效的也占全部失效零件的 60% 以上。所以，零件的磨损是决定机器使用寿命的主要因素。

## 一、摩擦

摩擦会造成能量损耗和零件磨损，在一般情况下是有害的，因此应尽量减少摩擦。但有些情况下却要利用摩擦工作，如带传动、摩擦制动器等。

根据摩擦副表面间的润滑状态将摩擦状态分为4种：干摩擦、液体摩擦、边界摩擦和混合摩擦。

### 1. 干摩擦

两个物体直接接触时的摩擦，称为干摩擦。

### 2. 液体摩擦

两摩擦表面不直接接触，被油膜隔开的摩擦，称为液体摩擦。

### 3. 边界摩擦

两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开，使其处于干摩擦与液体摩擦之间的状态，这种摩擦称为边界摩擦。

### 4. 混合摩擦

在实践中有很多摩擦副处于干摩擦、液体摩擦与边界摩擦的混合状态，称为混合摩擦。

## 二、磨损

运动副之间的摩擦将导致零件表面材料的逐渐损失，这种现象称为磨损。

按照磨损的机理以及零件表面磨损状态的不同，一般情况下把磨损分为磨粒磨损、粘着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损等。

### 1. 磨粒磨损

由于摩擦表面上的硬质突出物或从外部进入摩擦表面的硬质颗粒，对摩擦表面起到切削或刮擦作用，从而引起表层材料脱落的现象，称为磨粒磨损。

### 2. 粘着磨损

在两摩擦表面相对滑动时，材料便从一个表面转移到另一个表面，这种由于粘着作用引起的磨损，称为粘着磨损。

### 3. 疲劳磨损

在反复作用下，表层将产生裂纹。随着裂纹的扩展与相互连接，表层金属脱落，形成许多月牙形的浅坑，这种现象称为疲劳磨损。

### 4. 腐蚀磨损

在摩擦过程中，摩擦面与周围介质发生化学或电化学反应而产生物质损失的现象，称为腐蚀磨损。

## 三、润滑

在摩擦副间加入润滑剂，以降低摩擦、减轻磨损，这种措施称为润滑。

1. 润滑的主要作用为：减小摩擦系数，提高机械效率；减轻磨损，延长机械的使用寿命；冷却、防尘以及吸振等。

## 2. 常用润滑剂

润滑油。润滑油是目前使用最多的润滑剂，主要有矿物油、合成油、动植物油等，其中应用最广的为矿物油。

润滑脂。润滑脂是在润滑油中加入稠化剂而形成的脂状润滑剂，又称为黄油或干油。

## 第2章 机械零件

### 2.1 轴

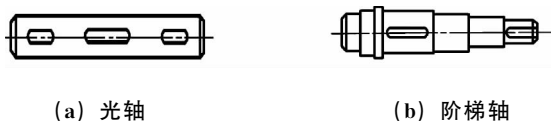
轴是组成机器中最基本且重要的零件之一，其主要功能有：传递运动和转矩；支承回转零件（如齿轮、带轮、凸轮等）。轴一般都要有足够的强度，合理的结构和良好的工艺性。

#### 一、轴的分类和应用特点

1. 根据轴线的几何形状，轴可以分为直轴、曲轴和软轴三大类。

##### (1) 直轴

如图 2-1 所示，各轴段轴线在同一直线上的轴，称为直轴，它是一般机械中最常用的轴，其中，在轴的全长上直径都相等的直轴，称为光轴，如图 2-1 (a) 所示。光轴形状简单，加工容易，应力不易集中，但轴上零件不易装配和定位。各段直径不相等的直轴，称为阶梯轴，如图 2-1 (b) 所示。由于阶梯轴便于零件的装拆和固定，又能节约材料和减轻重量，所以在机械中应用最为广泛。



扫一扫 图 2-1 直轴

##### (2) 曲轴

如图 2-2 所示，各轴段轴线不在一条直线上的轴，称为曲轴。曲轴主要用于内燃机、冲床等需要将回转运动和往复直线运动互相进行转换的机械中。

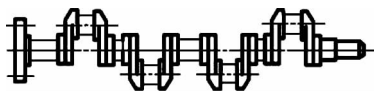
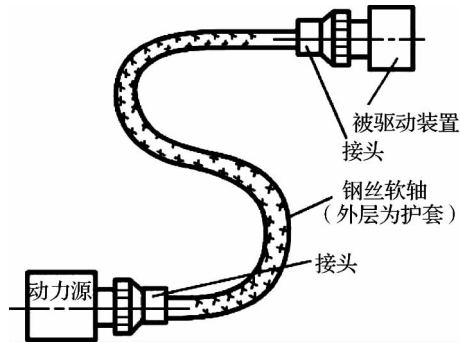


图 2-2 曲轴



### (3) 软轴

软轴具有良好的挠性，它可以把回转运动灵活地传到任何空间位置（如图 2 - 3 所示）。如牙科医生用于修磨牙齿的钢丝软轴。

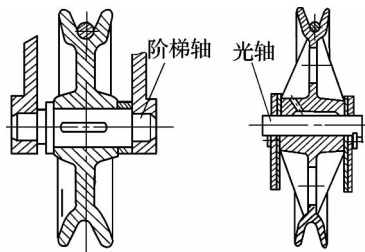


扫一扫 图 2 - 3 软轴

2. 根据承受载荷的不同，轴可分为心轴、传动轴和转轴三大类。

#### (1) 心轴

只承受弯矩作用而不承受扭矩的轴称为心轴，分为固定心轴和转动心轴两种。如图 2 - 4 (a) 所示滑轮轴为固定心轴，当滑轮回转时，轴固定不动。如图 2 - 4 (b) 所示火车车轮轴为转动心轴，它与火车轮通过过盈配合连接在一起，随车轮一起转动。

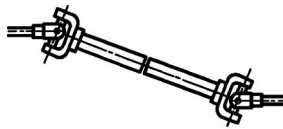


(a) 滑轮轴 (b) 火车轮轴

图 2 - 4 心轴

#### (2) 传动轴

主要承受转矩作用的轴称为传动轴。如汽车变速箱与后桥之间的轴（如图 2 - 5）。

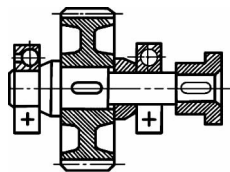


万向传动轴

扫一扫 图 2 - 5 传动轴

### (3) 转轴

既传递转矩，又承受弯矩作用的轴称为转轴。如齿轮减速器的输出轴（如图 2-6）。



扫一扫  
图 2-6 转轴

## 二、轴的常用材料

轴的材料要求有足够的强度，对应力集中敏感性低；还要能满足刚度、耐磨性、耐腐蚀性要求；并具有良好的加工性能。

轴的常用材料主要是碳钢和合金钢，其次是球墨铸铁。轴的常用材料及其力学性能见表 2-1。

表 2-1 轴的常用材料及其力学性能

材料类型	材料牌号及热处理	毛坯直径/mm	硬度	强度极限/MPa	屈服极限/MPa	弯曲疲劳极限/MPa	应用说明
碳素钢	Q235			440	240	200	用于不重要或载荷不大的轴
	35 正火	≤100	149~187HBS	520	270	250	有好的塑性和适当的强度，用于一般轴
	45 正火	≤100	170~217HBS	600	300	275	用于较重要的轴，应用最为广泛
	45 调质	≤200	217~255HBS	650	360	300	
合金钢	40Cr 调质	25	≤207HBS	1000	800	500	用于载荷较大且无很大冲击的重要轴
		≤100	241~286HBS	750	550	350	
		100~300	241~266HBS	700	550	340	
	35SiMn 调质	≤100	229~286HBW	800	520	300	用于中小型轴，可代替 40Cr
	42SiMn 调质	25					
	40MnB 调质	≤200	≤207HBS	1000	800	485	性能接近于 40Cr，用于重要轴
		≤100	241~286HBS	750	500	355	
	35CrMo 调质	15	207~269HBS	750	550	390	用于重载的轴
20Cr 渗碳淬火回火	≤60	56~62HRC	850	550	375	用于要求强度、韧性及耐磨性均较高的轴	
			850	400	280		

## 三、轴的结构

对于轴的结构来说，最简单的是光轴，但在实际机械中，大多数的轴上总是需要安

装一些零件，如带轮、齿轮、轴承等，因而较多的是采用阶梯轴。阶梯轴的每个台阶都有其一定的作用和目的，使轴更具有合理性。下面以图 2-7 所示的阶梯轴为例来介绍常见轴的结构。

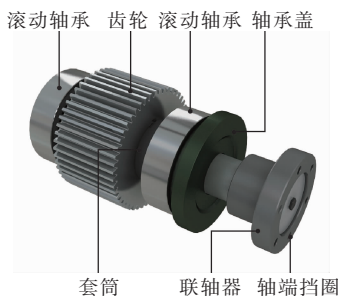
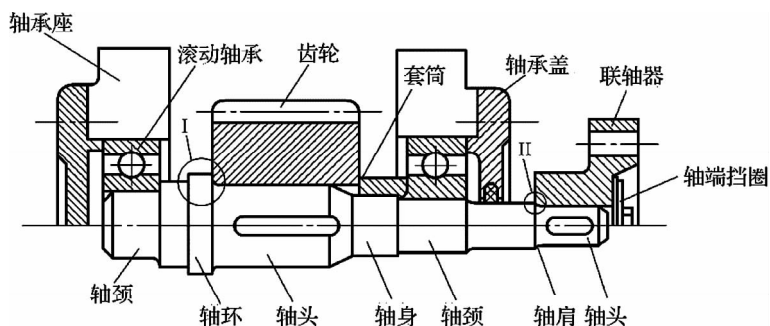


图 2-7 轴的结构

轴上支持转动零件的部位称为轴头；轴上被轴承支承的部位称为轴颈；连接轴头和轴颈的中间部分称轴身，其他各部分名称如图 2-7 所示。轴头的直径应与其相配的轴上零件的轮毂内径相等，并且尺寸应符合标准直径系列标准。轴颈与轴承相配合时，其直径应符合轴承的内径系列标准，即按基孔制确定轴颈的尺寸。轴身部分的直径可采用自由尺寸。阶梯轴的各轴段长度，应根据轴上零件的轴向宽度和零件的相互位置来决定。轴头和轴颈都是配合表面，要求有一定的加工精度，而且表面粗糙度要小。

在考虑轴的结构时，应满足下列要求：

- 轴的受力合理，有利于提高轴的强度和刚度；
- 轴相对于机架和轴上零件的定位准确，固定可靠；
- 轴便于加工制造，轴上零件便于装拆和调整；
- 尽量减小应力集中，并节省材料、减轻重量。

#### 1. 轴系零件的固定

为了保证机械的正常工作，轴及安装在轴上的所有零件必须有准确的定位和牢靠的固定。轴系零件的固定包括轴向固定和周向固定。

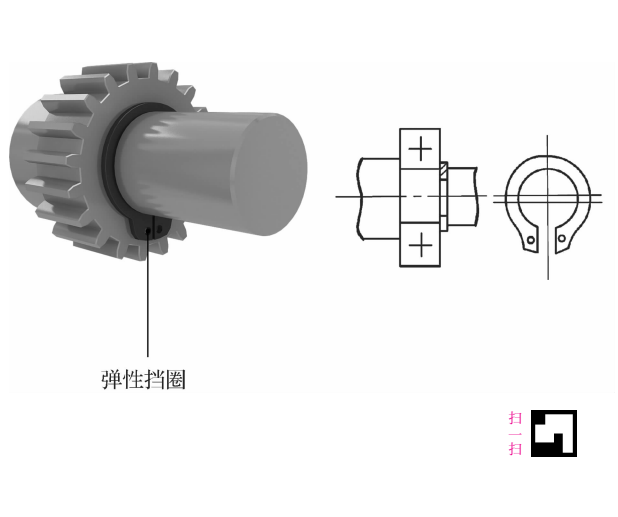
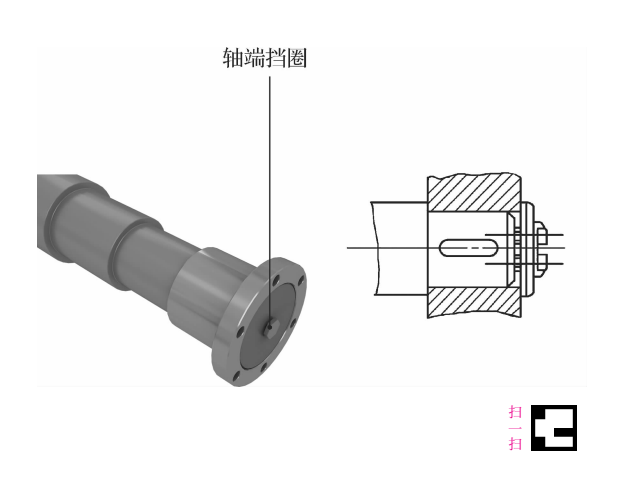
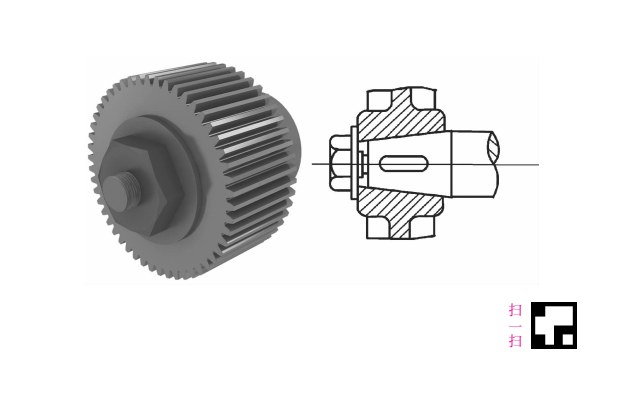
(1) 轴系零件的轴向固定

轴系零件轴向固定的目的是使轴及轴上零件准确而可靠地处在规定的位置。轴上零件的常用轴向固定方式及应用见表 2-2。

表 2-2 轴上零件的常用轴向固定方式及应用

轴向固定方法	结构简图	特点和应用
轴肩与轴环		<p>简单可靠，不需附加零件，能承受较大的轴向力。广泛应用于各种轴系零件的固定。该方法会使轴径增大，阶梯处形成应力集中，且阶梯过多将不利于加工。</p>
套筒		<p>结构简单，定位可靠，轴上不需开槽、钻孔和切制螺纹，因而不影响轴的疲劳强度。一般用于零件间距较小的场合，以免增加结构重量。轴的转速很高时不宜采用。</p>
圆螺母与止动垫圈		<p>工作可靠，装拆方便，能承受较大的轴向力，但需切制螺纹和退刀槽，会削弱轴的强度。常用于轴上两零件间距较大处，也可用于轴端。为减小对轴强度的削弱，常用细牙螺纹；为防松动，须加止动垫圈或使用双螺母。</p>

(续 表)

轴向固定方法	结构简图	特点和应用
<p>弹性挡圈</p>		<p>结构紧凑、简单，拆装方便，只能承受较小的轴向力，且轴上切槽将引起应力集中。常用于轴承的固定</p>
<p>轴端挡圈</p>		<p>工作可靠，常与轴肩联合使用，实现零件的双向固定。适用于固定轴端零件，可承受剧烈振动和冲击载荷</p>
<p>锥面</p>		<p>能消除轴与轮毂间的径向间隙，拆装较方便，可兼作周向固定，能承受冲击载荷。多用于轴端零件固定，常与轴端压板或螺母联合使用，使零件获得双向轴向固定</p>

(续 表)

轴向固定方法	结构简图	特点和应用
轴端挡板		<p>适于心轴的轴端定位和固定，只能承受小的轴向力</p>
紧定螺钉		<p>结构简单，可兼作周向固定。适用于轴向力很小，转速很低或仅为防止零件偶然沿轴向滑动的场合</p>

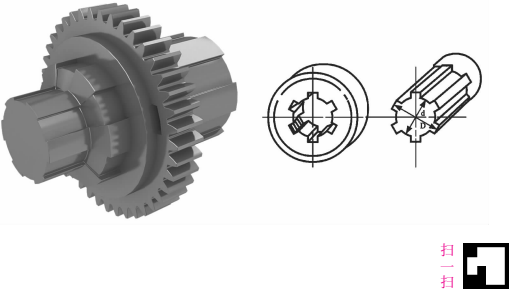
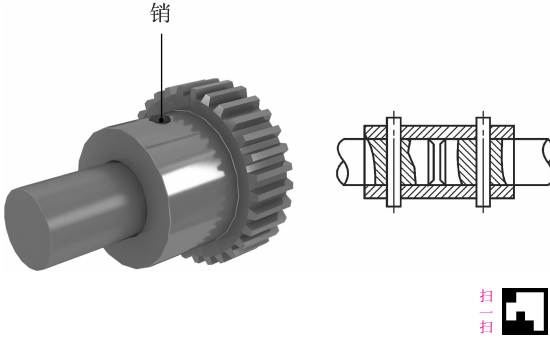
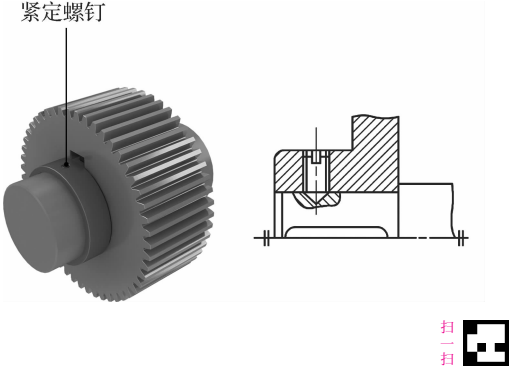
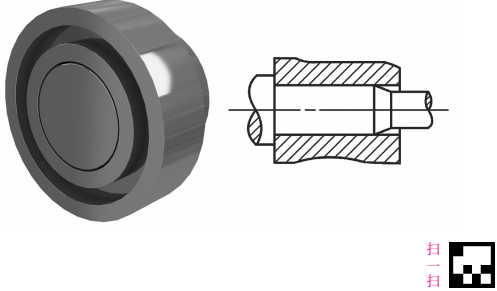
### (2) 轴系零件的周向固定

轴上零件周向固定的目的是使轴与轴上零件产生同步转动，从而传递运动和转矩。常用的轴上零件的周向固定方式及应用，见表 2 - 3 所示。

表 2 - 3 常用轴上零件的周向固定方式及应用

周向固定方法	结构简图	特点和应用
键		<p>平键应用最广，可用于较高精度、高转速及受冲击或变载荷作用的场合。加工容易，装拆方便，轴向不能固定，不能承受轴向力</p>

(续 表)

周向固定方法	结构简图	特点和应用
花键		<p>接触面大, 承载能力强, 对中性好, 轴毂的强度削弱小。适用于载荷较大、定心要求高的静、动连接。加工工艺较复杂, 需专用设备, 成本高</p>
销		<p>结构简单, 用于受力不大, 同时需要周向定位和固定的场合。周向和轴向都可以固定, 常用作安全装置, 过载时可被剪断, 防止损坏其他零件</p>
紧定螺钉		<p>结构简单, 可兼作轴向固定。适用于轴向力很小, 转速很低或仅为防止零件偶然沿轴向滑动的场合</p>
过盈配合		<p>结构简单, 对中性好, 承载能力强, 可同时起轴向固定作用。常与平键联合使用, 以承受大的交变、振动和冲击载荷</p>