

Lecture 03

Design Integration of Mechanical Systems

第三章 机械系统的集成设计

ME303 Introduction to Mechanical Design

Adapted from <https://www.icourse163.org/course/HUST-1206698847>

Integrated Design Method

集成设计方法

Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



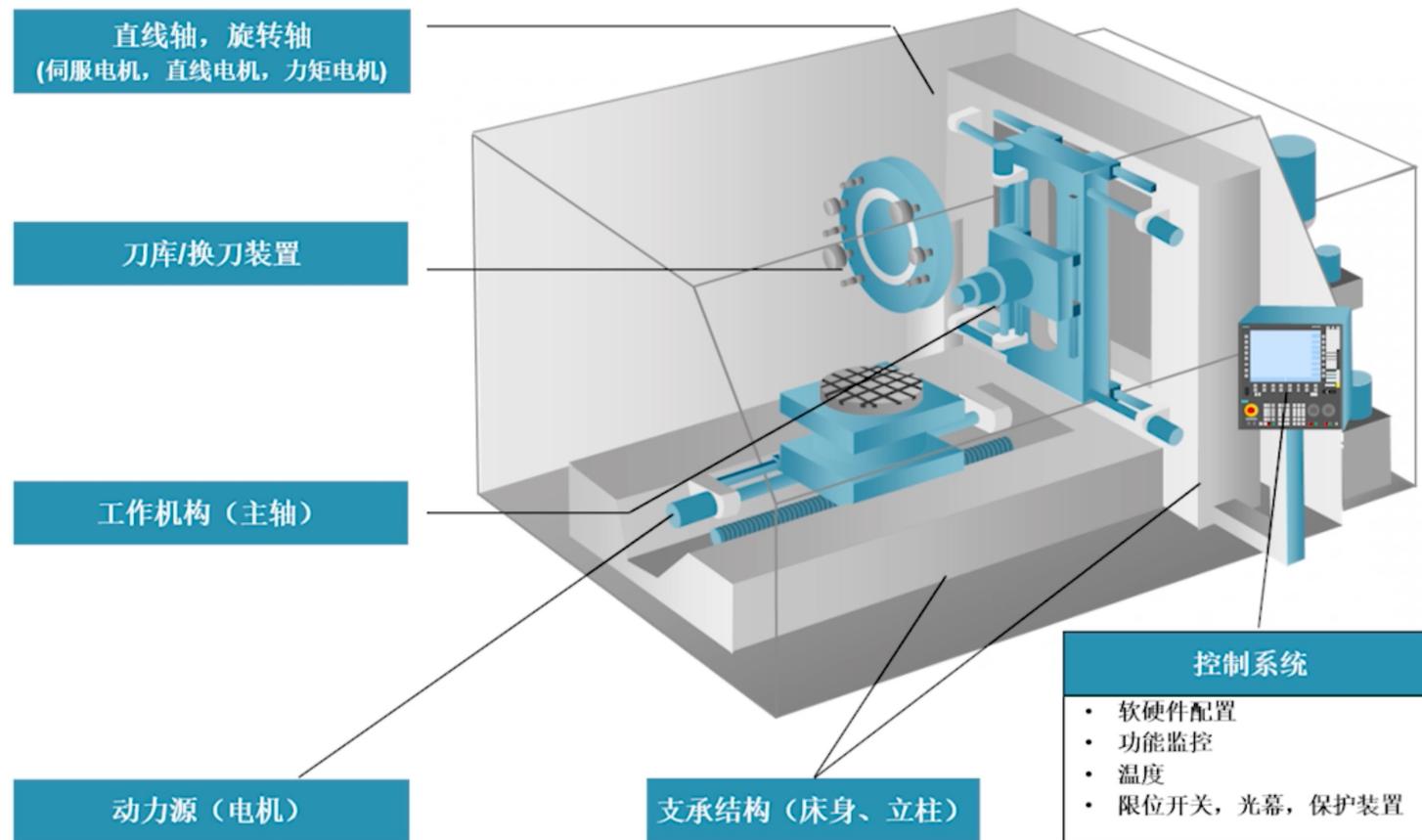
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



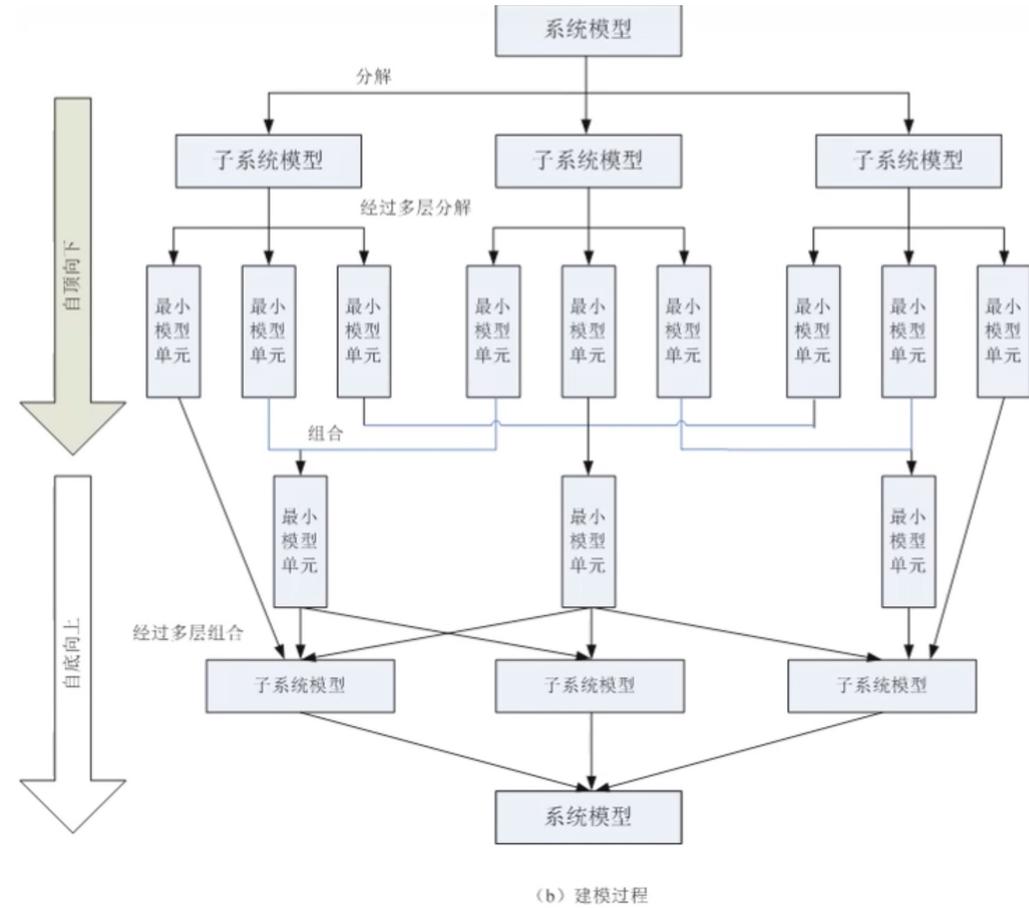
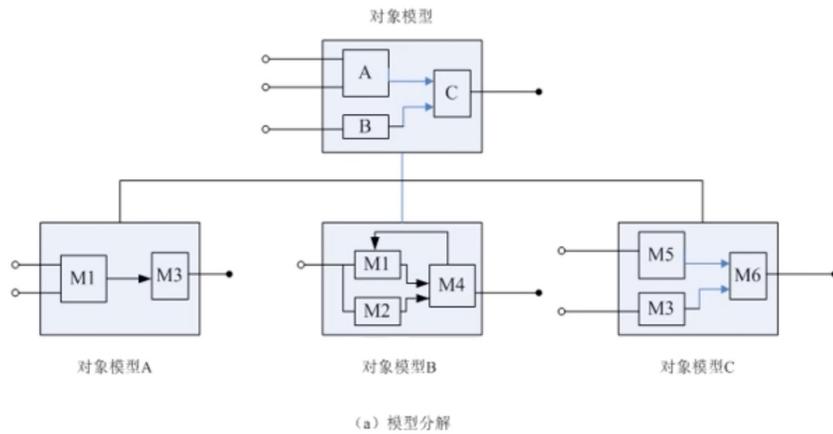
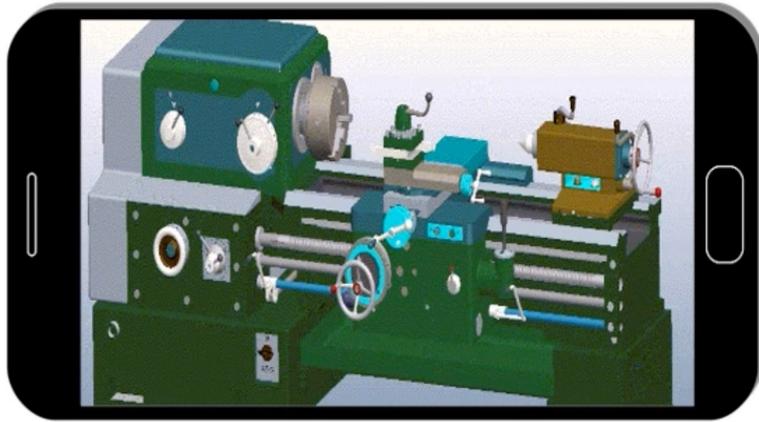
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



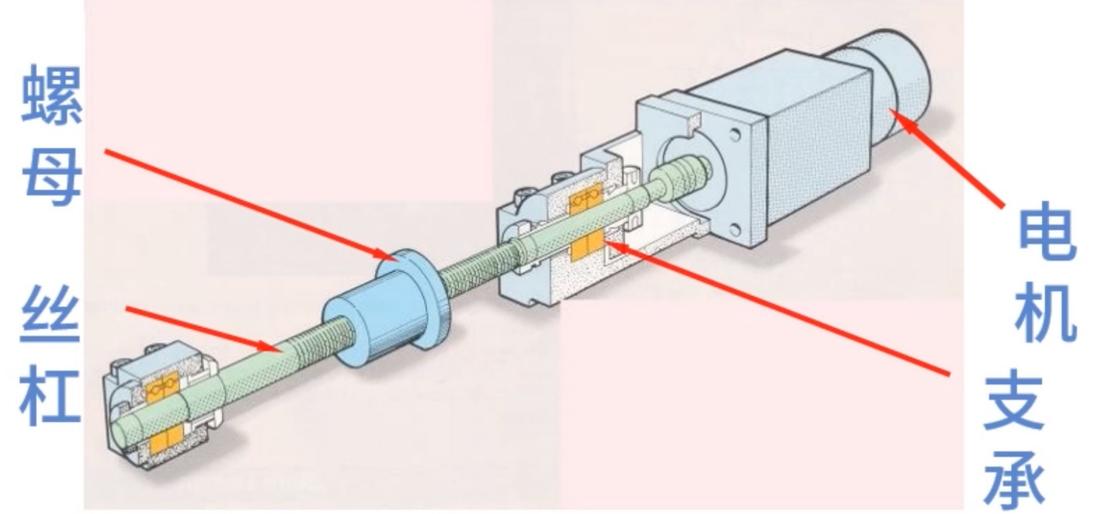
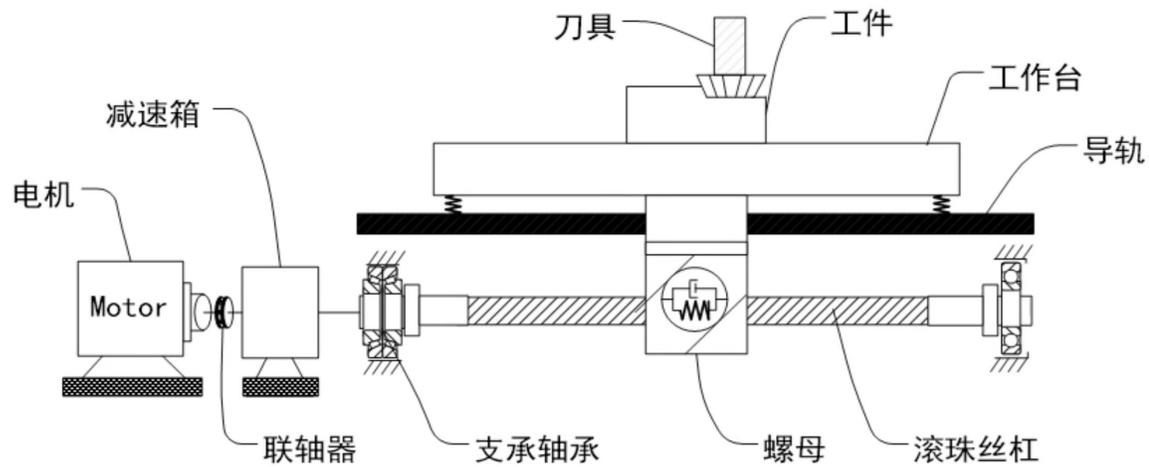
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



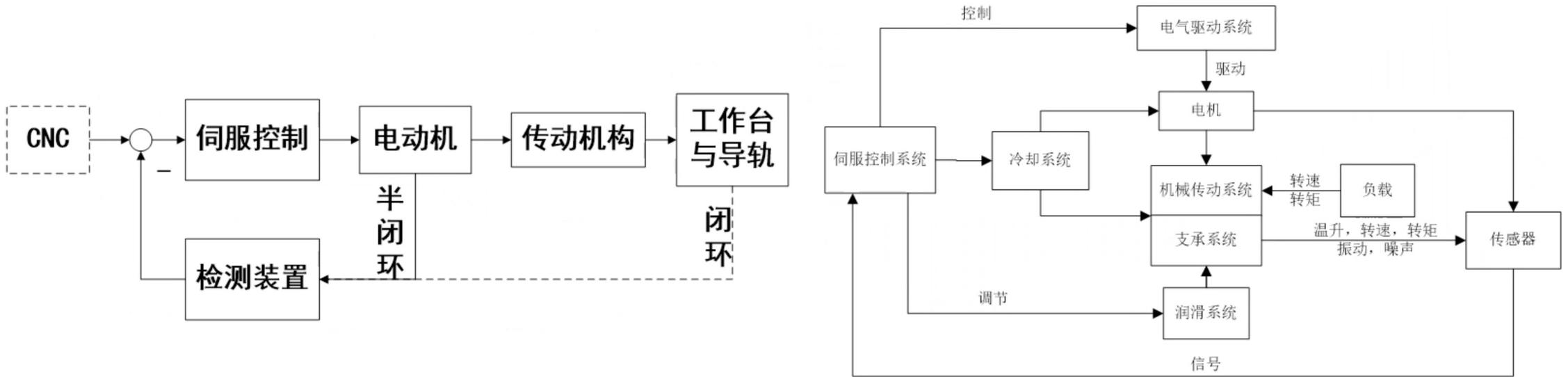
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



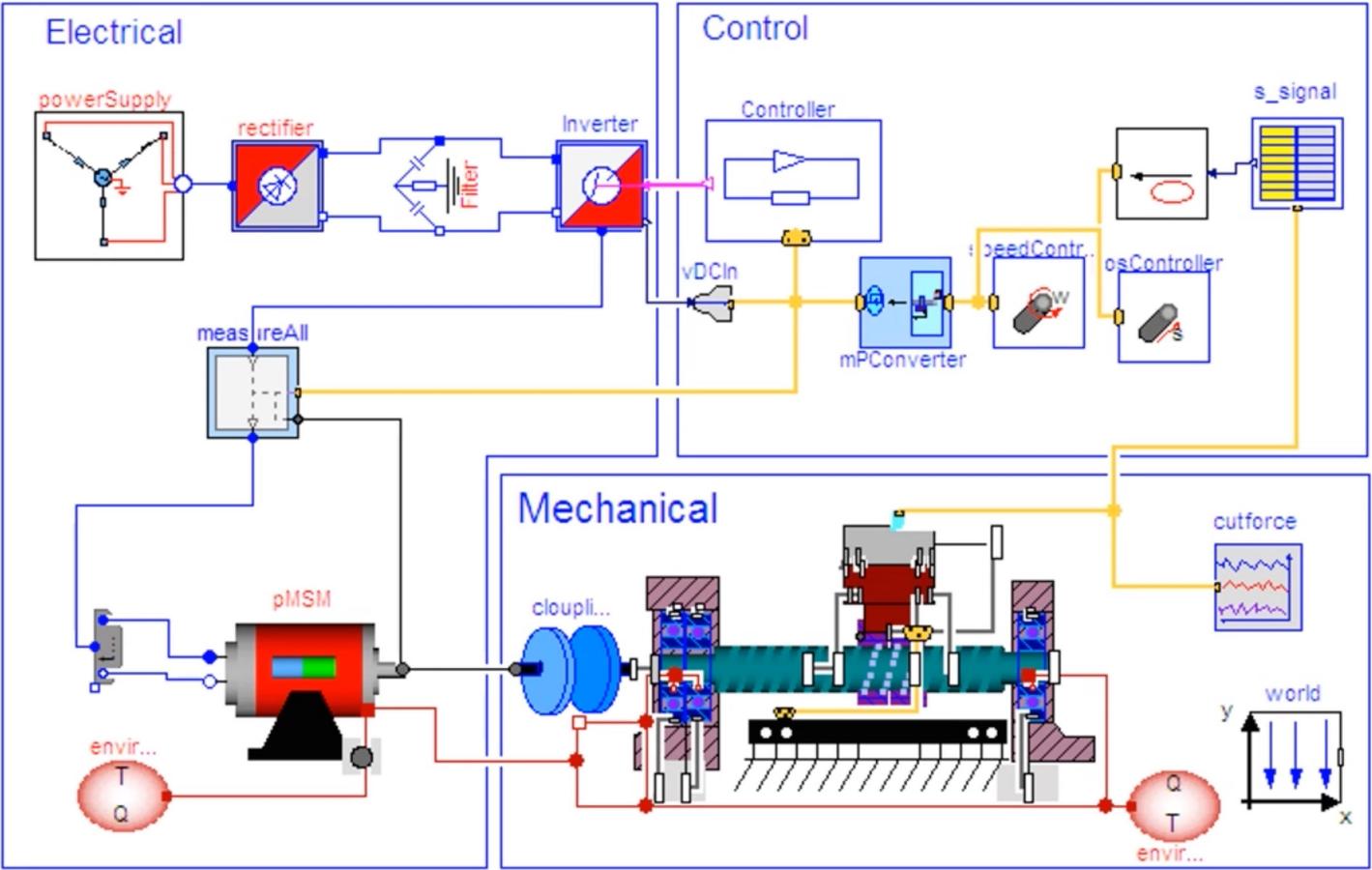
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



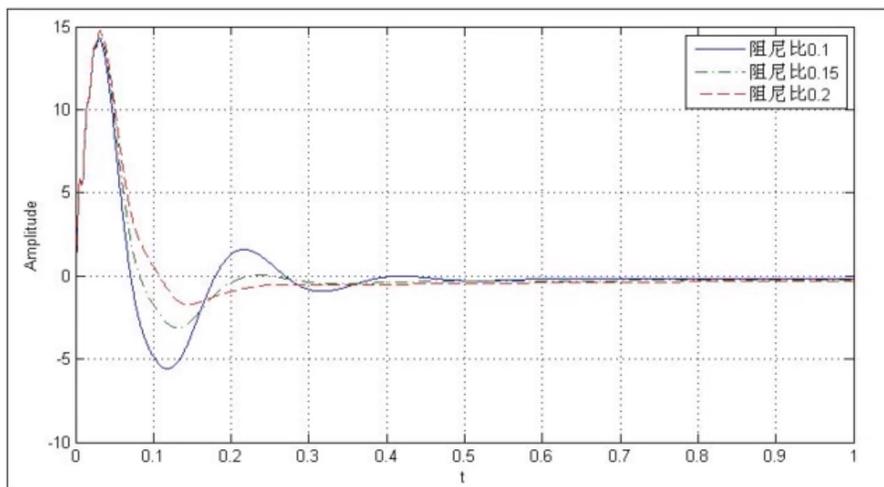
Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计

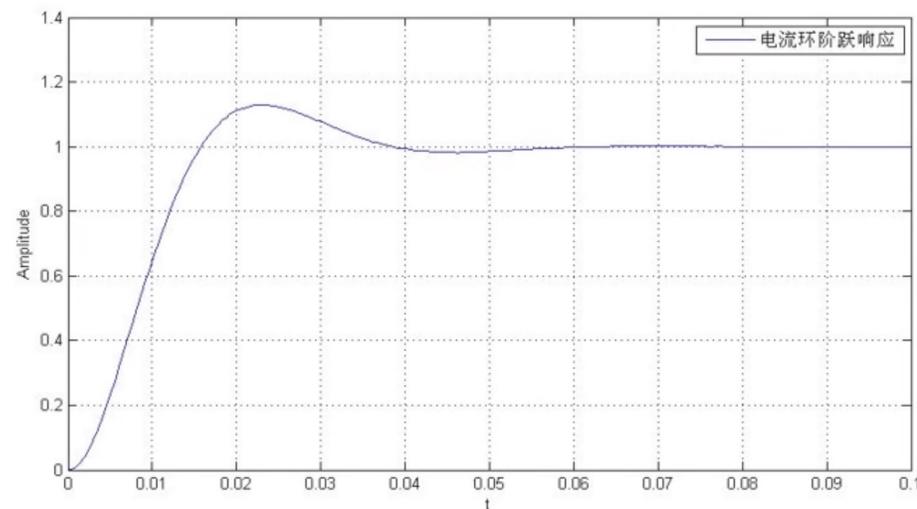


Integrated Design of Mechanical Systems

机械系统的集成设计



不同速度环增益的系统的干扰力阶跃响应



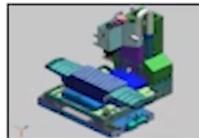
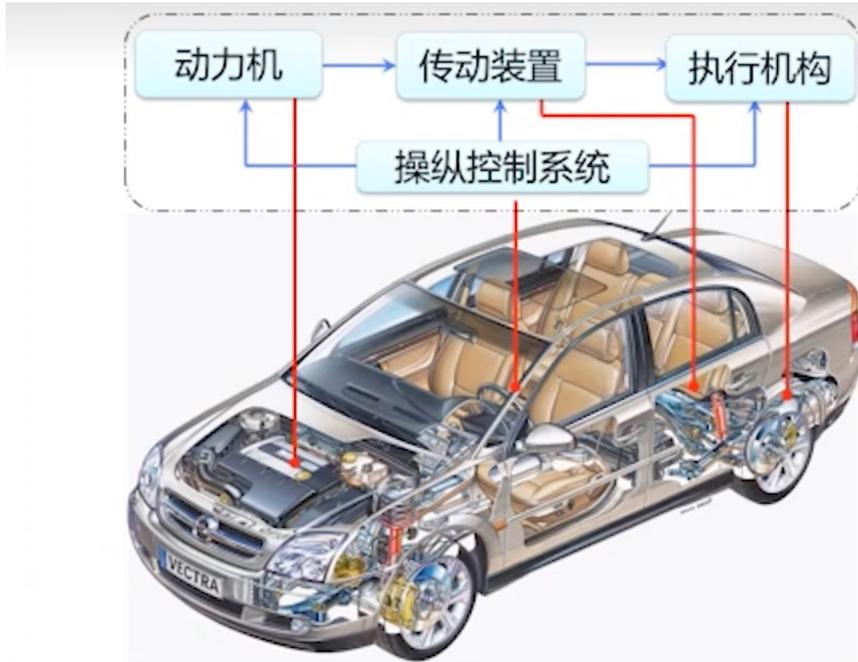
电流环的阶跃响应

Selection of Power System

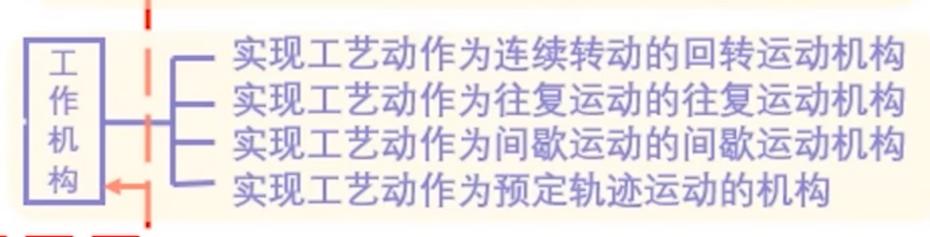
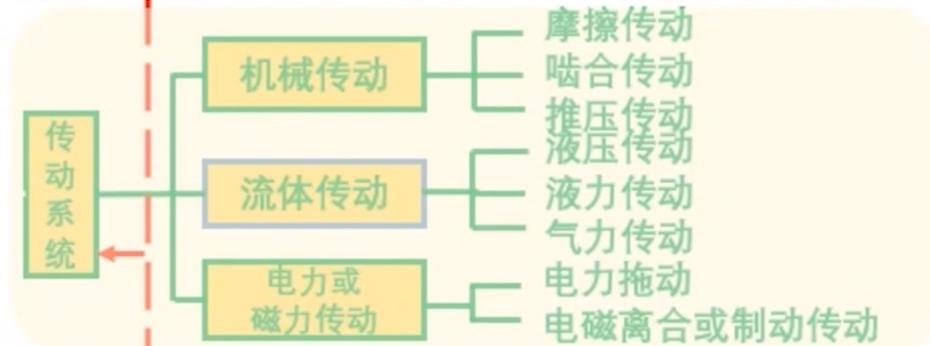
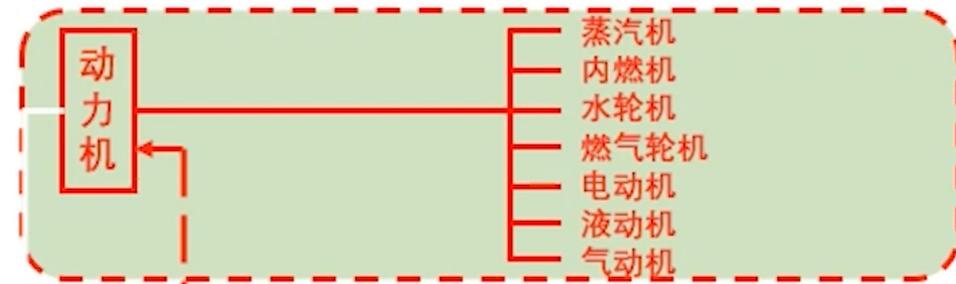
动力系统选择

Types of Power Source

动力机的种类



机械系统



现代机械种类繁多，但从实现其功能的角度看，仍可以主要归纳为以下的子系统：**动力机**、传动装置、执行机构、操控系统、支承系统等。

Types of Power Source

动力机的种类

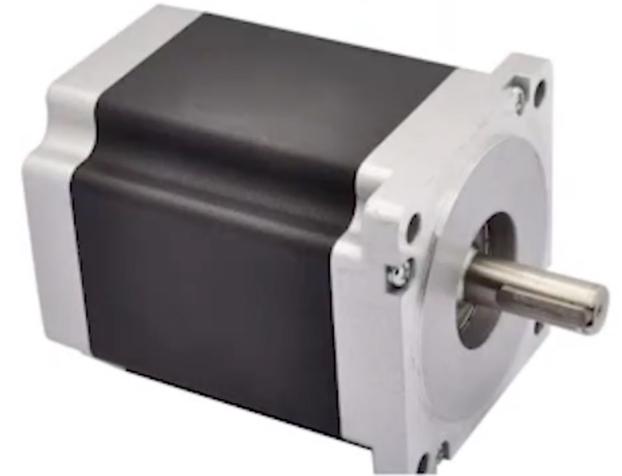
1. 内燃机



Types of Power Source

动力机的种类

2.电动机



Types of Power Source

动力机的种类

1) **三相异步电动机**: 三相异步电动机使用三相交流电源, 是生产中广泛使用的一种电动机, 它的品种很多。

2) **直流电动机**: 直流电动机需使用直流电源, 与交流电动机相比, 它具有调速性能好, 调速范围宽, 启动转矩大等特点。

3) **同步电动机**: 同步电动机是一种用交流电流励磁建立旋转的电枢磁场, 用直流电流励磁构成旋转的转子磁极, 依靠电磁力的作用旋转磁场, 带动旋转磁极同步旋转的电动机。

系列化伺服电机、主轴、力矩、直线、电主轴电机





Types of Power Source

动力机的种类

3. 液压马达





Types of Power Source

动力机的种类

4. 气动马达



活塞式气动马达

叶片式气动马达

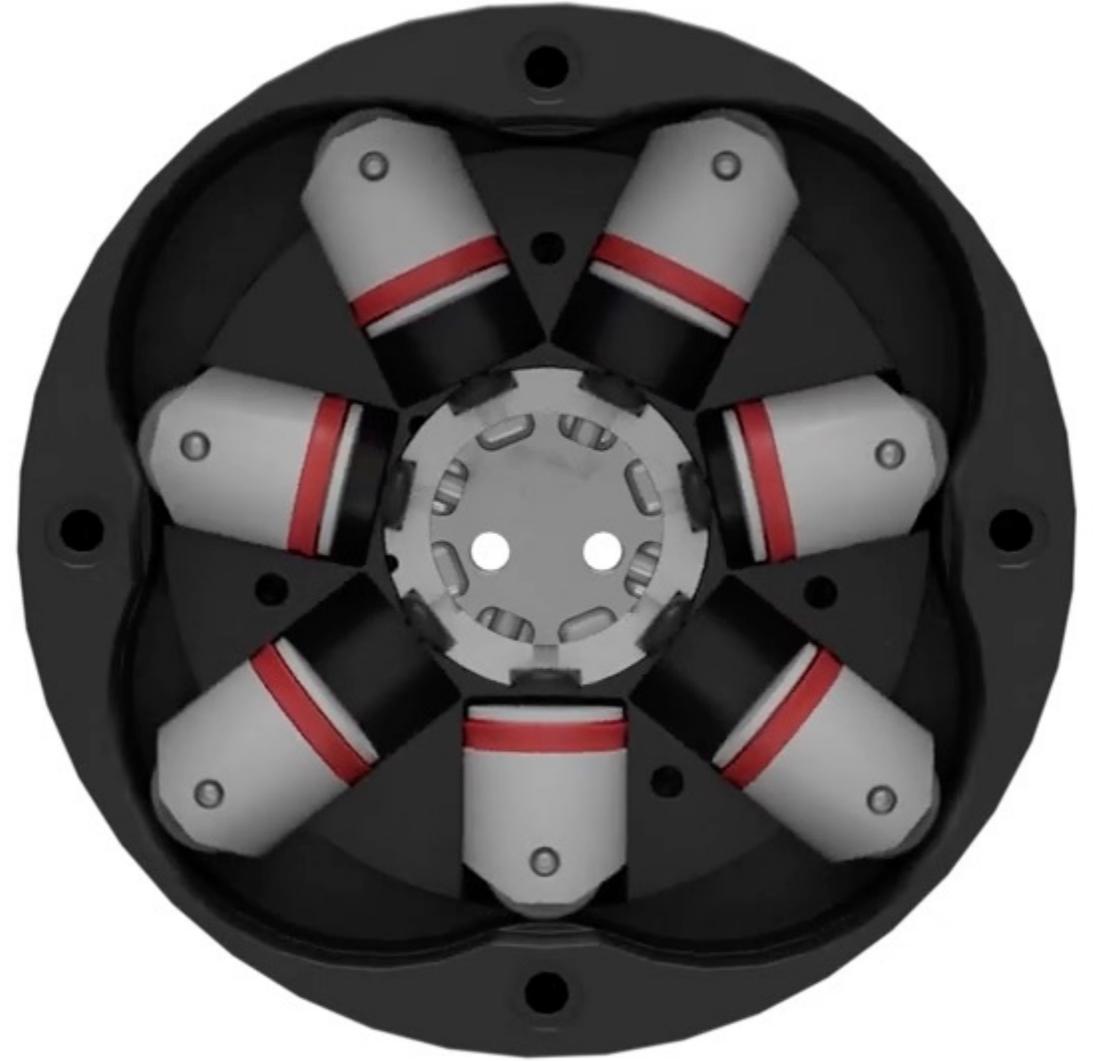
The PZB air motor

Centrifugal piston technology

Smooth operation

Clean emission

Easy to service

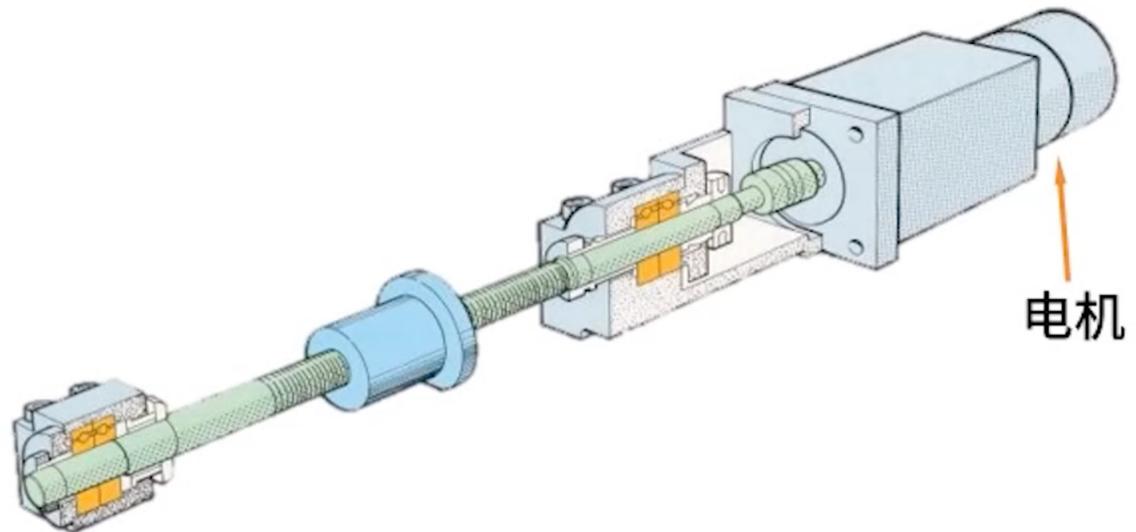


Selection of Power Source

动力机的选用及示例

主要应从三个方面进行：

- (1) 分析工作机械的负载特性和要求
- (2) 分析动力机本身的机械特性
- (3) 进行经济性的分析



Selection of Power Source

动力机的选用及示例

1.步进电机

优点：没有累积误差，结构简单，使用、维修方便，制造成本低，适用于中、小型机床和速度精度要求不高的地方

缺点：效率较低，发热大，有时会“失步”



Selection of Power Source

动力机的选用及示例

2. 直流伺服电机

小惯量直流电机：

- 转动惯量小、反应快
- 额定转矩较小，一般与齿轮减速装置相匹配
- 电机过载能力较差
- 一般用于高速轻载的小型数控机床

大惯量直流电机 { 电激磁
永久磁铁激磁

- 输出转矩大、响应速度快、过载能力强
- 调速范围宽、运转平稳、调试简单



永磁铁激磁式，不需要激磁功率、效率较高，电机低速时输出转矩较大，温升高、尺寸小，应用较为普遍。

Selection of Power Source

动力机的选用及示例

3.交流伺服电机

编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子的角度；精度决定于编码器精度

- 没有电刷和换向器，不需要经常维修，无换向火花，转速可进一步提高，且在高速情况下仍有较大输出转矩，电机的使用环境适应性好
- 结构简单、体积小、重量轻，相同功率的电机，重量仅为直流电机的70~90%，相同体积情况下，输出功率可提高110~170%
- 转子是永磁铁，线圈在定子上，绝缘可靠、散热容易，系统的可靠性高
- 利用伺服系统可以抑制交流电机的噪声和振动



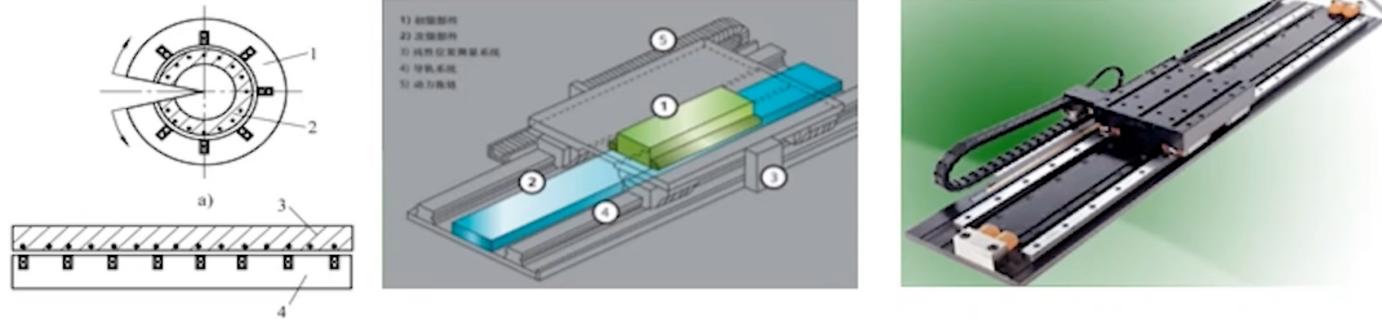
控制精度高、低速稳定、矩频特性好、过载能力强、控制性能可靠、具有快速响应能力

Selection of Power Source

动力机的选用及示例

4. 直线电机

初级（定子）通入电流产生行波磁场，与次级永磁体作用下产生驱动力，实现运动部件的直线运动。



- 无接触直接驱动，省去机械传动，可靠性高，简化机床结构，避免弹性变形、磨损、间隙、发热等带来的传动误差
- 传动刚度高，响应快，可得到瞬时高加/减速度，最大进给速度可达到150~180m/min，最大加/减速度为1G~8G

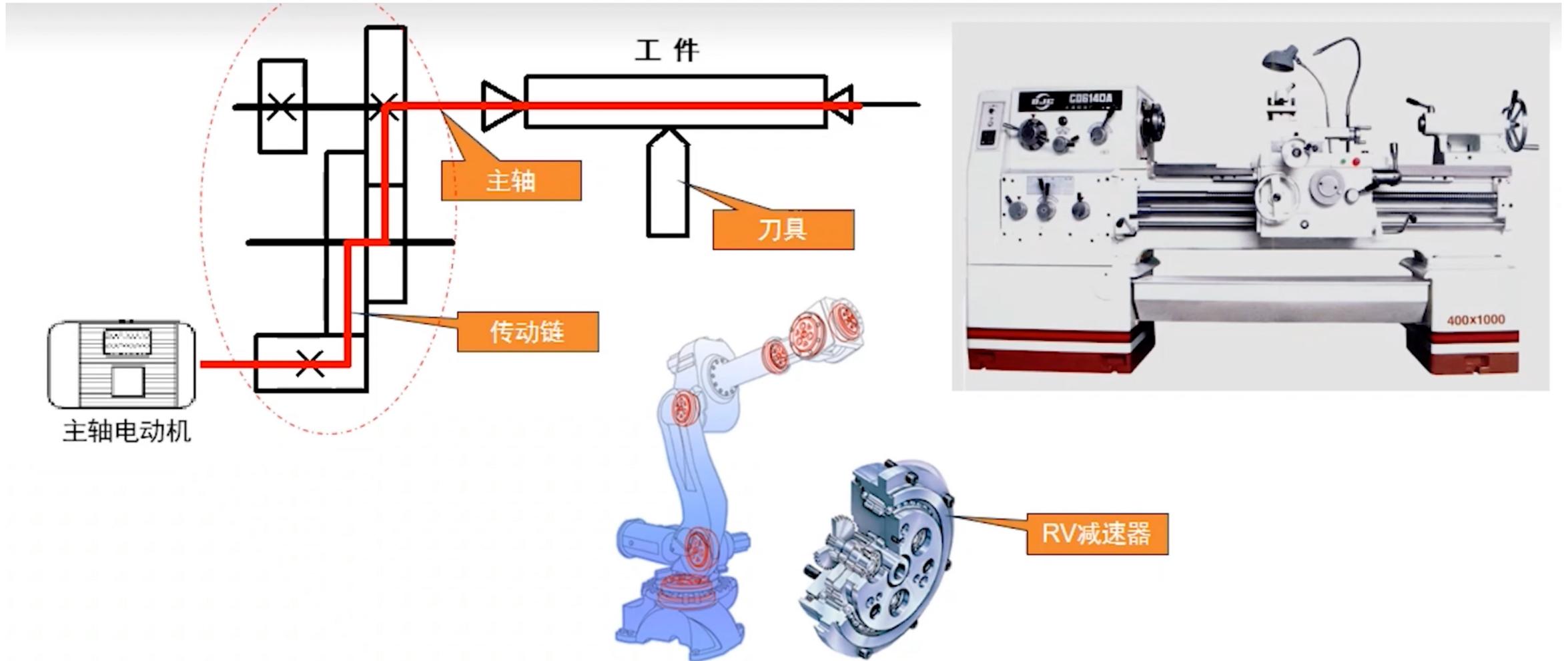
采用短初级直线电机驱动，无间隙直线滚动导轨导向，与光栅测量系统形成**全闭环的高速、高精度进给系统**

Power Transmission Design

传动系统设计

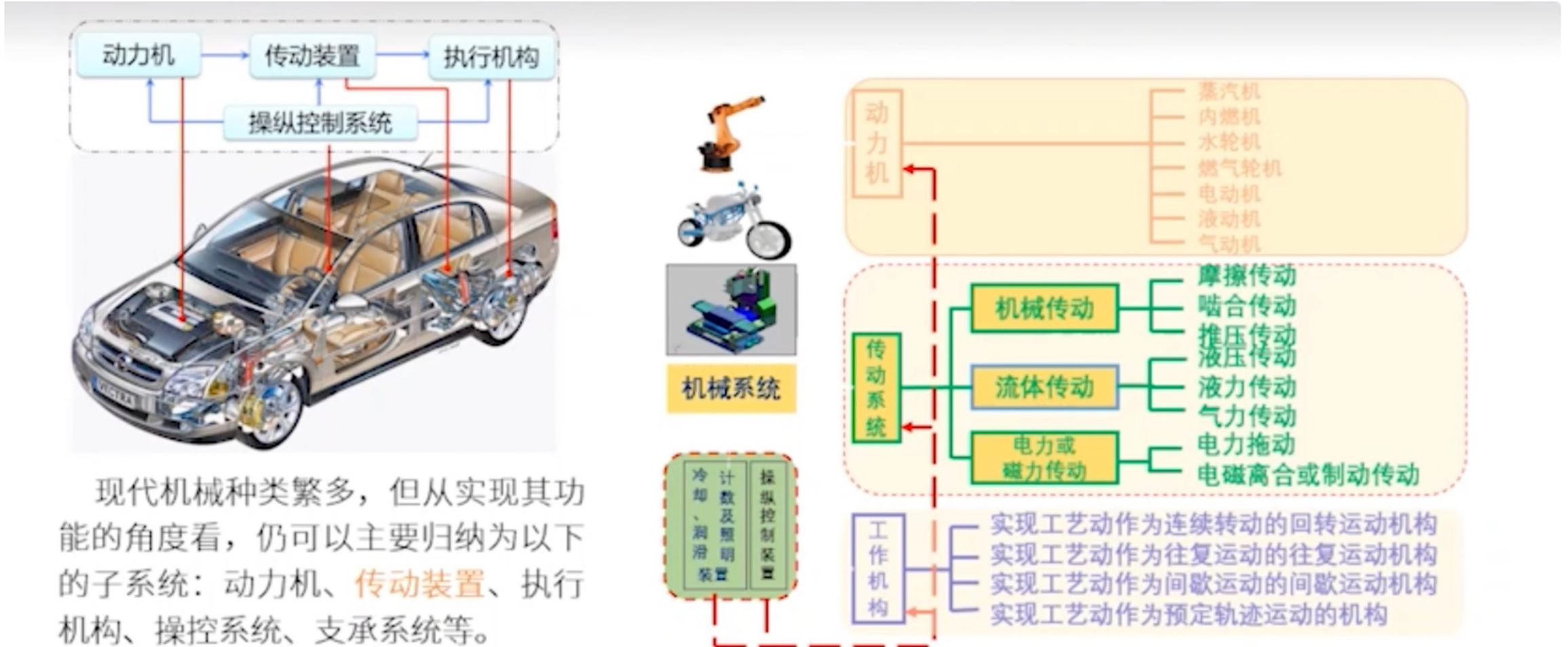
Fundamentals of Power Transmission

传动系统的工作原理与传动方案



Types of Power Transmission

传动装置的类型



Mechanisms of Power Transmission

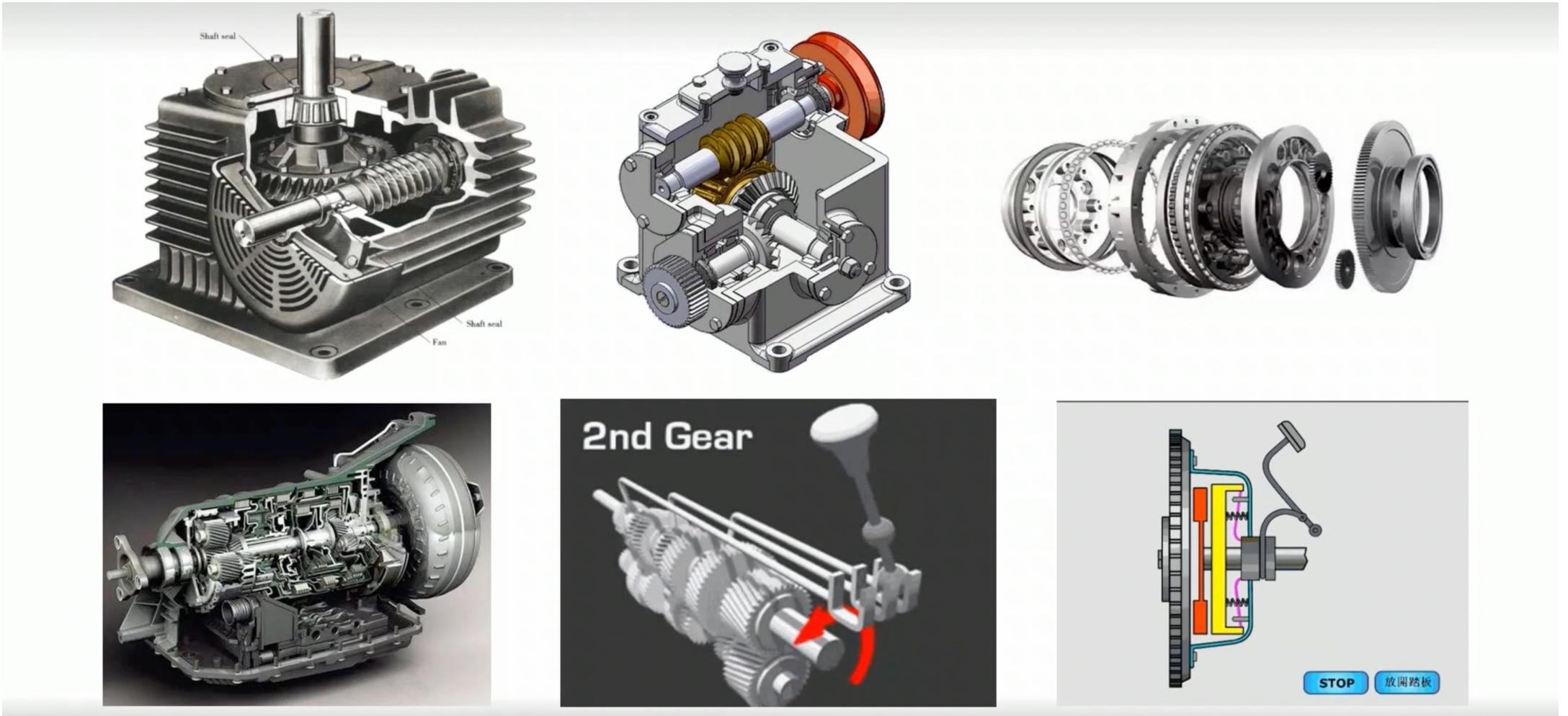
传动装置的类型 – 机构

机械传动	摩擦传动		摩擦轮传动	
			挠性摩擦传动	
			摩擦式无级变速传动	
	啮合传动	齿轮传动	圆柱齿轮传动	
			锥齿轮传动	
			动轴轮系	
			非圆齿轮传动	
			章动传动	
			蜗杆传动	
		蜗杆传动	圆柱蜗杆传动	
			环面蜗杆传动	
			锥蜗杆	
		挠性啮合传动		
		螺旋传动		
连杆传动				
凸轮传动				
组合机构				
流体传动	气压传动			
	液压传动			
	液力传动			
	液体黏性传动			
电力传动	交流电力传动			
	直流电力传动			
磁力传动				



Parts of Power Transmission

传动装置的类型 - 部件



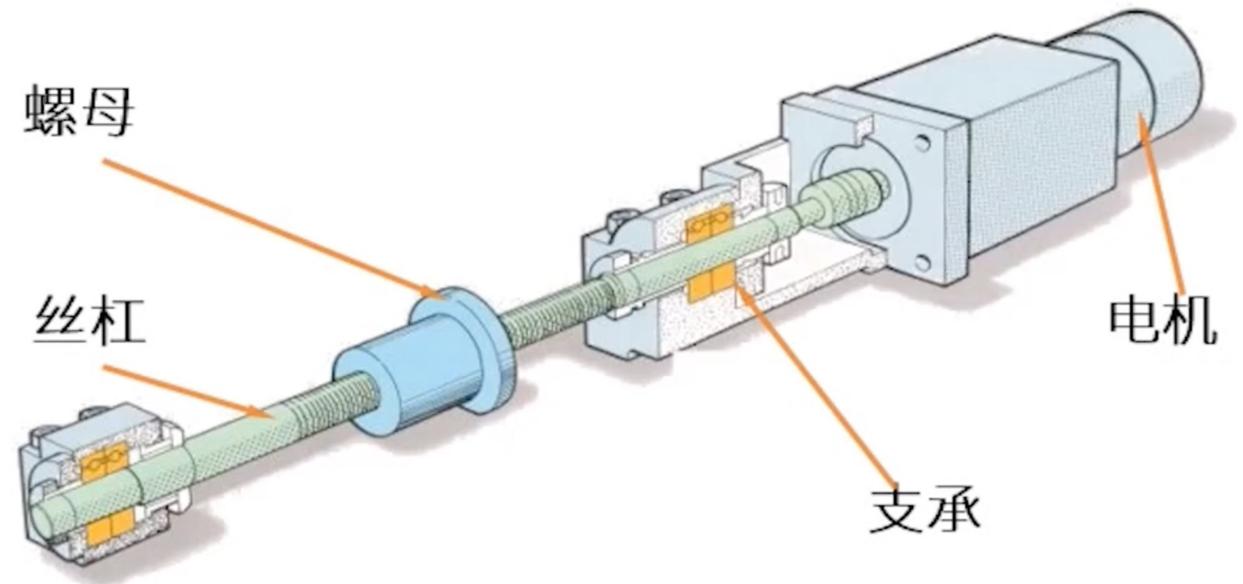
System of Power Transmission

传动装置的类型 - 系统

机床中，为了提高进给传动的稳定性和精度，进给系统的后端常采用降速比很大的蜗轮蜗杆传动副、行星机构、丝杠螺母副等，数控机床无级变速进给系统一般采用伺服电动机无级调速。

伺服进给系统作用

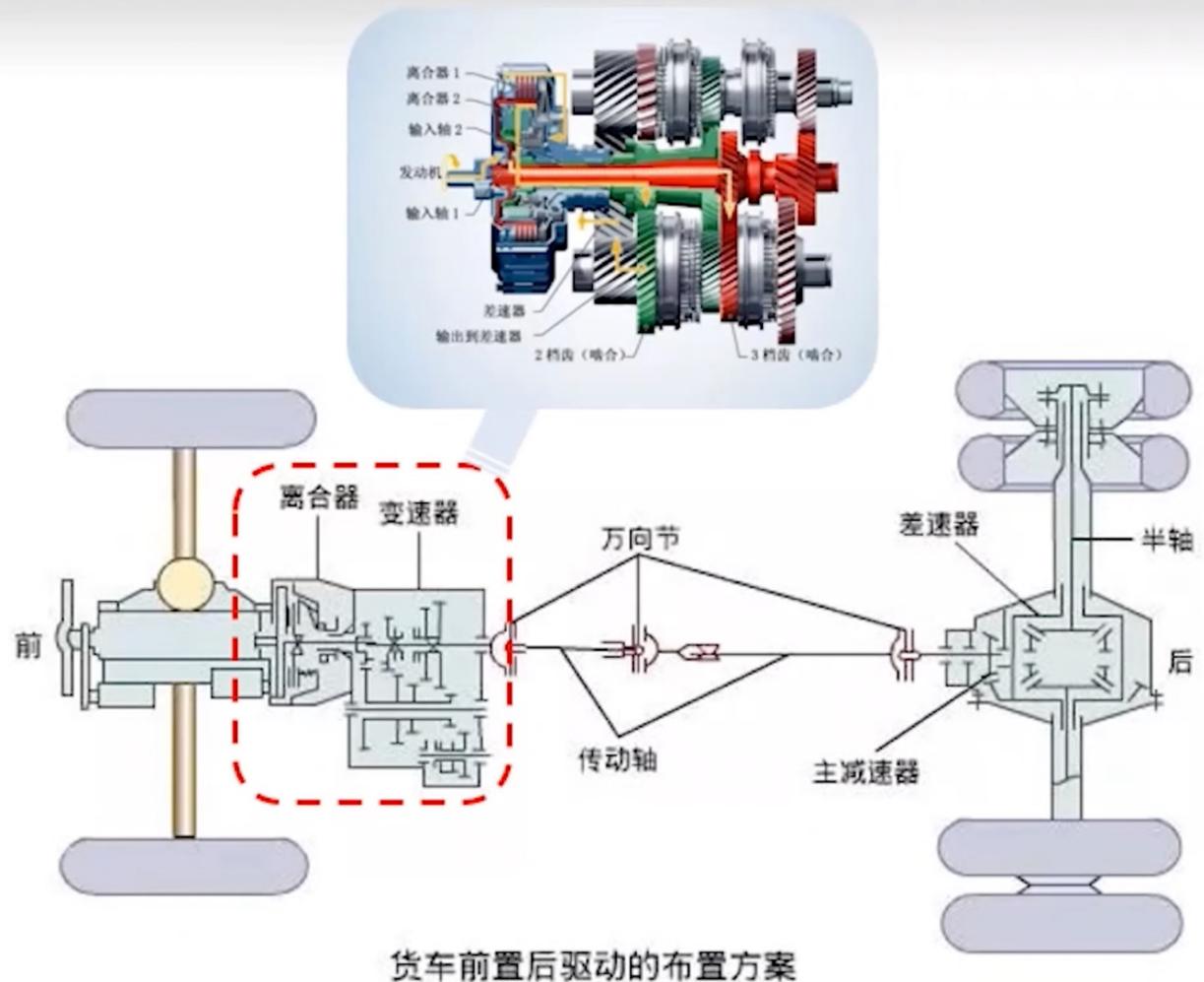
伺服系统是数控装置和机床之间的联系环节，其作用是接受来自数控装置发出的信号，经变换和放大后驱动工作台按规定的速度和距离移动。



System of Power Transmission

传动装置的类型 - 系统

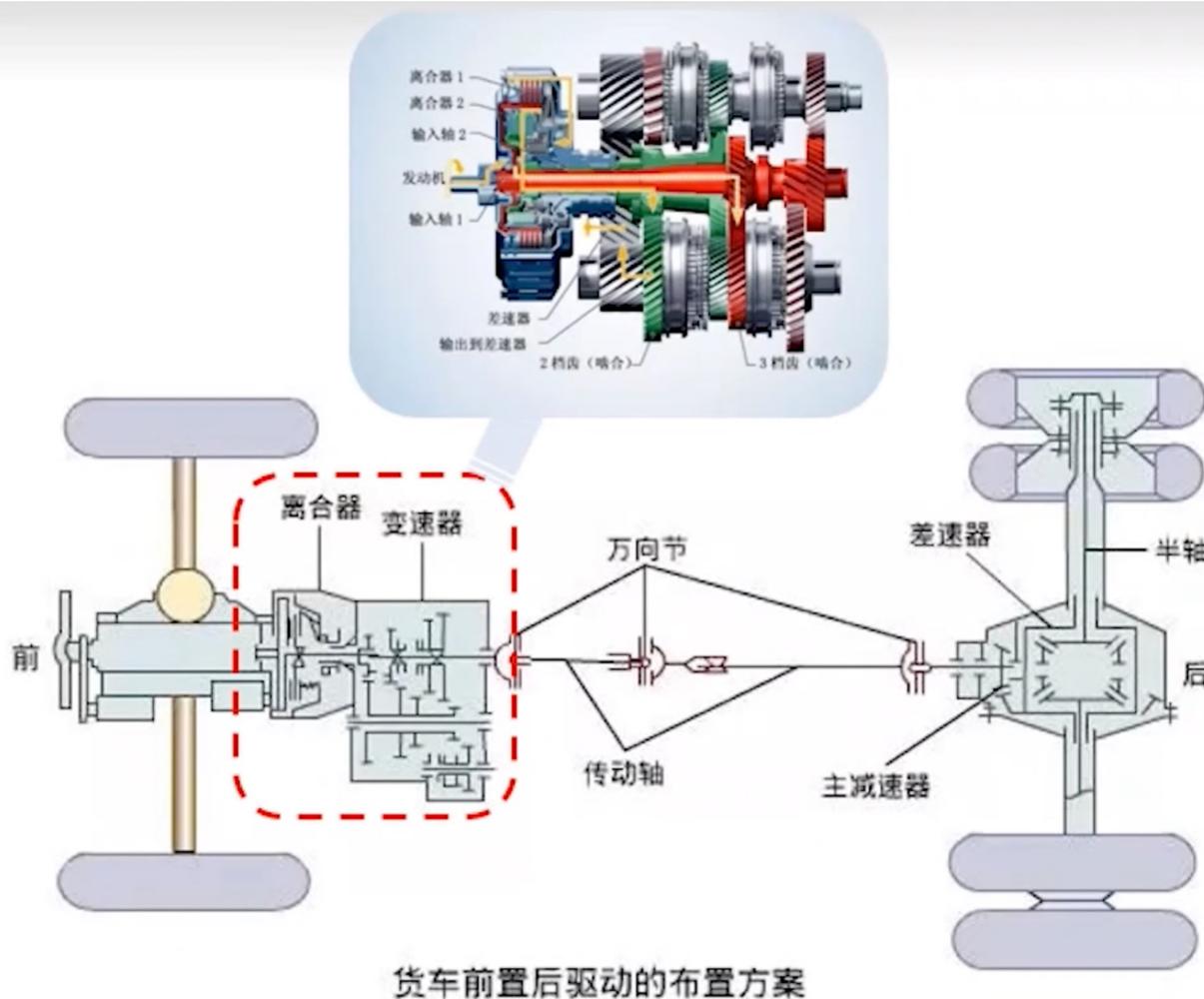
汽车传动系统位于发动机与驱动轮之间的动力传递装置，由离合器、变速器、万向节、传动轴、减速器、差速器等组成。保证汽车在各种行驶条件下所必需的牵引力和车速，使它们之间能够协调变化并有足够的变化范围，能使动力传递能根据需要而顺利接合与分离。



System of Power Transmission

传动装置的类型 - 系统

汽车传动系统位于发动机与驱动轮之间的动力传递装置，由离合器、变速器、万向节、传动轴、减速器、差速器等组成。保证汽车在各种行驶条件下所必需的牵引力和车速，使它们之间能够协调变化并有足够的变化范围，能使动力传递能根据需要而顺利接合与分离。



Selection Criteria of Power Transmission

选择机械传动系统类型的依据

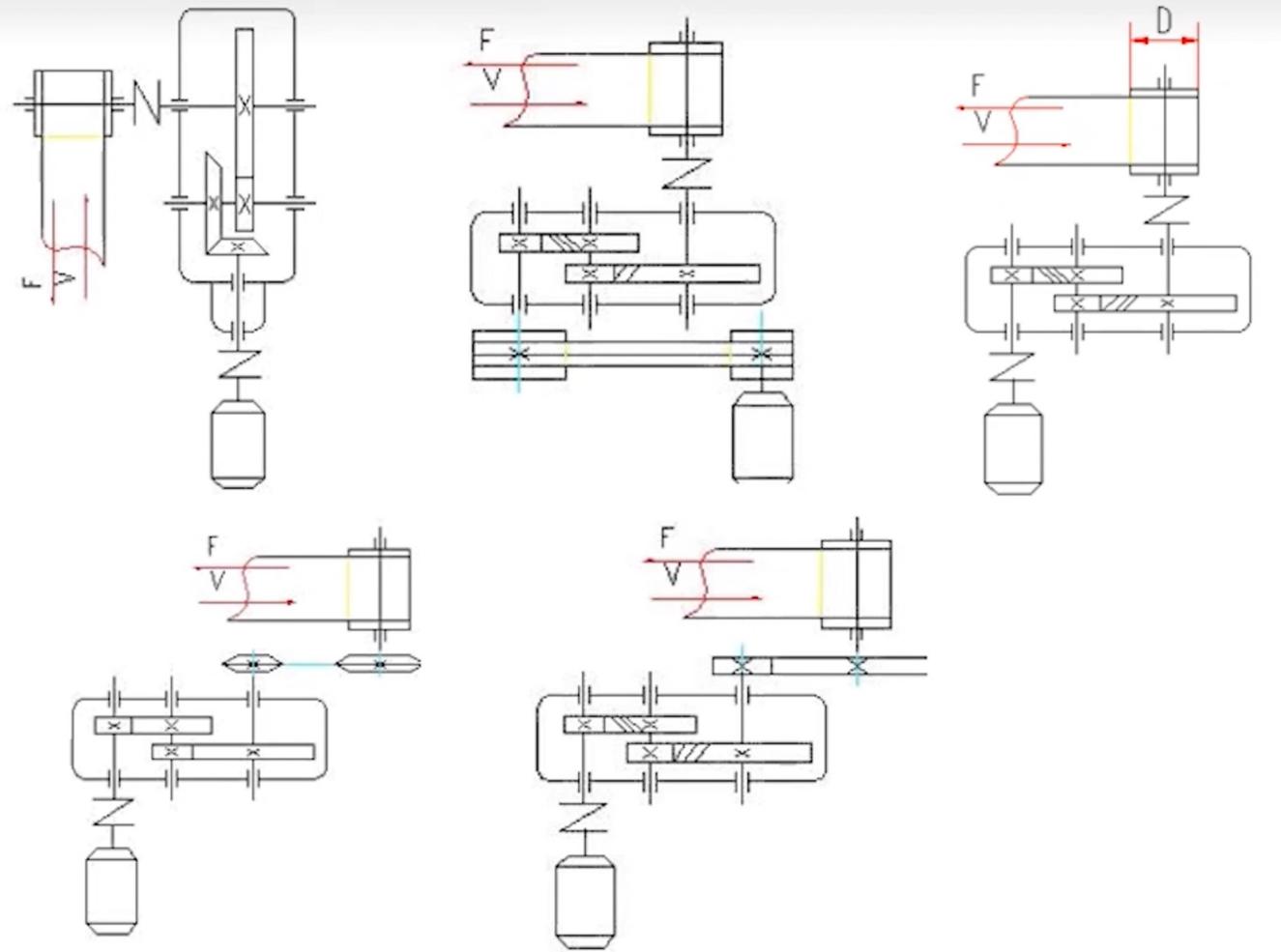
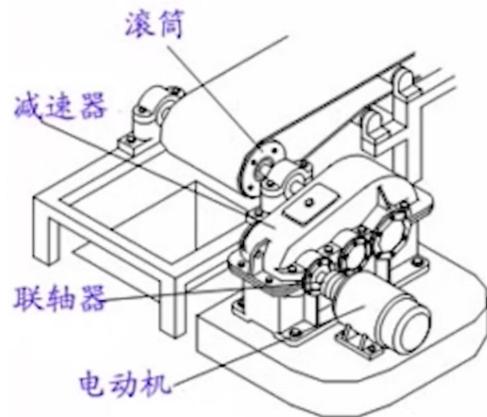
选择传动装置的类型时，应综合考虑下列条件：

- (1) 工作机的工况；
- (2) 动力机的机械特性和调速性能；
- (3) 对传动的尺寸、重量和布置方案方面的要求；
- (4) 工作环境,如对多尘、高温、低温、潮湿、腐蚀、易燃、易爆等恶劣环境的适应性，噪声的限度等；
- (5) 经济性,如工作寿命和传动效率、初始费用、运转费用、维修费用等；
- (6) 操作方法和控制方式；
- (7) 其他要求,如国家的技术政策（材料的选用、标准化和系列化等）、现场的技术条件（能源、制造能力等）、环境保护等。

Principals of Power Transmission

选择机械传动系统类型的原则

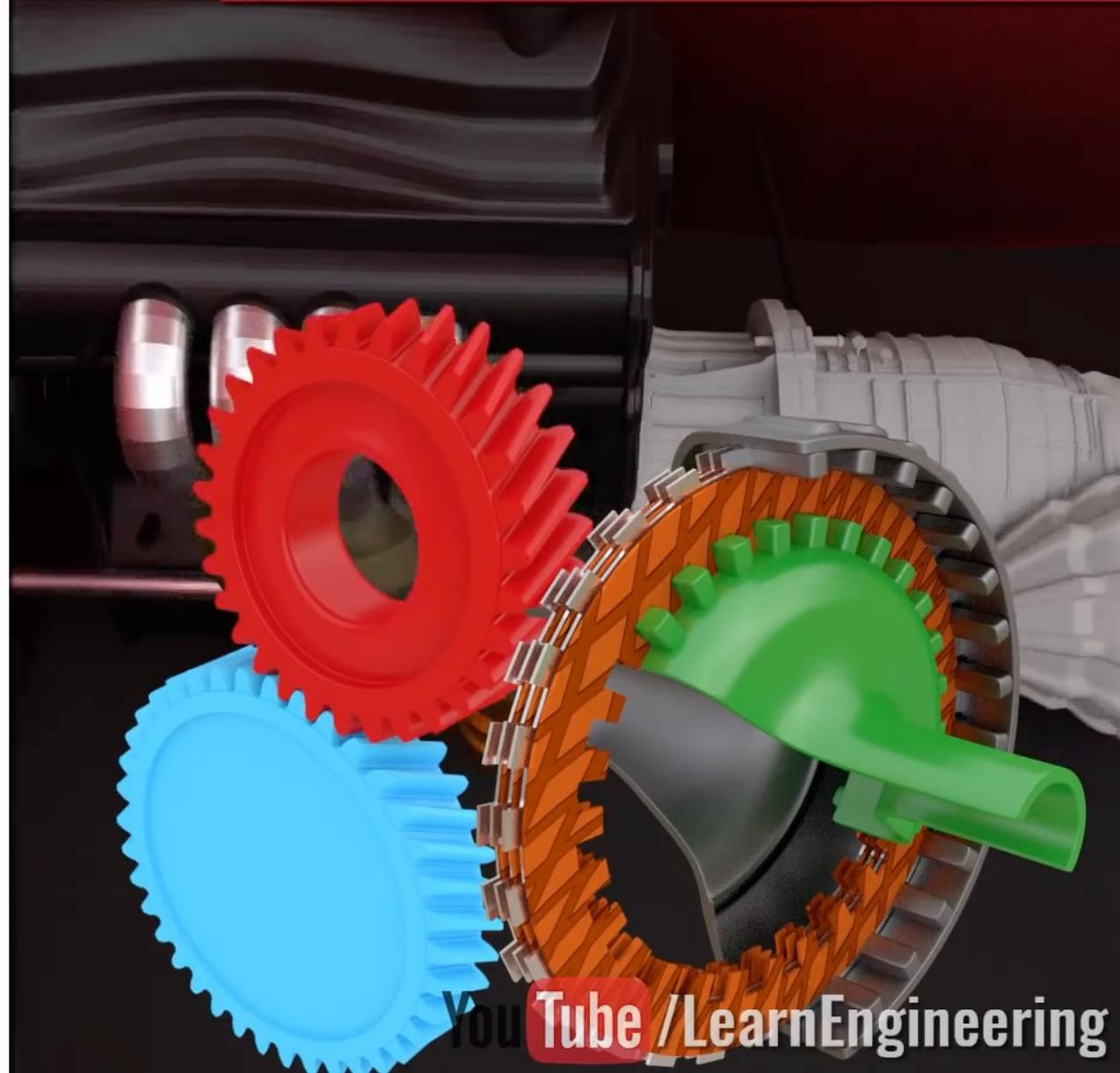
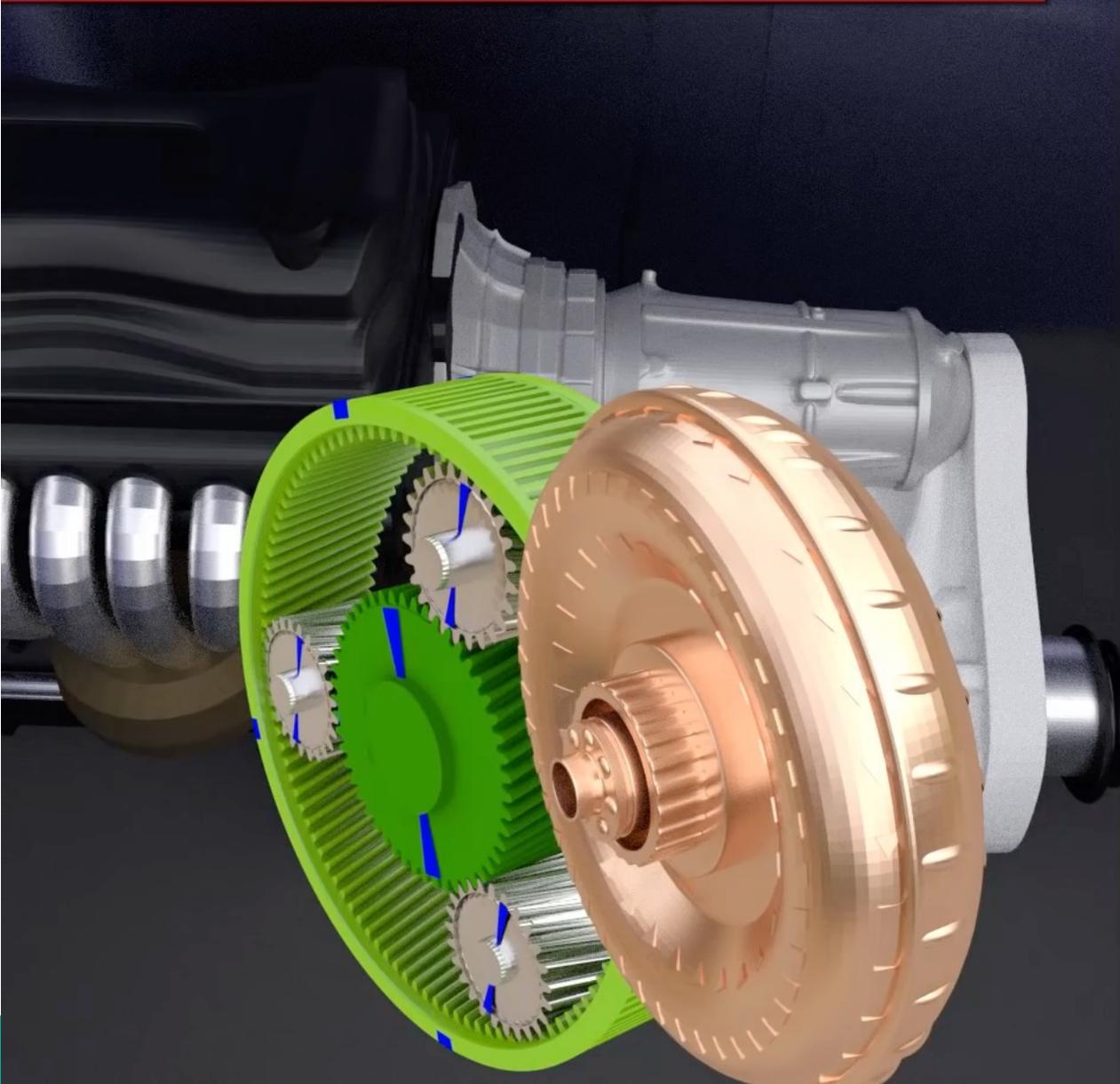
- (1) 简化传动环节
- (2) 提高传动效率
- (3) 合理安排传动机械的顺序
- (4) 确保机械系统安全运转
- (5) 合理分配传动机械的传动比



AUTOMATIC TRANSMISSION

VS

MANUAL TRANSMISSION

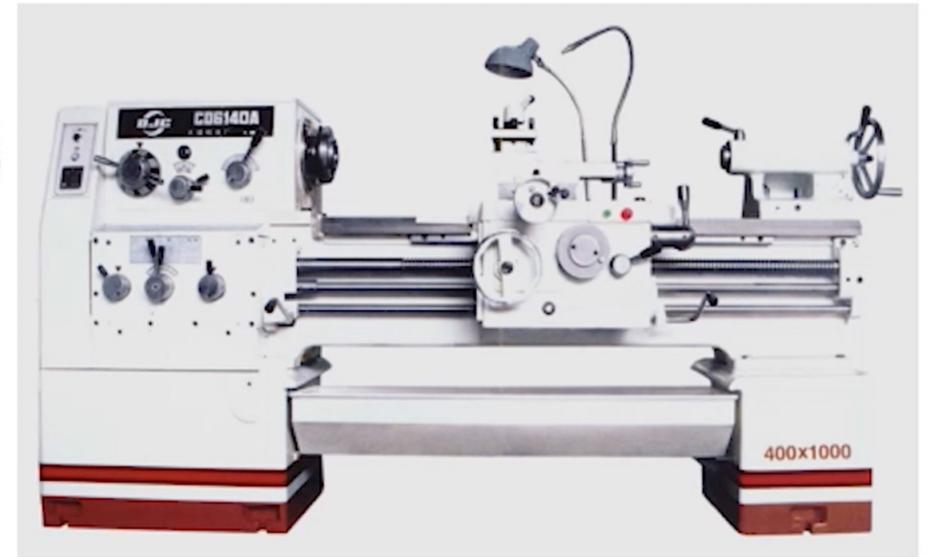
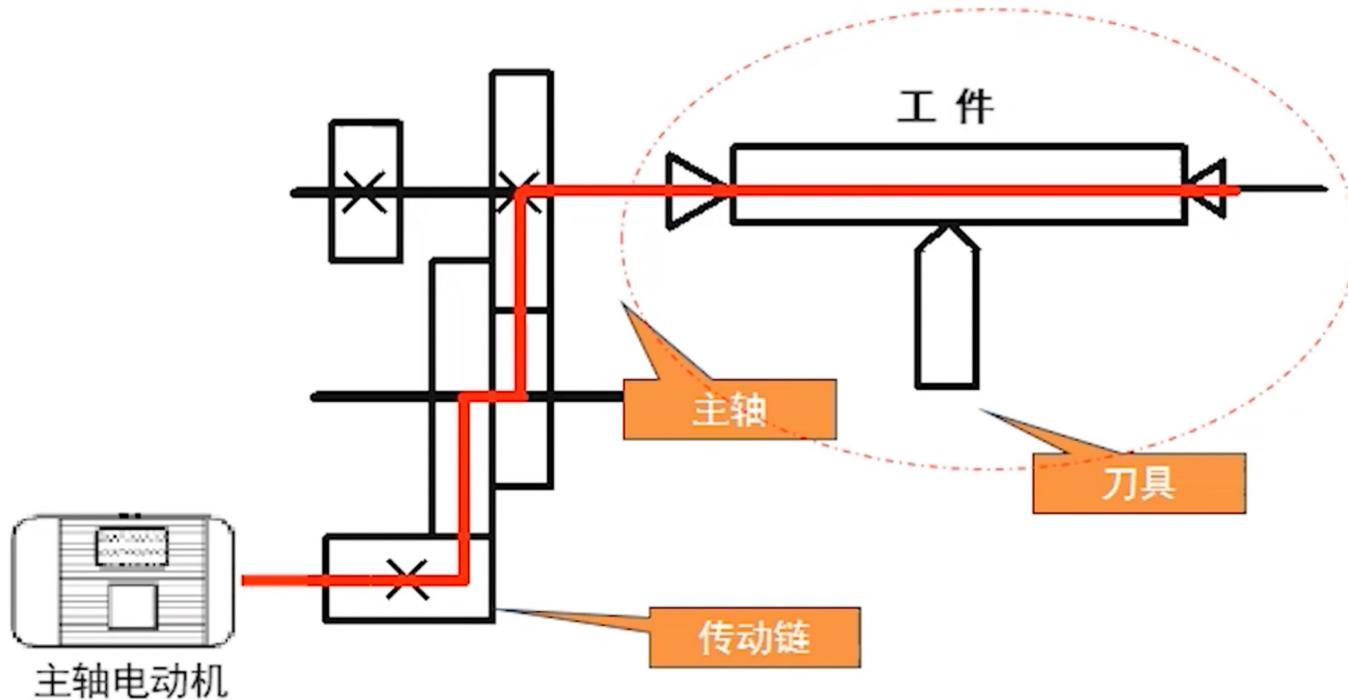


Actuating Mechanism Design

执行机构设计

Fundamental Problems in Actuating Mechanisms

执行机构的基本问题



Fundamental Problems in Actuating Mechanisms

执行机构的基本问题

机器执行机构运动设计的基本问题归纳为以下三个方面：

A

确定执行机构的
运动方案

B

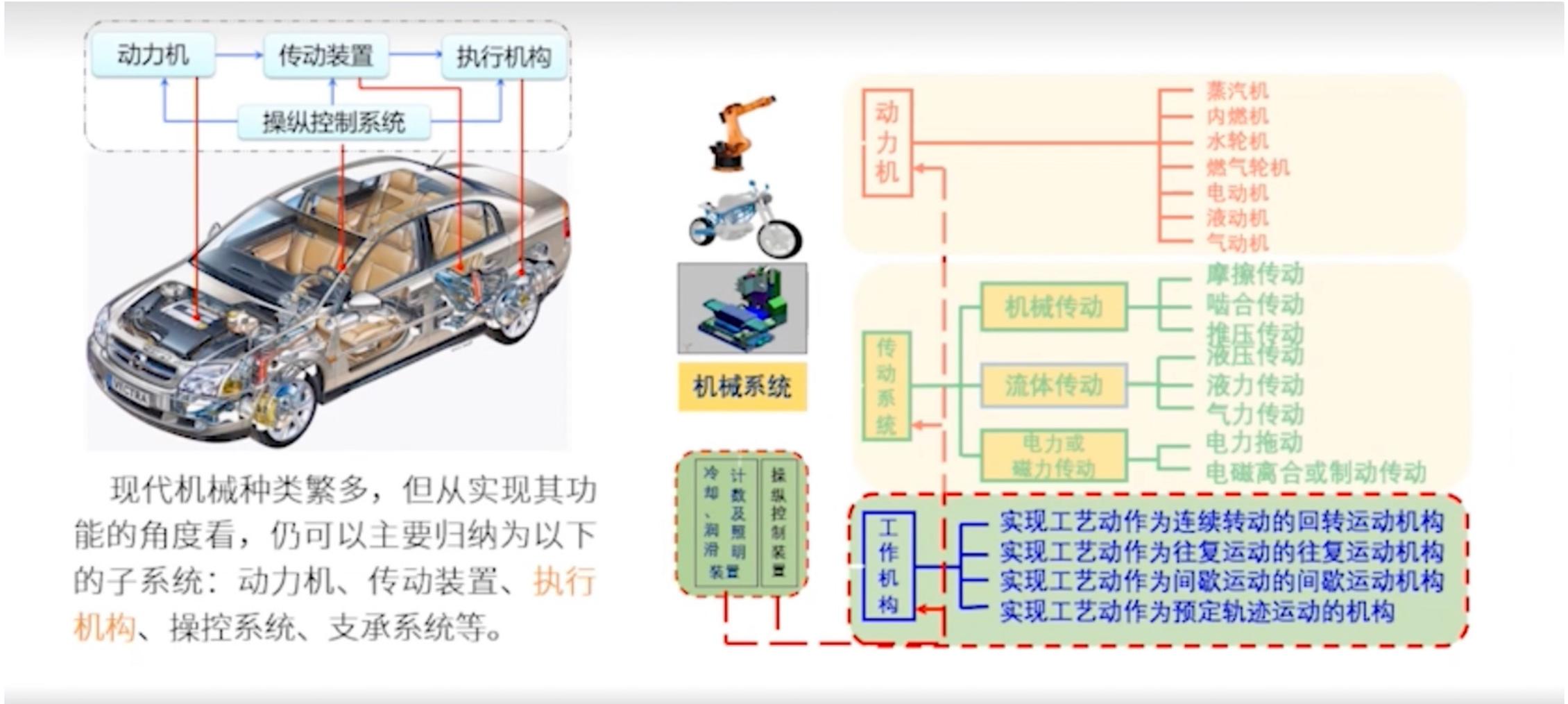
合理地选择执行
机构的类型

C

确定执行机构的
运动循环规律

Confirm the Actuating Mechanism

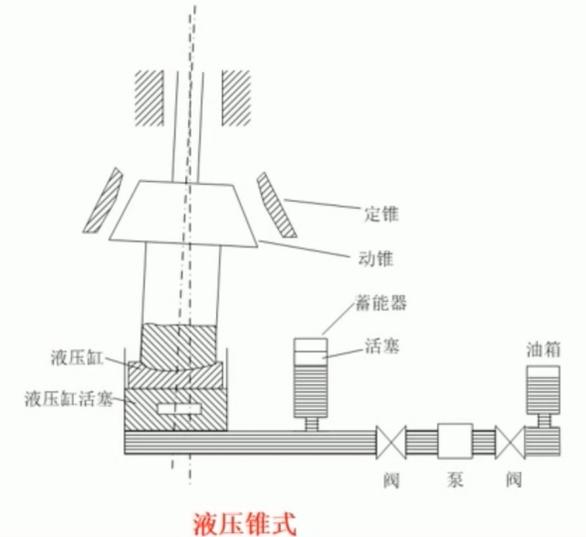
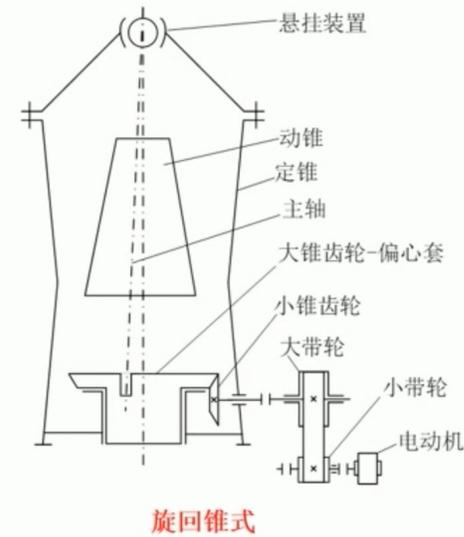
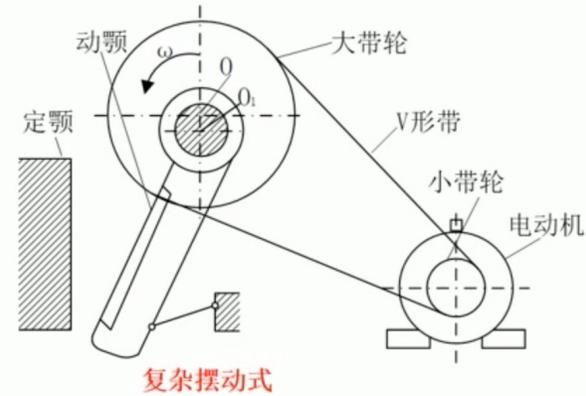
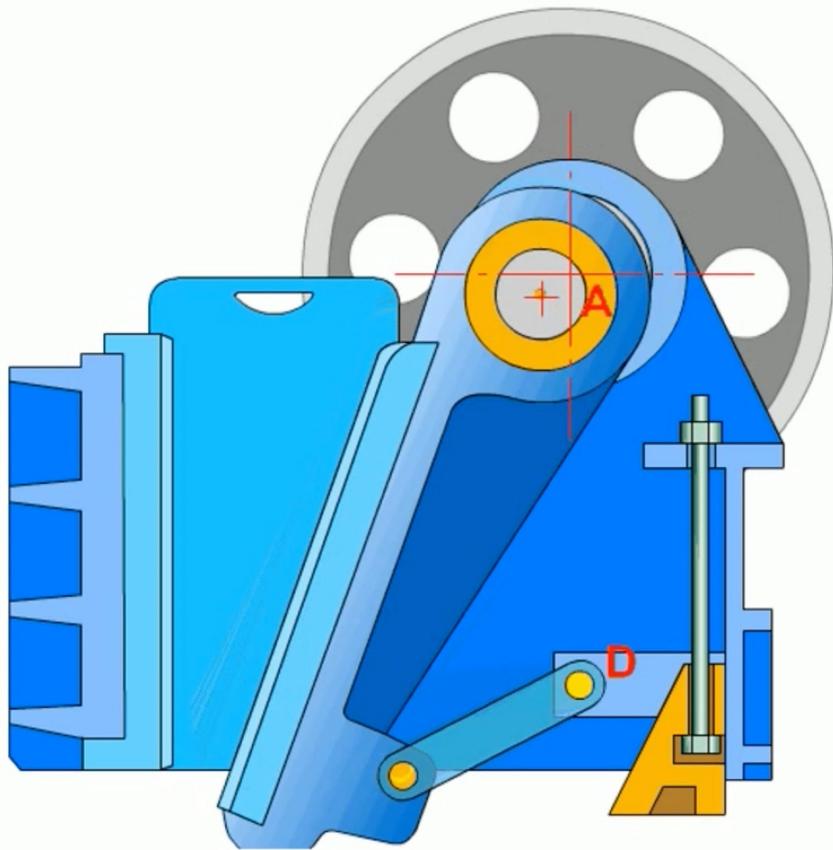
确定执行的运动方案



现代机械种类繁多，但从实现其功能的角度看，仍可以主要归纳为以下的子系统：动力机、传动装置、执行机构、操控系统、支承系统等。

Selecting the Actuating Mechanism

合理地选择执行机构的类型

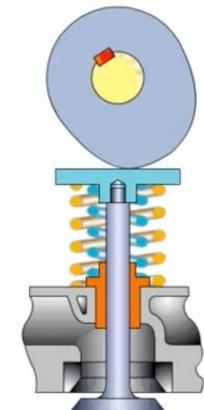
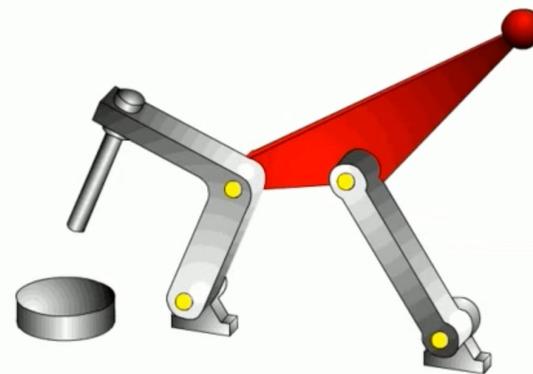
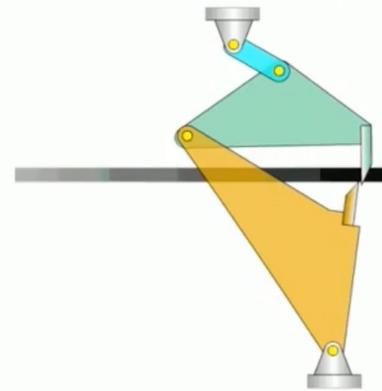


Selecting the Actuating Mechanism

合理地选择执行机构的类型

1. 实现往复运动的机构

- 连杆机构
- 凸轮机构
- 螺旋机构
- 齿轮齿条机构

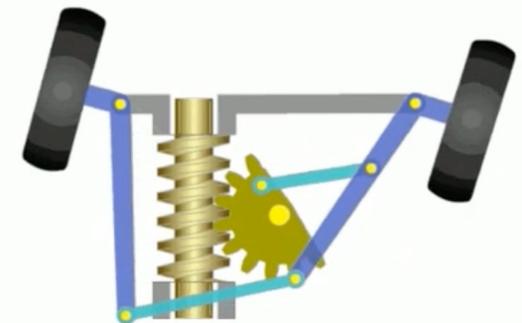
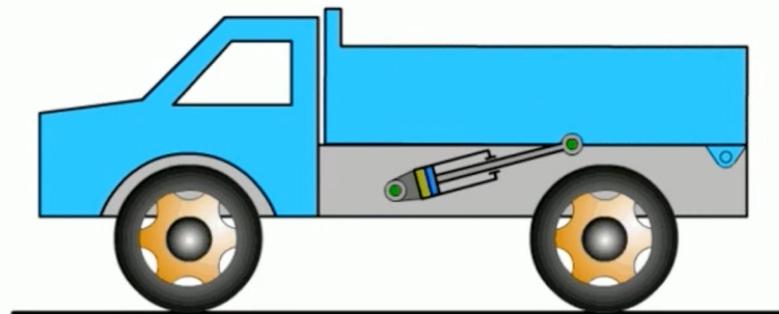
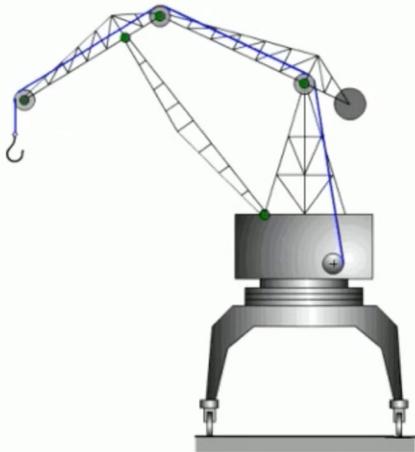


Selecting the Actuating Mechanism

合理地选择执行机构的类型

2. 往复摆动机构

- 摆动从动件凸轮机构
- 连杆机构

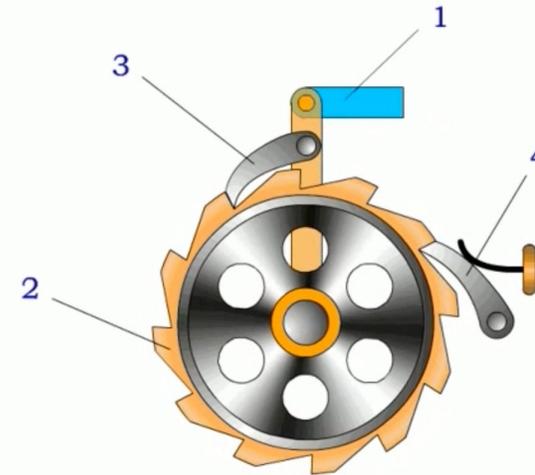


Selecting the Actuating Mechanism

合理地选择执行机构的类型

3. 单向步进运动机构

- 槽轮机构
- 棘轮机构



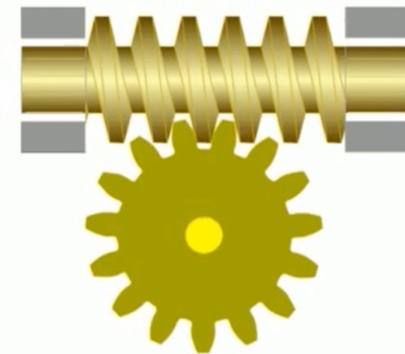
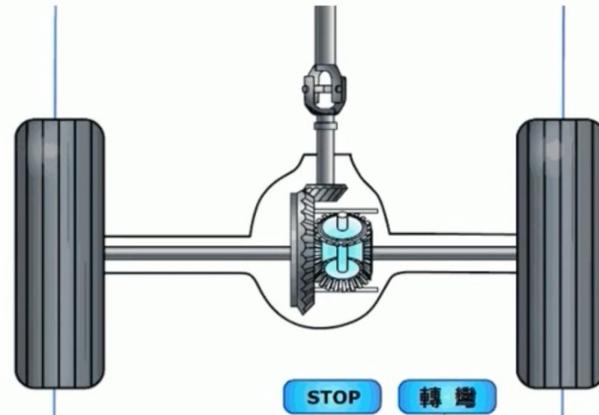
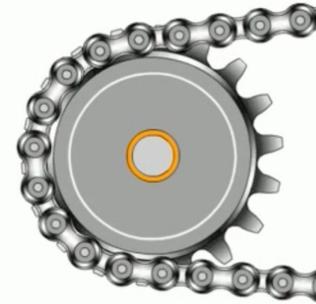
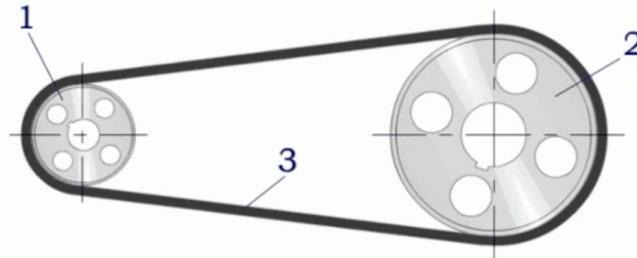
1—原动件 2—棘轮 3—驱动棘爪 4—止回棘爪

Selecting the Actuating Mechanism

合理地选择执行机构的类型

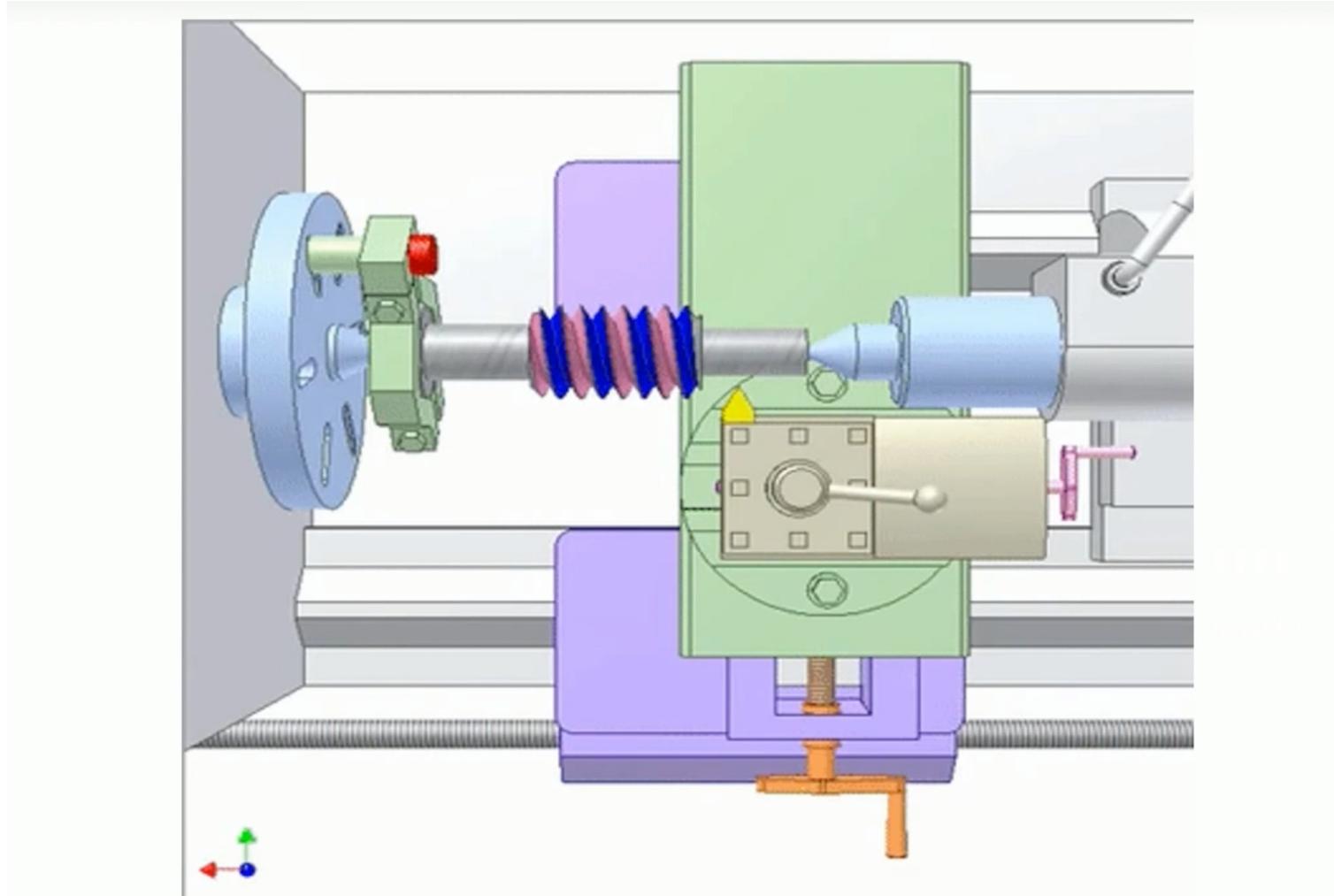
4. 回转运动

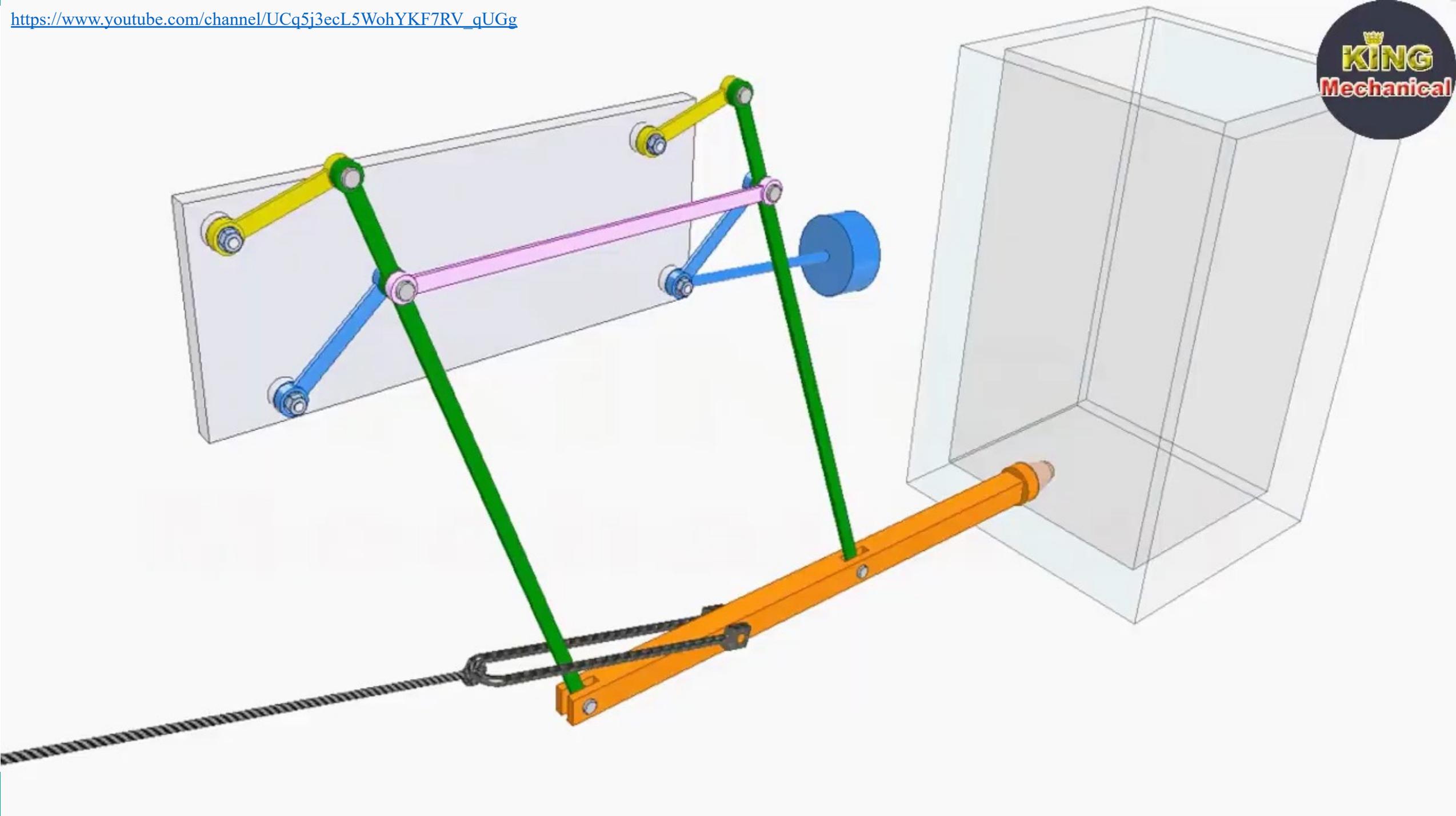
- 摩擦轮传动
- 带传动
- 链传动
- 齿轮传动
- 蜗杆传动



Selecting the Actuating Mechanism

确定执行机构的运动循环规律



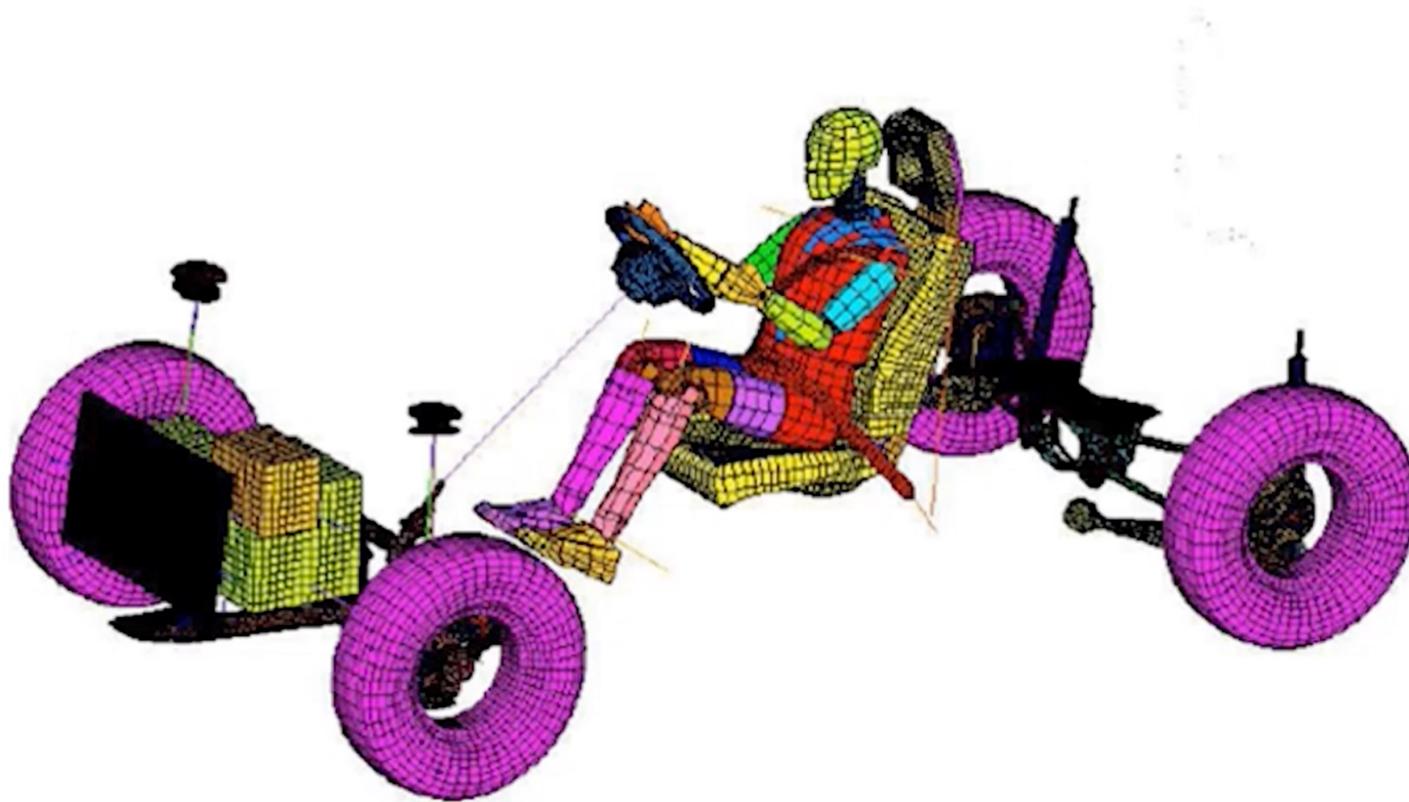


Manipulation Device Design

操控装置设计

Manipulation Mechanism

操控机构



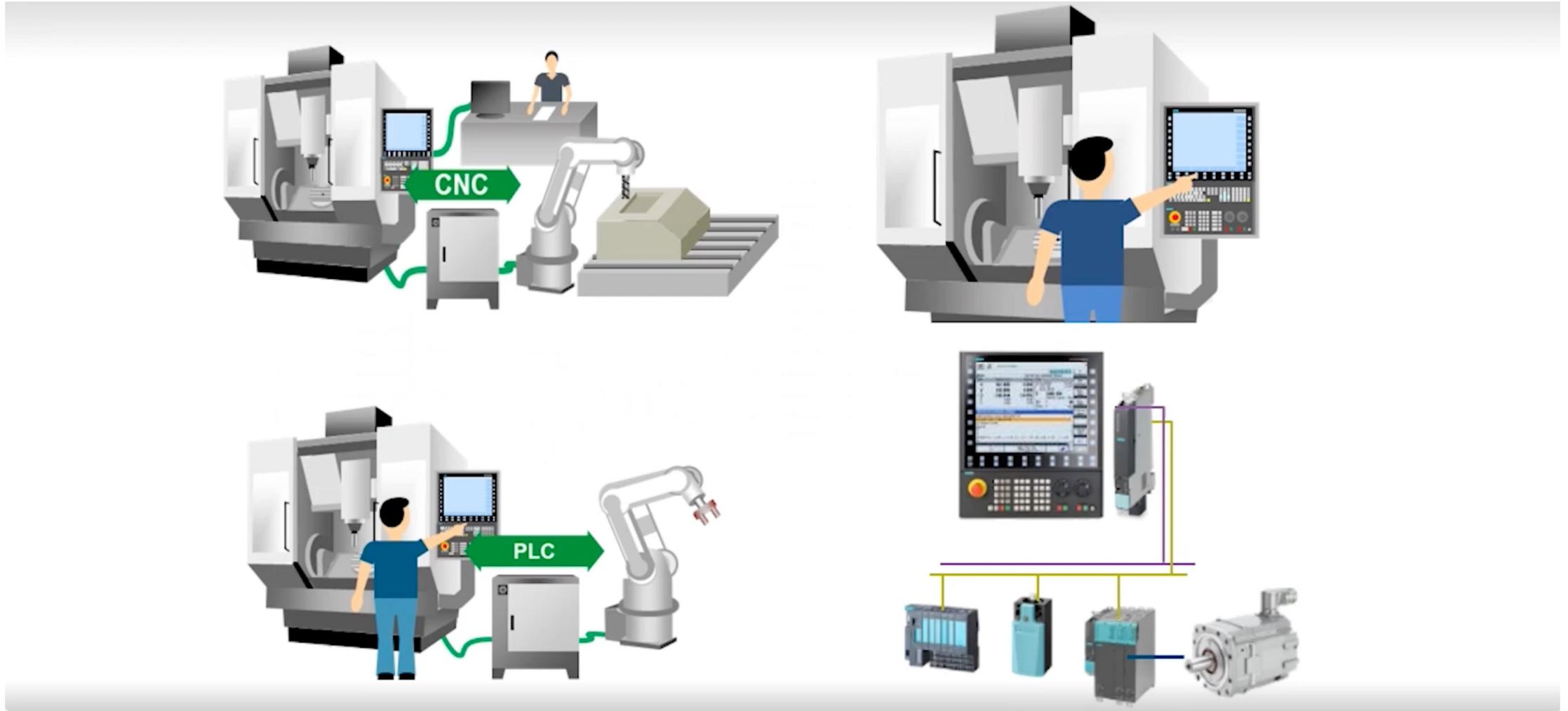
Manipulation Mechanism

<https://www.youtube.com/watch?v=em1O8mz7sF0>



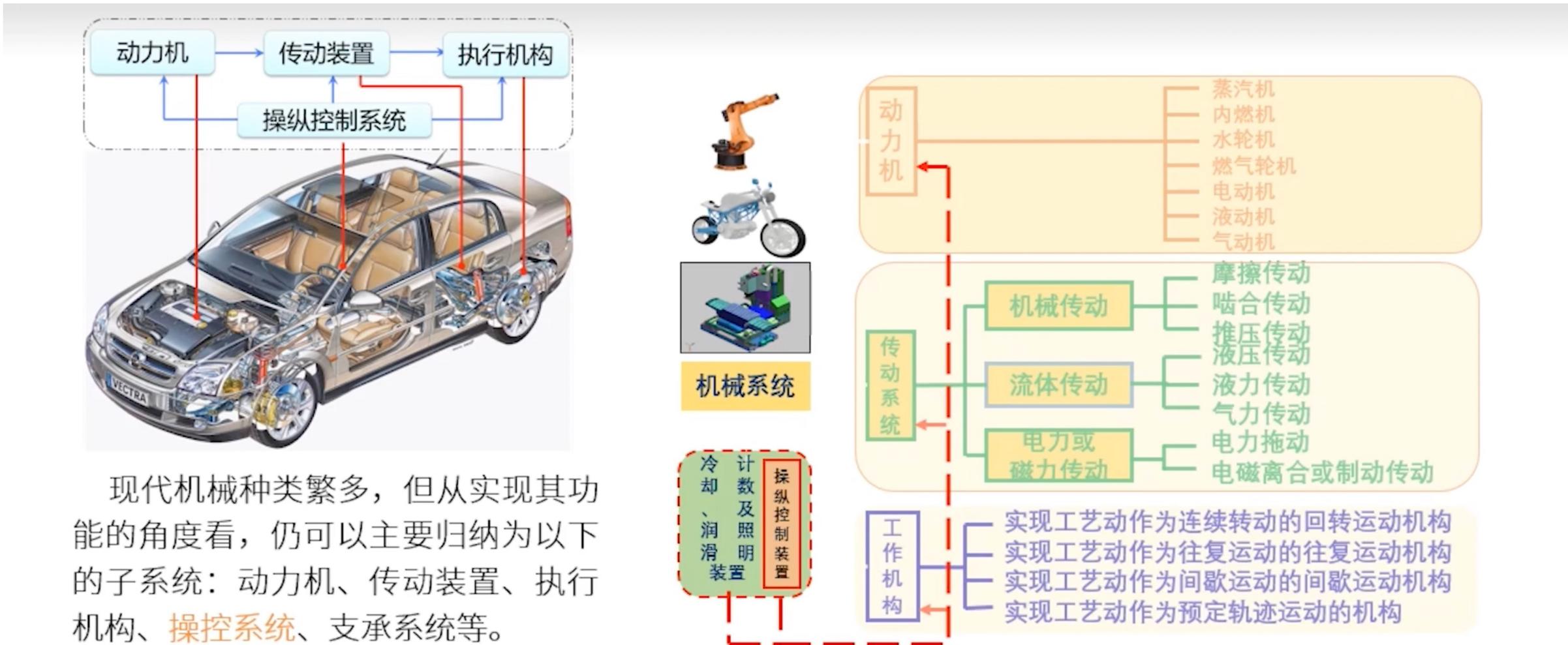
Manipulation Mechanism

操控机构



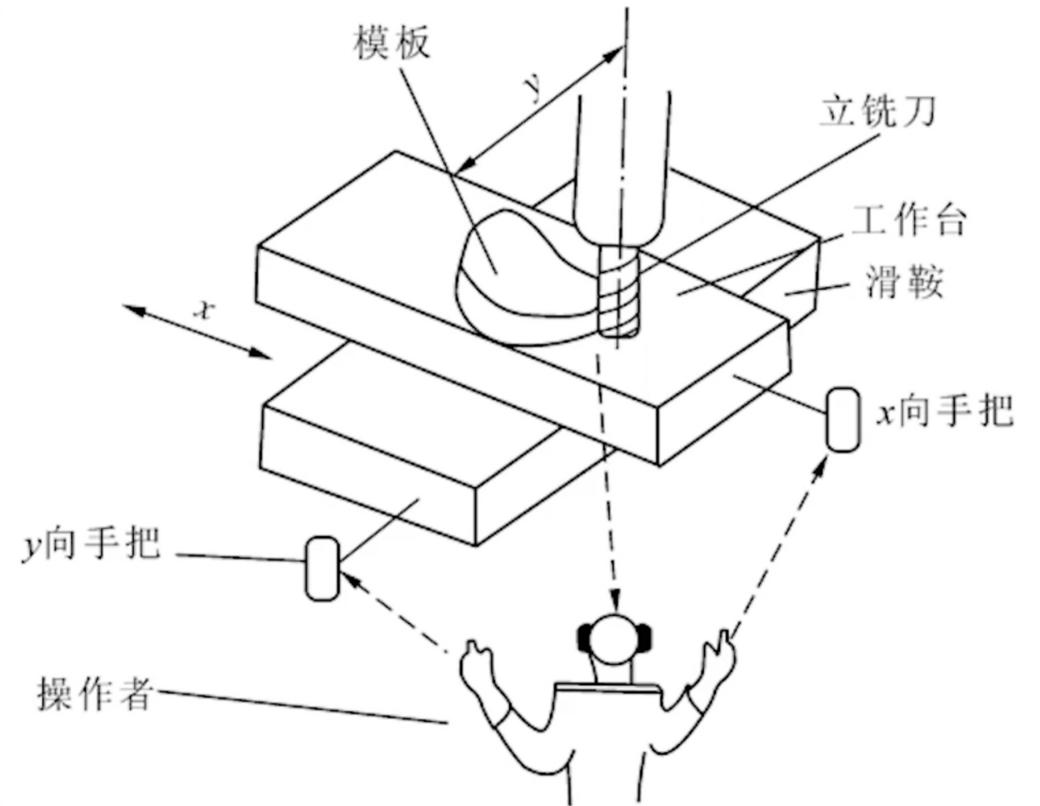
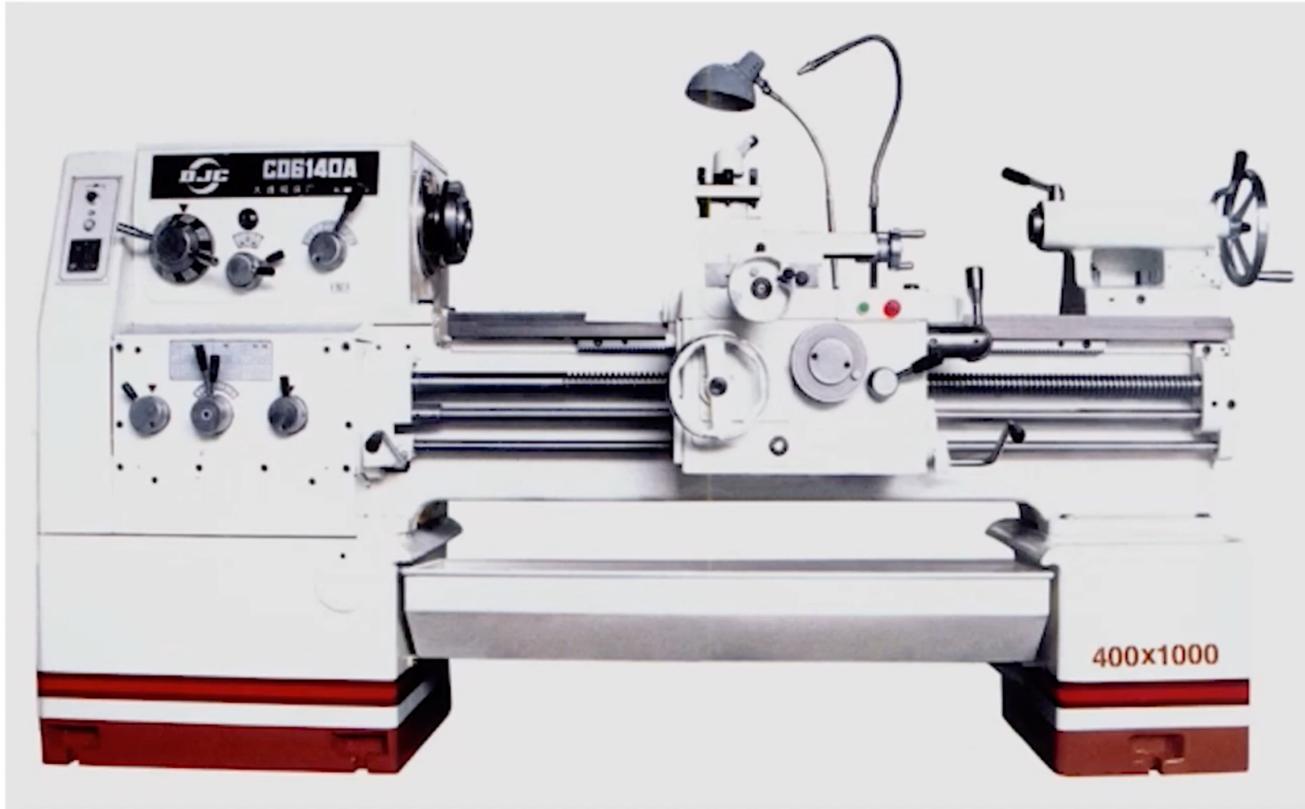
Manipulation Mechanism

操控机构



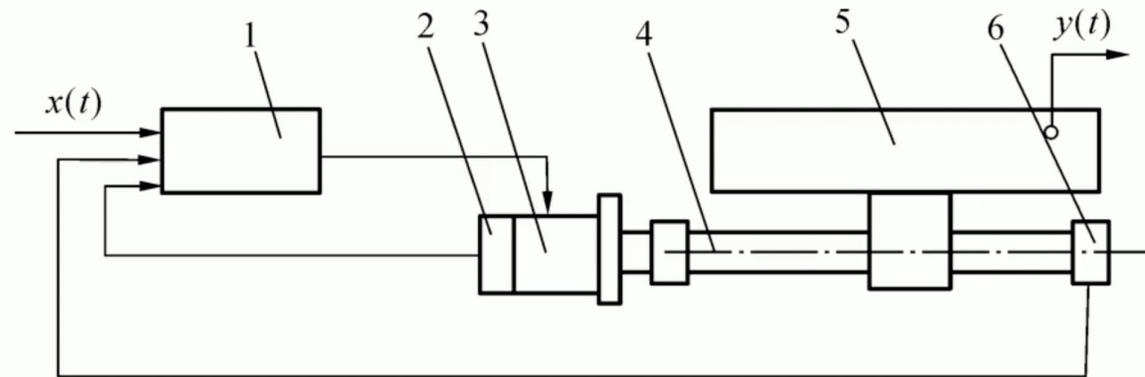
Elements of Manipulation Device – Manual

控制装置的组成 – 人工控制装置



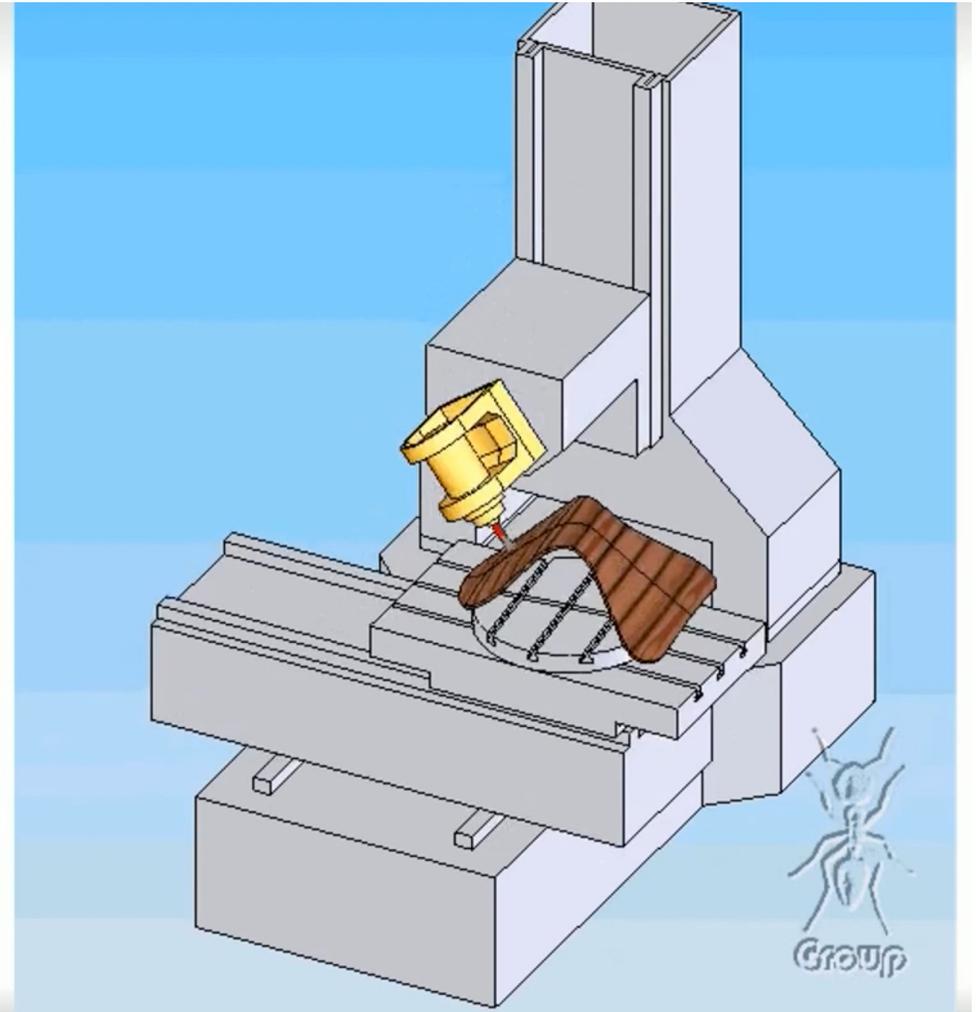
Elements of Manipulation Device – Automatic

控制装置的组成 – 自动控制装置



数控机床进给系统的控制系统

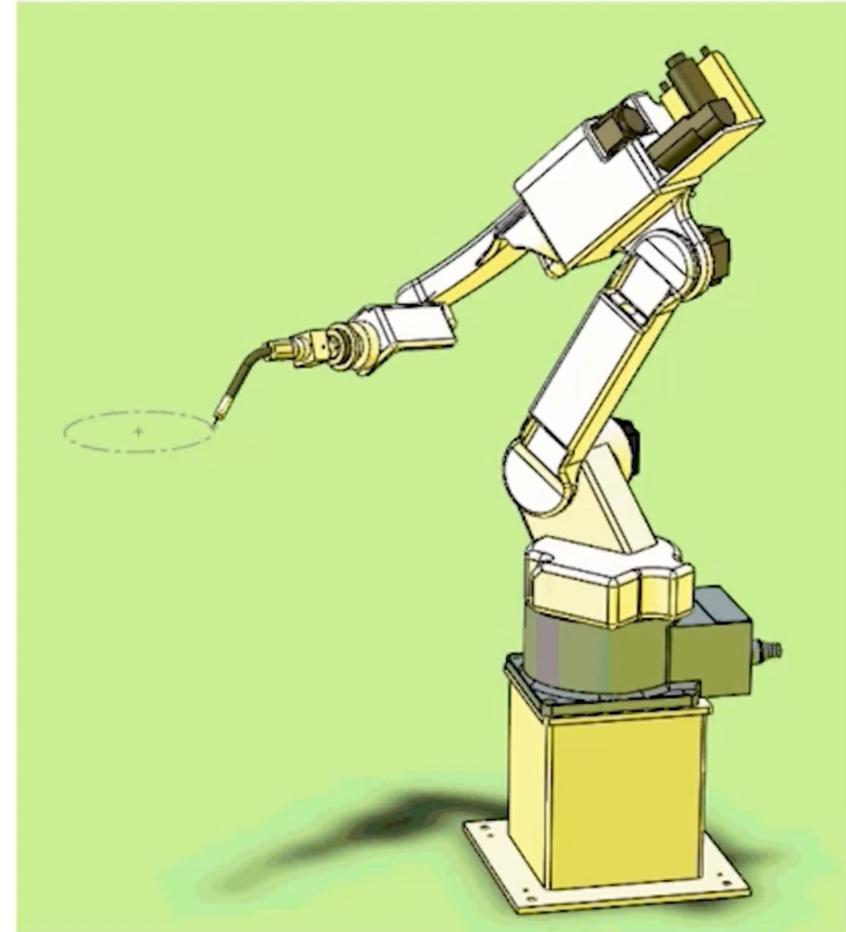
- 1—控制装置 2—测速发电机 3—直流电动机
4—滚珠丝杆螺母副 5—工作台 6—角位移测量装置



Elements of Manipulation Device – Automatic

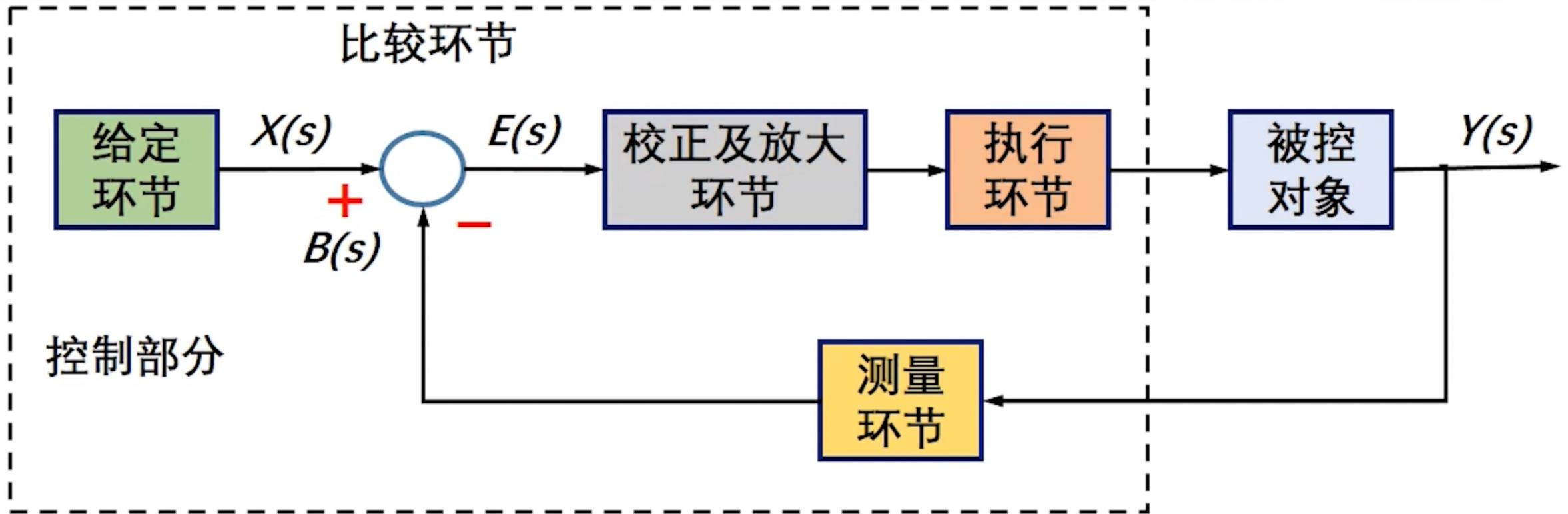
控制装置的组成 – 自动控制装置

从机器人到机床，从汽车到飞机，机械产品的高精度、高速度、高自动、高安全、高质量、高效率等特点，无一不是通过数学模型和数学方法并借助计算机的计算控制来实现的。



Elements of Manipulation Device – Advanced Control

控制装置的组成 – 复杂控制装置



典型的闭环控制系统方框图

Types of Automatic Control System

自动控制系统的分类

1.按自动控制的方式分类

A

顺序自动控制系统
从目的上说，顺序
自动控制是定性控
制，其系统由开环
回路构成。

B

反馈自动控制系统
反馈自动控制是定
量控制，其系统由
闭环回路构成。

Types of Automatic Control System

自动控制系统的分类

2.按给定量分类



Types of Automatic Control System

自动控制系统的分类

3.按被控量分类



被控量是温度、压力、流量、液位、黏度、pH值等过程控制量，其系统主要由已被规格化生产的各类仪表所构成，又称其为仪表控制系统。



目的往往是用小功率信号去推动大功率装置并令其跟随变动。



被控量是电网电压、频率等电量和原动机转速等一类物理量，控制方法基本是定值控制。

Support System Design

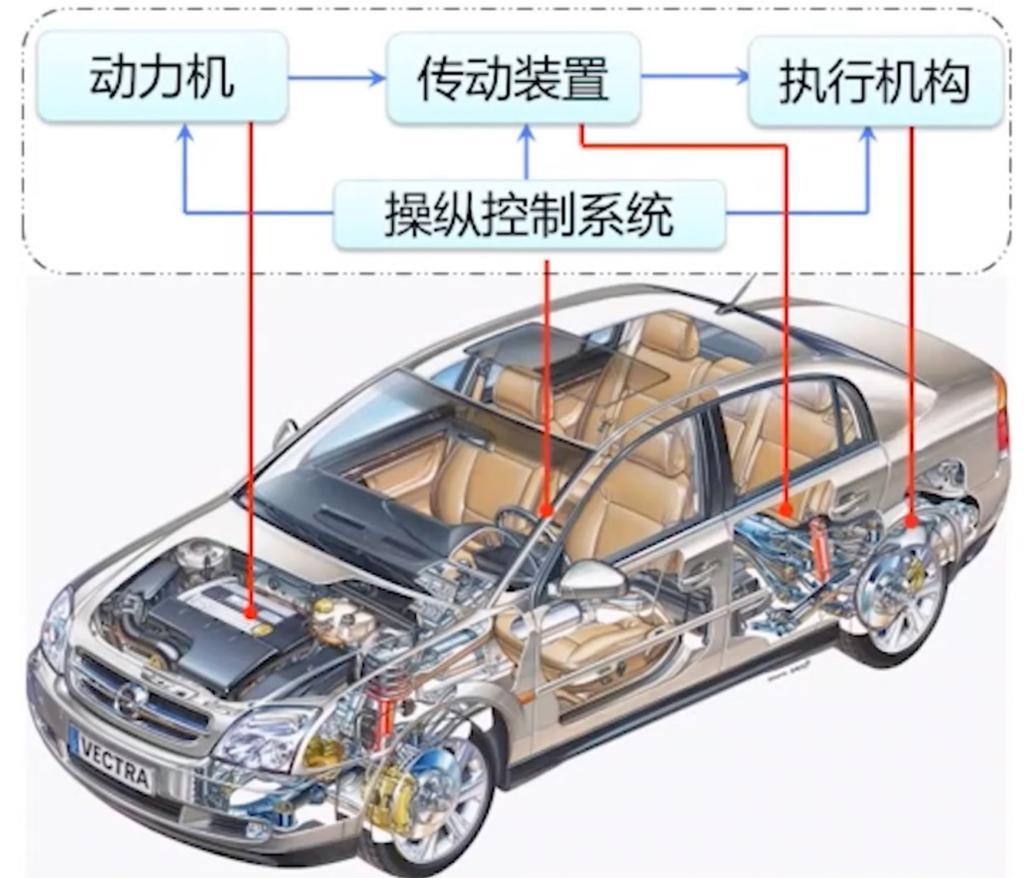
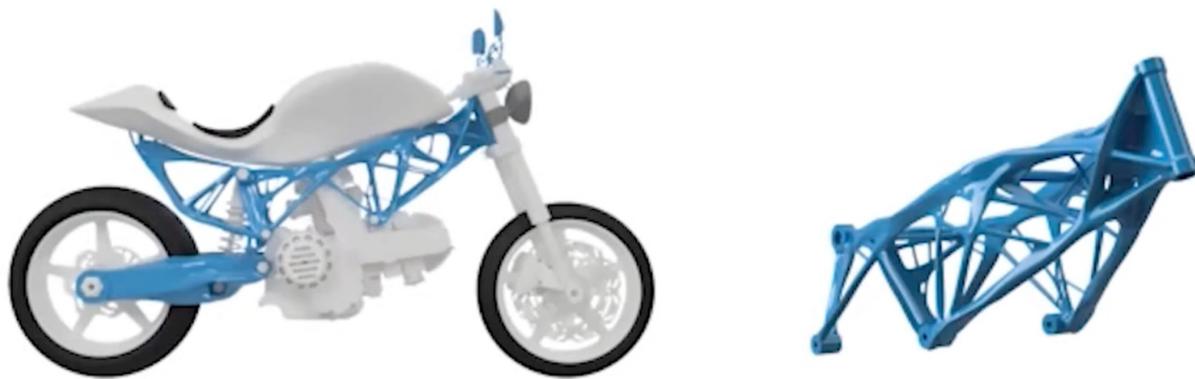
支承系统设计

Function and Design of Support System

直承系统的功能及设计要求

1. 支承结构的功能

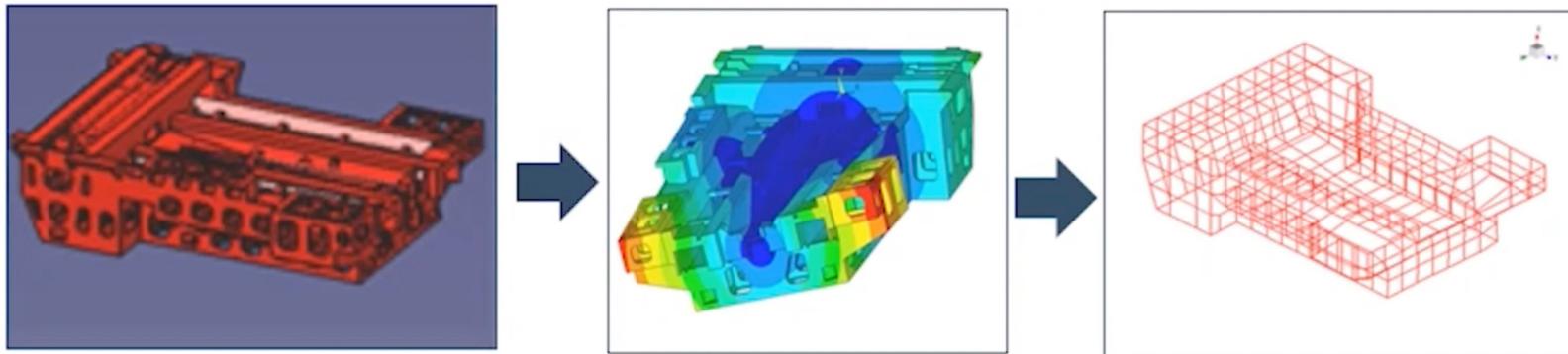
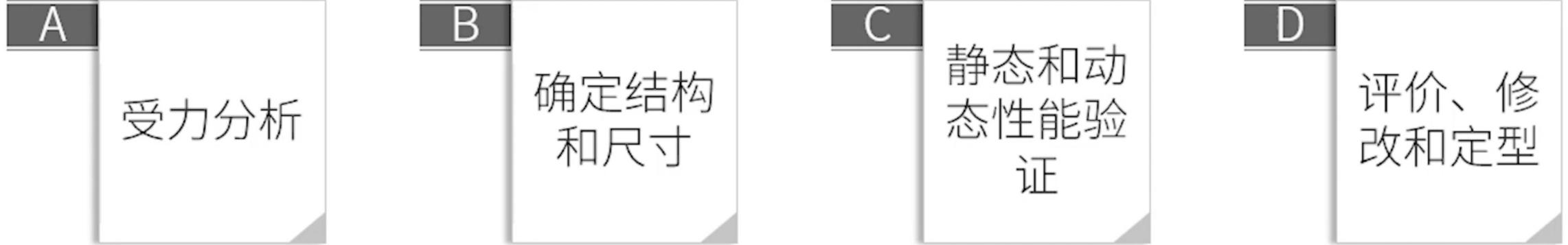
支承系统支承并连接着机械系统中各零部件和装置，承受着工作载荷、自身重量等各种类型载荷，保证零部件和装置之间的相互位置关系。



Design Process of Support System

直承系统的设计过程

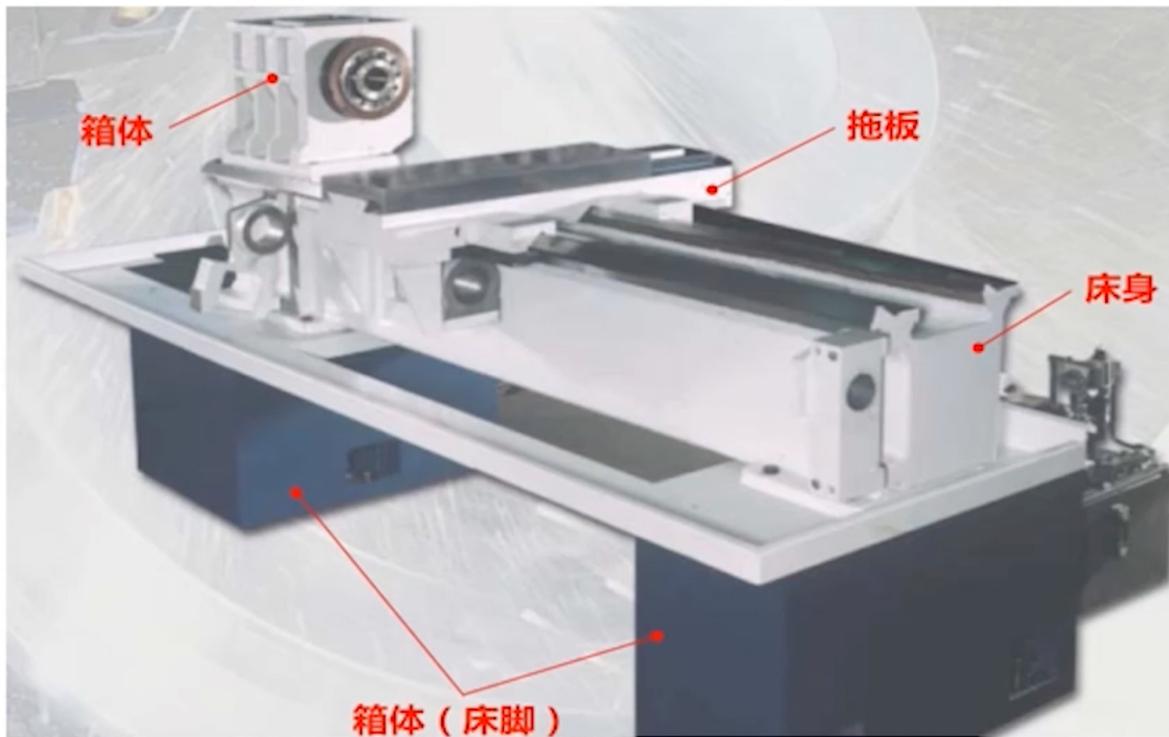
2. 支承结构的设计要求



Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

包括：床身、立柱、横梁、底座等尺寸大、重量大的零件



功用：

- 支承其上的其他零部件
- 保证并保持各零部件的相互位置和相对运动关系
- 承受切削力、摩擦力、夹紧力等载荷
- 容纳变速机构、电动机、电气箱、切削液、润滑油等

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

1. 静力分析

分析支承件的受载情况、产生的变形及由之引起的加工误差，从而有效地进行支承件的结构设计。

类型	中、小型机床	精密和高精度机床	大型机床
主要载荷	切削力	移动件重力 热应力	切削力、工件和 移动部件重力
可忽略载荷	工件重量 移动部件重量	切削力	
适用机床	中型车床 铣床、钻床 加工中心	双柱立式 坐标镗床	重型车床 落地镗铣床 龙门式机床

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

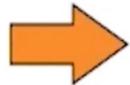
1. 静力分析

受力情况

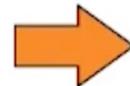
受力变形

变形影响

$$F_z$$



竖直面内的弯矩
和弯曲变形

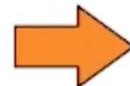


竖直面内变形可忽略不计

$$F_y$$



水平面内的弯矩
和弯曲变形

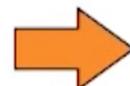


水平面内的变形近似1:1地反映到
工件半径误差上；且各处的变形量
不同，使工件产生腰鼓形

$$F_z$$
$$F_y$$



横截面内的转矩
和扭转变形



扭转变形同水平面内的变形相近

结论：
应根据
水平面
内弯曲
变形、
扭转变
形进行
设计

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

1. 静力分析

受力情况

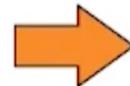
受力变形

变形影响

$$F_z$$



竖直面内的弯矩
和弯曲变形

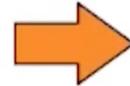


竖直面内变形可忽略不计

$$F_y$$



水平面内的弯矩
和弯曲变形

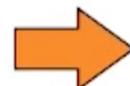


水平面内的变形近似1:1地反映到
工件半径误差上；且各处的变形量
不同，使工件产生腰鼓形

$$F_z$$
$$F_y$$



横截面内的转矩
和扭转变形



扭转变形同水平面内的变形相近

结论：
应根据
水平面
内弯曲
变形、
扭转变
形进行
设计

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

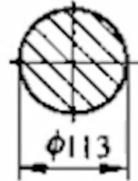
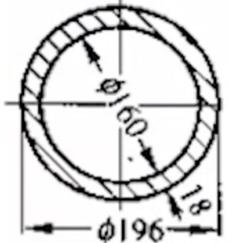
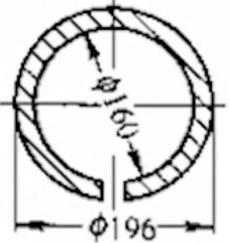
直承结构的设计（机床）

2.提高支承件静刚度的措施

1) 正确选择截面的形状和尺寸

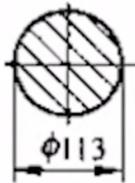
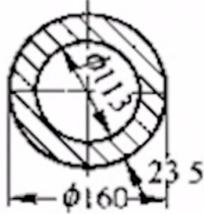
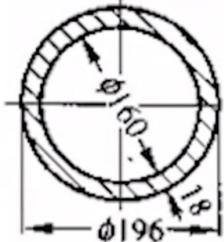
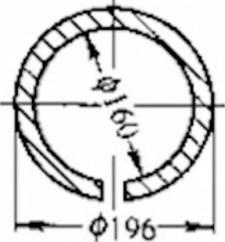
承受的载荷主要是弯矩和扭矩，产生的变形主要是弯、扭变形

□ 在其他条件相同时，抗弯、抗扭刚度与截面惯性矩有关

序号	1	2	3	4
截面形状				
惯性矩 相对值	抗弯	1.0	3.2	5.03
	抗扭	1.0	3.2	5.03
				0.7

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

序号		1	2	3	4
截面形状					
惯性矩 相对值	抗弯	1.0	3.2	5.03	
	抗扭	1.0	3.2	5.03	0.7

- 空心截面的刚度比实心的大，床身截面应做成中空形状
- 保持横截面不变，加大外廓尺寸，减少壁厚，可提高抗弯、抗扭刚度
- 封闭截面比不封闭截面刚度大

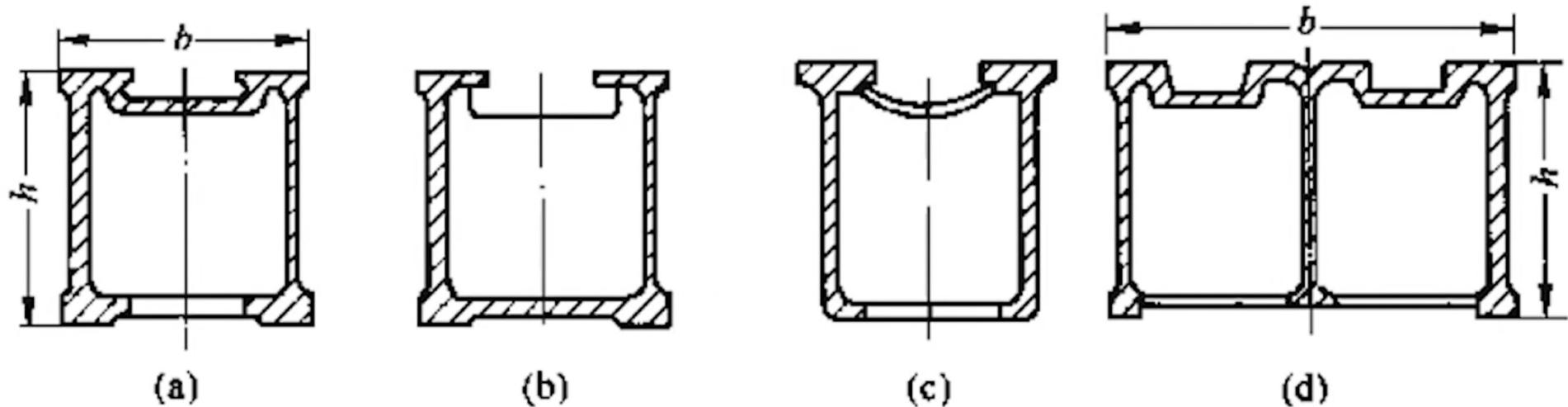
Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

2. 提高支承件静刚度的措施

1) 正确选择截面的形状和尺寸

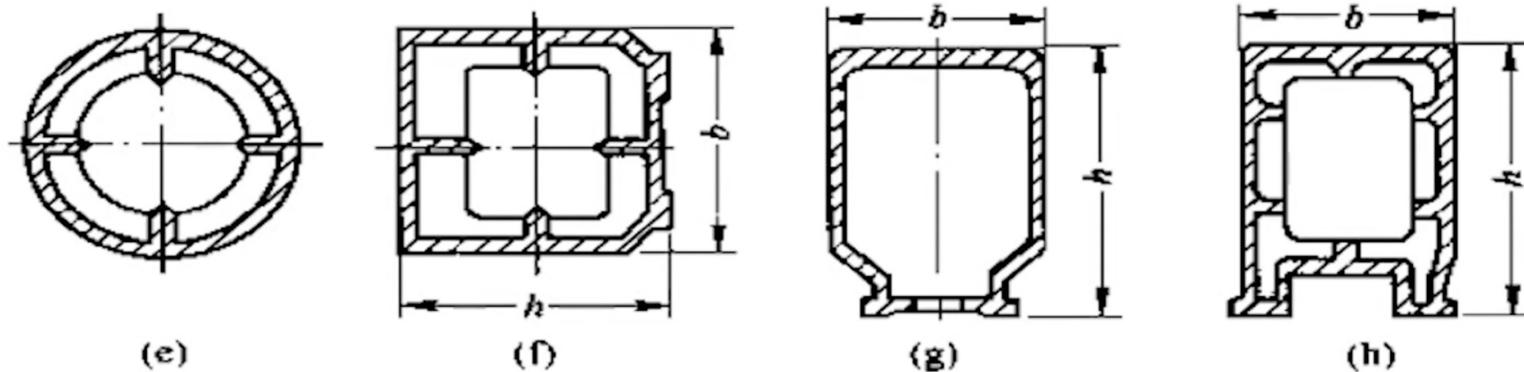
□ 床身常用截面形状



Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

立式床身(或立柱)常用截面形状



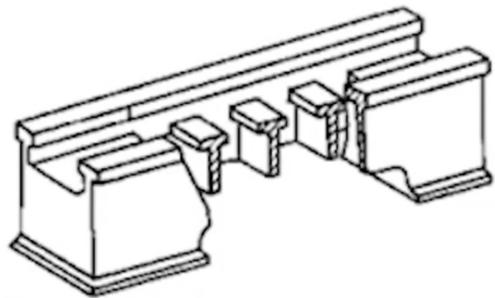
- e. **圆形截面**：抗扭刚度高，抗弯刚度差，适于载荷不大的机床，如摇臂钻床、台式钻床等
- f. **对称方形截面**：内部有加强筋和隔板，抗弯抗扭刚度都很高，用于承受复杂的空间载荷，如铣床和镗床的立柱
- g. **对称矩形截面**：抗弯刚度高，用于承受弯曲载荷较大的机床，如中、大型单轴或多轴立式钻床、组合机床等
- h. **矩形截面**：内部设有加强筋，抗弯刚度高，主要用在龙门机床上

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

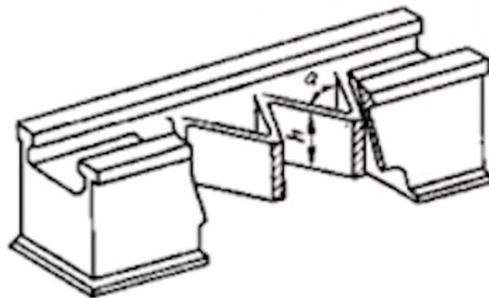
直承结构的设计（机床）

2.提高支承件静刚度的措施

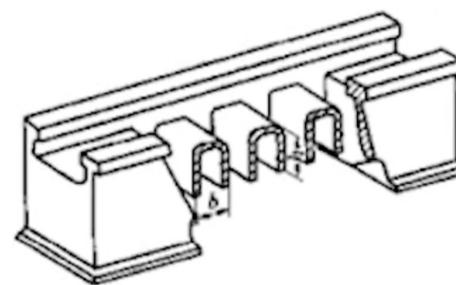
2) 合理布置隔板（肋板）



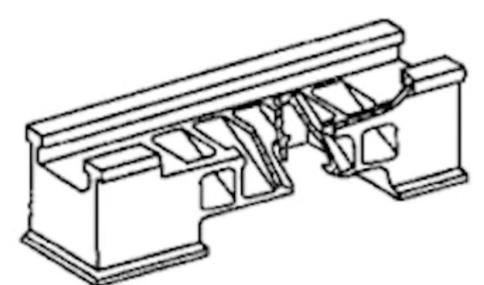
(a)



(c)



(b)



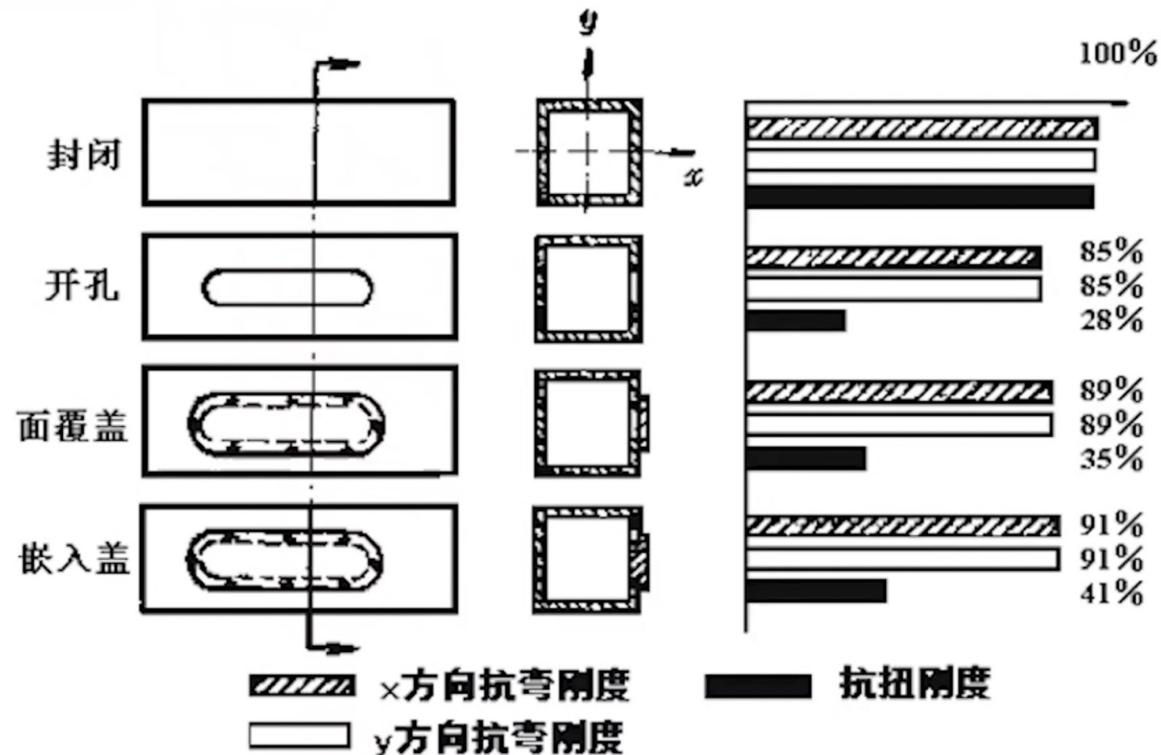
(d)

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

2.提高支承件静刚度的措施

3) 合理开孔和加盖



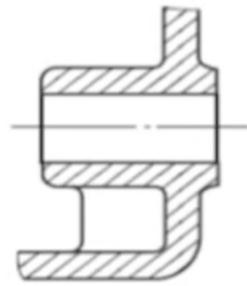
Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

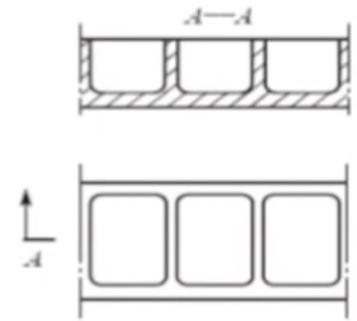
2.提高支承件静刚度的措施

4) 合理布置加强筋

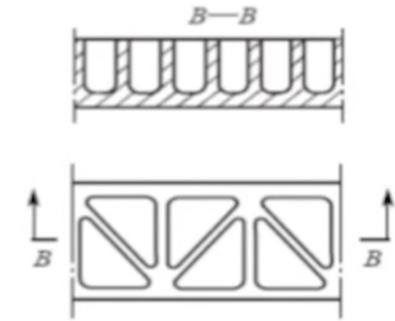
加强筋布置方式



a) 轴承座孔处

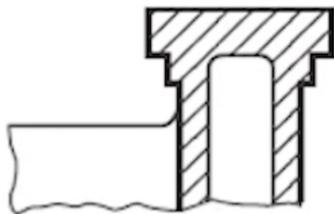


b) 窄壁或受载较小床身壁

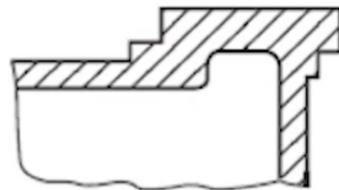


c) 矩形截面床身宽壁处

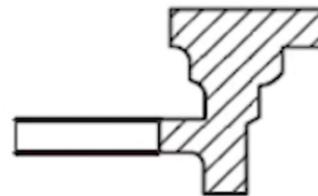
导轨与床身连接处的结构



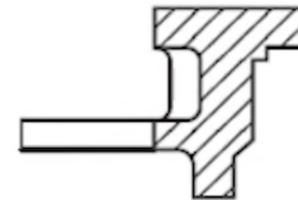
(a)



(b)



(c)



(d)

Design of Supporting Structure (Lathe Machine)

直承结构的设计（机床）

3. 支承件的材料

常用材料

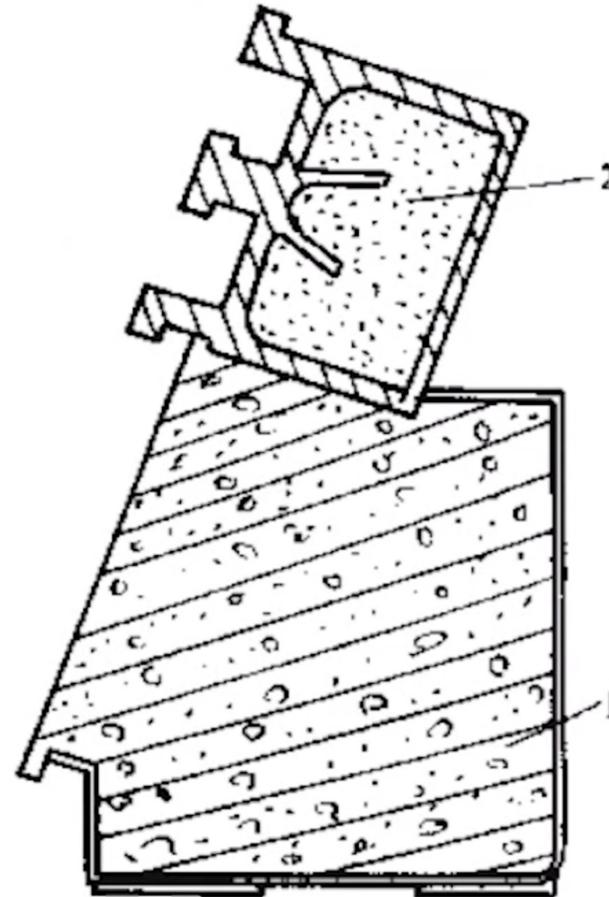
铸铁

钢

天然花岗岩

预应力钢筋混凝土

树脂混凝土



Assignment 03

Link will be closed before this Sunday noon. No late submission.

- 常规小项目报告：
 - 去你所在的实验室，找一个较为综合的机械系统，对其进行动力系统、传动系统、执行机构、操控装置、支撑系统进行简要介绍分析
 - 不超过5页纸，首页注明姓名、学号、作业编号
- Small Project Assignment:
 - Go to your lab of choice and find a comprehensive mechanical system to give a well-rounded analysis of its power, transmission, actuating, manipulation and support system.
 - (Preferably within 5 pages. Be sure to include your student ID, full name and assignment ID on the front page)
- 课后习题（选项）：
 - 如果你对上述作业感到无力，也可以选择完成课后习题作业（非本周内容）：教材第29页：2-1、2-2、2-3
- Optional Assignment:
 - If you experience significant challenge while working on the small project assignment, you can optionally choose to just complete the exercises from the textbook (not regarding today's class, but last week's): Page 29, Exercises 2-1, 2-2, 2-3

- Scan the code using Feishu to submit
- <https://wenjuan.feishu.cn/m?t=seMmWqZ0XVvi-fj01>

21年秋季ME303第三次作业提交链接



打开飞书“扫一扫”

Thank you~

ME303 Introduction to Mechanical Design

Adapted from <https://www.icourse163.org/course/HUST-1206698847>