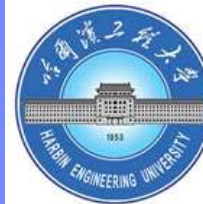




机电一体化系统设计

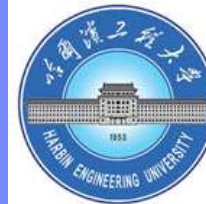
主讲教师：张立勋 教授



第 3 讲

机电一体化系统总体方案设计

回 顾



机电一体化系统设计的工程路线

- 拟定目标及初步技术规范
- 可行性分析
- 初步设计（总体方案设计）
- 评价、评审

前期（开题）

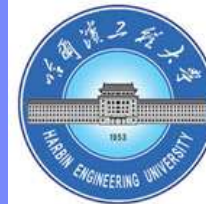
- 建模（理论分析）
- 仿真、模拟试验
- 详细设计（样机设计）
- 试制样机

中期

- 样机试验测试
- 技术评价、审定
- 小批量生产
- 试销
- 批量生产

后期

第3讲 机电一体化系统总体方案设计



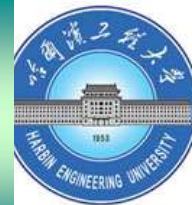
3.1 总体方案的作用及对系统的影响

3.2 总体结构方案设计

3.3 驱动方案设计

3.4 控制系统方案设计

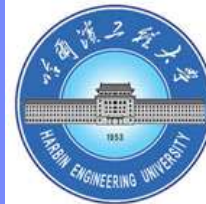
3.5 可靠性设计**



3.1 总体方案的作用及对系统的影响

3.1.1 总体方案的作用

- 属于概念性设计，从系统角度进行优化，确定系统最优设计方案。
- 符合整体效应规律，使系统整体功能大于各个单元功能的简单和
 - ✓ 整体效应规律： $1+1>2$
 - ✓ 系统内耗规律： $1+1<2$
- 总体方案将决定性的影响产品的创新和后续产品的详细设计，其设计缺陷很难在后续设计过程中加以纠正。



3.1 总体方案的作用及对系统的影响

3.1.2 总体方案设计的主要内容

(1) 总体结构方案设计

总体结构、布局、外观设计等

(2) 驱动方案设计

传动方案、驱动方式和驱动元件选择等

(3) 控制方案设计

计算机控制方案、伺服控制方案、接口方案设计等

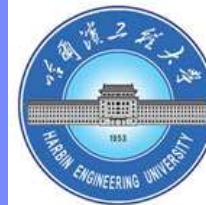
(4) 人机工程设计

人机接口和人机环境设计

(5) 可靠性设计

系统可靠性和人机安全性设计

3.2 总体结构方案设计



(1) 主体机械结构设计

- 主要几何尺寸的确定
- 作业空间的确定
- 运动自由度数的确定
- 操作环境的确定

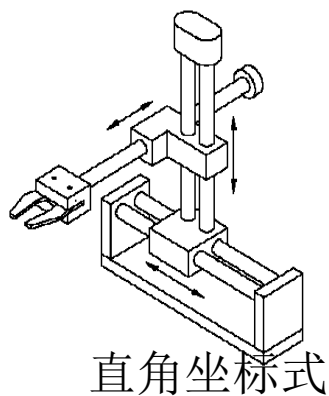
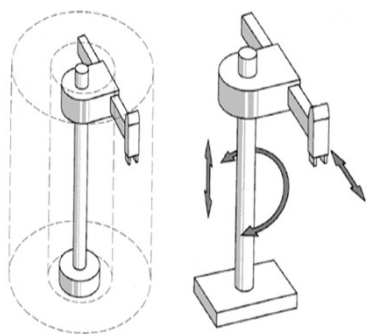
(2) 总体布局

- 确定主要部件的相对位置关系
- 确定主要部件的相对运动关系

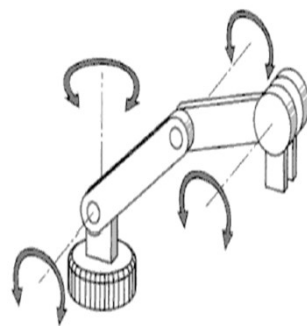
3.2.1 主体机械结构

例:机器人典型结构形式

圆柱坐标式

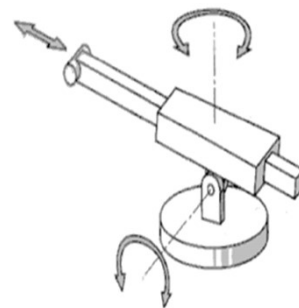
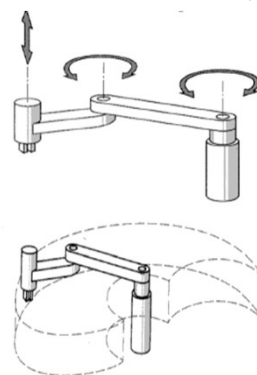


直角坐标式



多关节式

SCARA式



极坐标式

共同点:

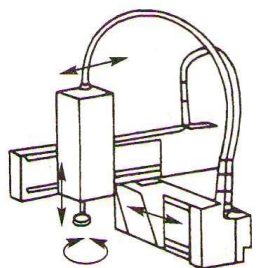
- ◆ 都是2自由度机器人;
- ◆ 都可以实现X, Y坐标控制;

不同点:

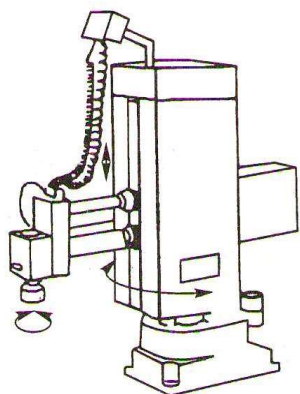
- ◆ 工作空间性状不同;
- ◆ 关节运动耦合不同;
- ◆ 控制难度不同;
- ◆ 成本不同;
- ◆ 适用场合不同;

3.2.1 主体机械结构

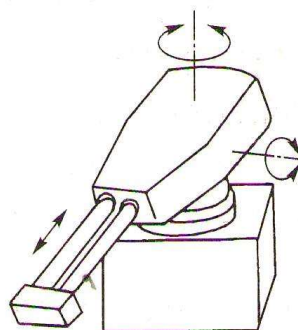
思考：下列工业机器人属哪种结构形式？



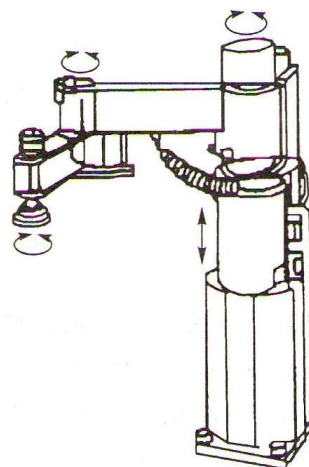
直角坐标式



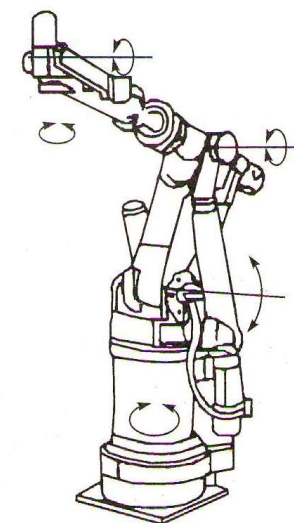
圆柱坐标式



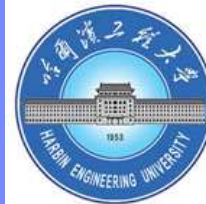
极坐标式



SCARA式



多关节式



3.2.1 主体机械结构

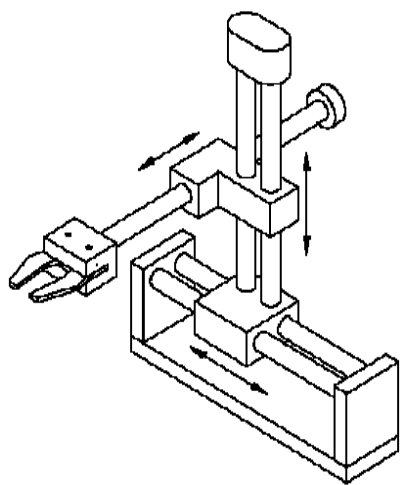
结构方案对系统的影响

- ◆ 自由度数，自由度之间的耦合程度
- ◆ 工作空间范围
- ◆ 占用的空间
- ◆ 结构复杂程度，材料和成本
- ◆ 系统的性能（精度、快速性、稳定性）
- ✓ 刚度、惯量、质量分布；
- ✓ 驱动功率、驱动能力；
- ✓ 运动灵活性、控制难易程度；
- ◆ 可靠性、稳定性

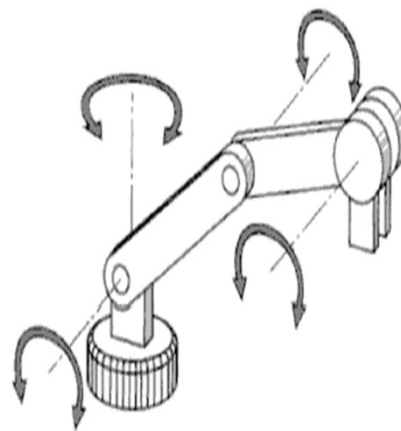
3.2.1 主体机械结构

思考：

直角坐标式和关节式机器人的各个关节之间耦合关系？



直角坐标式



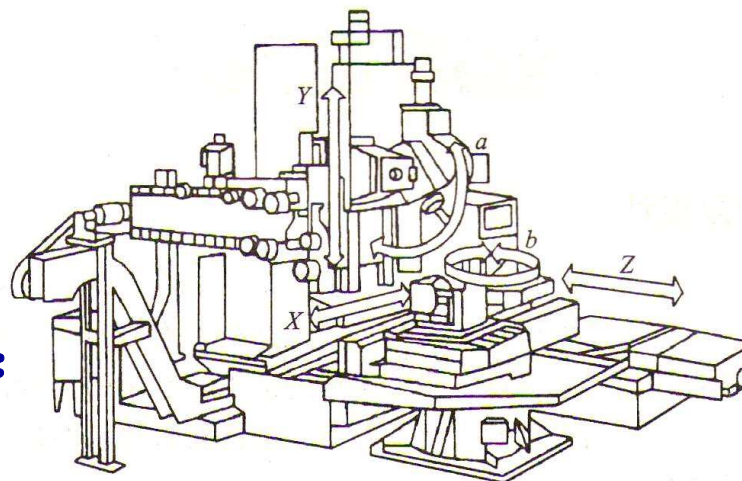
多关节式

3.2.1 主体机械结构

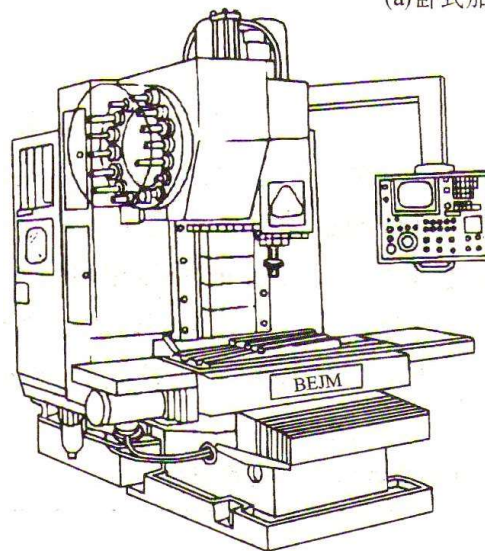
例：数控加工中心结构形式

选择主体结构要考虑的主要问题：

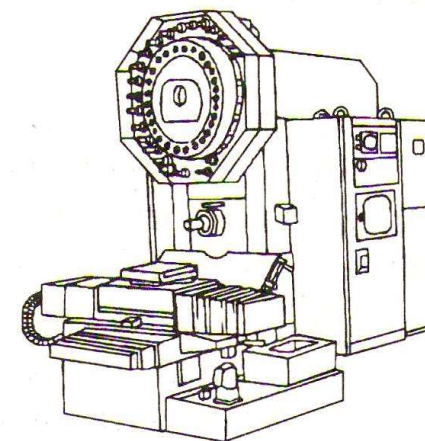
- 加工要求
- 被加工零件的特点
- 与其它设备的匹配关系
- 复杂程度、制造成本



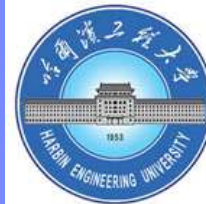
(a) 卧式加工中心



(b) 立式加工中心



(c) 卧式加工中心

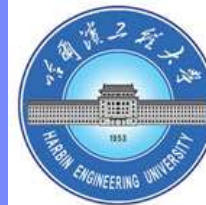


3.2.1 主体机械结构

结构设计基本原则：

- 明确
工作原理、工作条件、作业空间、使用环境
- 简单
结构简单、零部件少、形状规则，便于装配、维修，简化工艺、降低成本
- 安全可靠
机器的工作安全性、操作安全性

主体机械结构设计实例分析



例：自动送餐机器人



结构方案设计应解决哪些问题？

- 取送餐机械手构型、自由度数
- 手爪的类型、结构形式
- 取送餐方式与餐盘结构
- 食物种类与餐盘数量、布局

设计目标：多种食物的自动送餐
服务对象：手部功能障碍者
使用环境：家庭、医院、康养
使用要求：自动送食、人机安全

结构方案



结构特点：

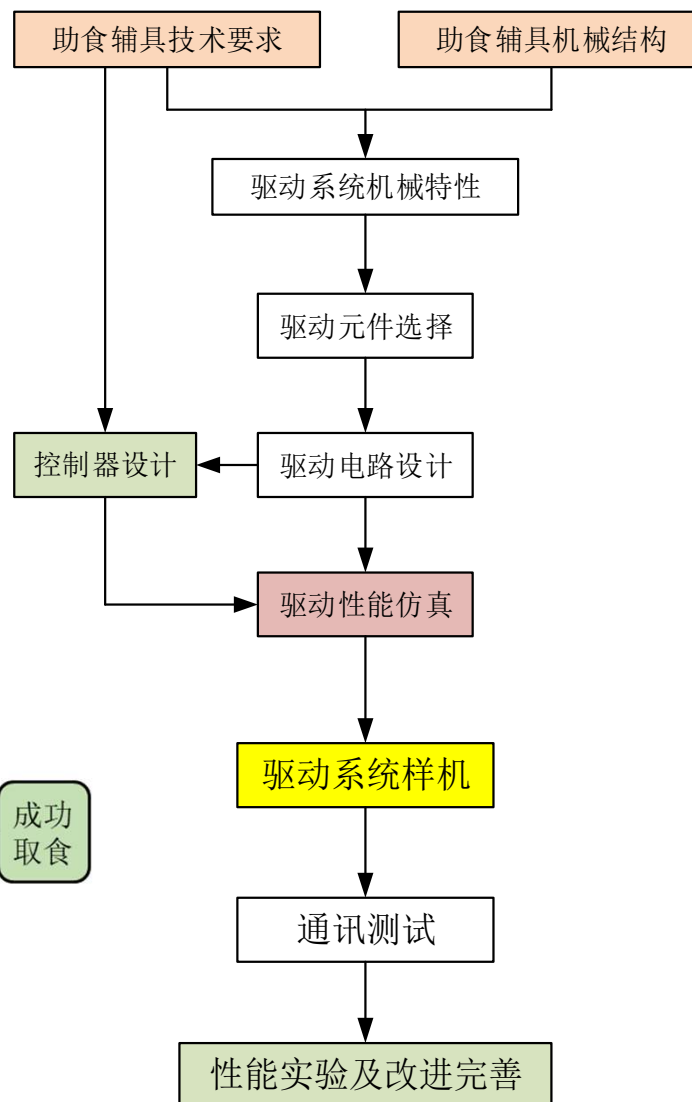
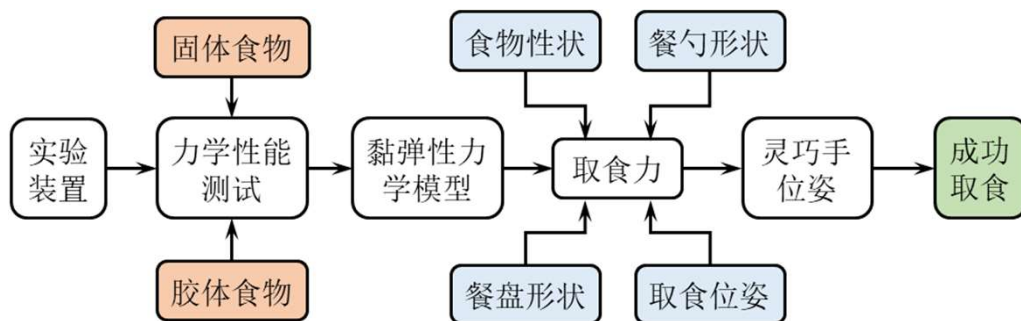
- 4自由度机械手
- 叉勺手爪
- 旋转餐盘
- 语音等三种人机接口
- 基于图像餐食识别、人机安全控制

主体机械结构设计实例分析

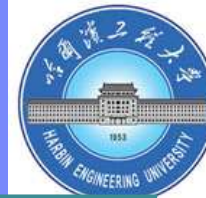
例：自动助餐机器人

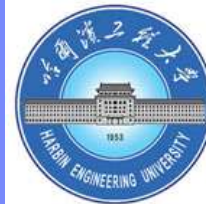
实施方案：技术路线

取食物研究详细技术路线



总体机构





3.2.2 总体布局方案设计

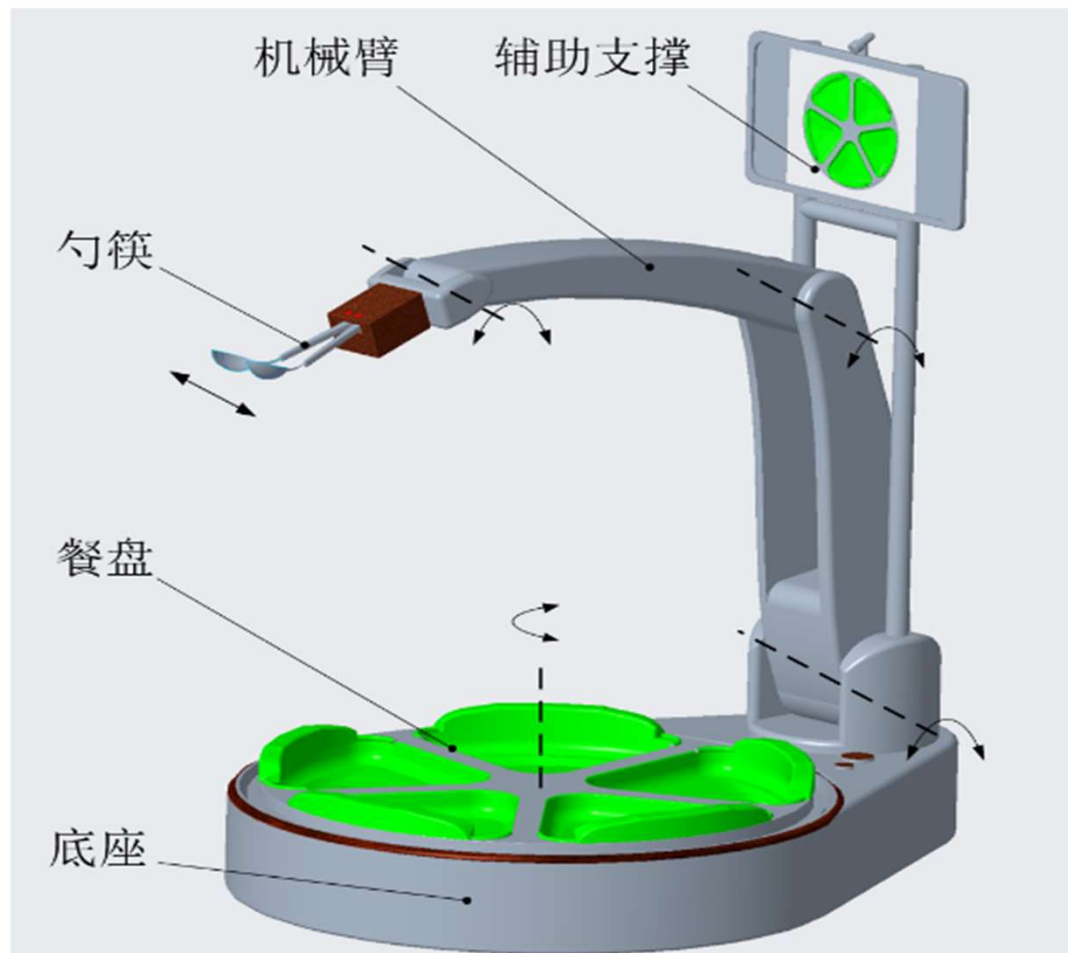
确定主要部件的相对位置关系
确定主要部件的相对运动关系

总体布局基本原则：

- (1) 功能合理：各个子功能便于实现
- (2) 结构紧凑：内部便于装配和维护，外部有利于艺术造型
- (3) 层次分明：所有部件一目了然
- (4) 比例协调：符合艺术造型原则，美观

注意：与主体机械结构、电气控制装置、辅助装置和人机接口使用环境一起考虑。

布局



穿戴设备



语音

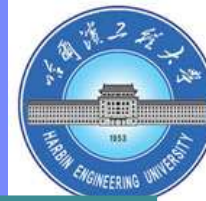
脚踏板



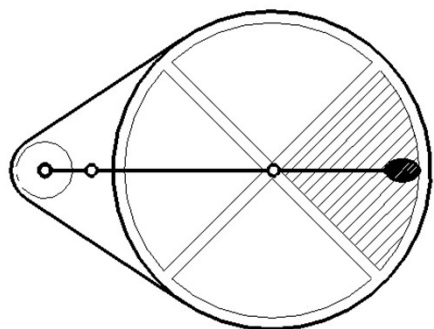
摄像头



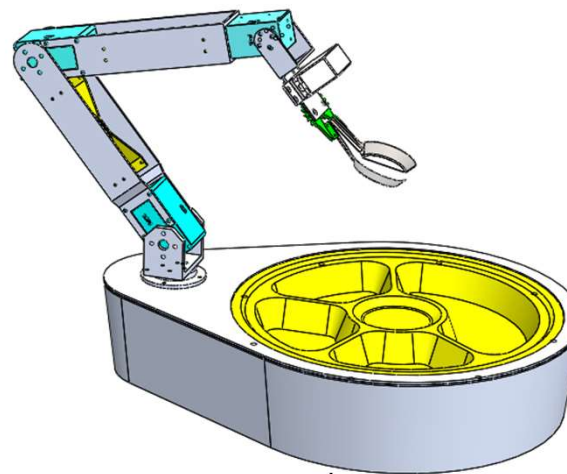
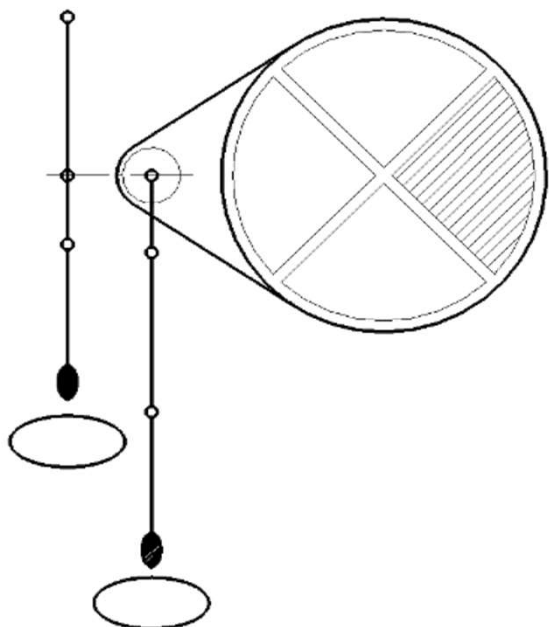
布局--优化



取餐



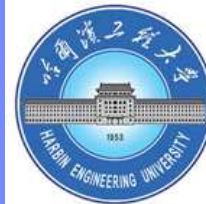
送餐



优化之前的布局



优化之后的布局



3.3 驱动方案设计

➤ 现代驱动、传动机构特点

- ✓ 高度集成化、高度标准化、小型化
- ✓ 传动机构的设计工作重点是选型设计，而非传动机构本身

➤ 传动方案设计

(1) 直线运动输出型机构的驱动

直线驱动元件驱动

回转型驱动元件驱动

(2) 转动输出型机构的驱动

直线驱动元件驱动

回转型驱动元件驱动

➤ 驱动方式选择

3.3.1 传动方案设计

(1) 直线运动驱动

1) 直线驱动元件直接驱动

直线步进电机、阀控油缸、汽缸

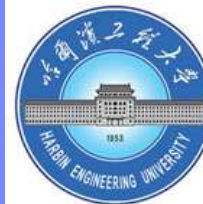
优点:

- 不需要中间转换机构，负载运动精度不受其影响
- 执行机构简单

缺点:

- 种类少，尺寸大，价格贵；
- 汽缸和油缸需控制阀、动力源等设备，占地空间大，噪声大，对环境有污染。



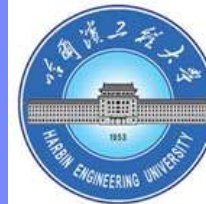


直线运动机构的驱动

- 三种常用直线驱动元件的主要特点及适用场合

| 名称 特点 | 直线步进电动机 | 气压缸 | 液压缸 |
|----------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 结构 | 复杂 | 简单 | 较简单 |
| 传感器 | 磁电式或直接开环控制 | 直线型位移传感器,受制造工艺限制,行程不能太大 | 直线型位移传感器,行程受限制 |
| 控制 | 使用专用控制器,开环控制,位置精度高,低速振动较大,有一定的负载能力 | 使用气压控制阀控制,快速性好,负载能力差,定位精度不高 | 使用电液伺服阀控制,快速性好,负载能力强,可实现较高的定位精度 |
| 适用场合 | 并联机器人等 | 包装机械等轻工机械,多用于开关控制 | 并联机器人,包装机械,水下机器人等 |
| 成本 | 较高 | 较低 | 较高 |

直线运动机构的驱动

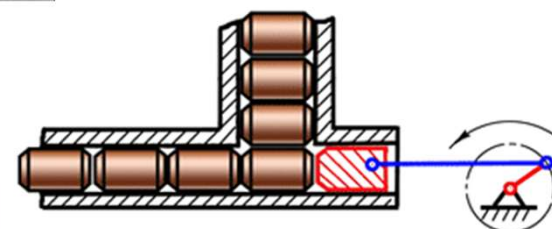
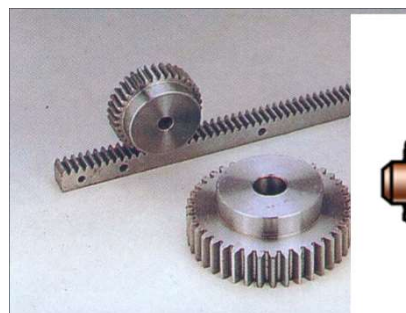
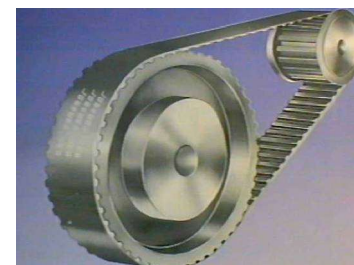


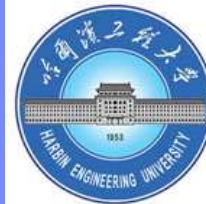
2) 回转型驱动元件实现的直线运动驱动

种 类:

直流电动机、步进电机、交流伺服电机

传动装置: 丝杠螺母机构、齿轮齿条机构、同步齿形带机构
连杆等机构





3.3.1 传动方案设计

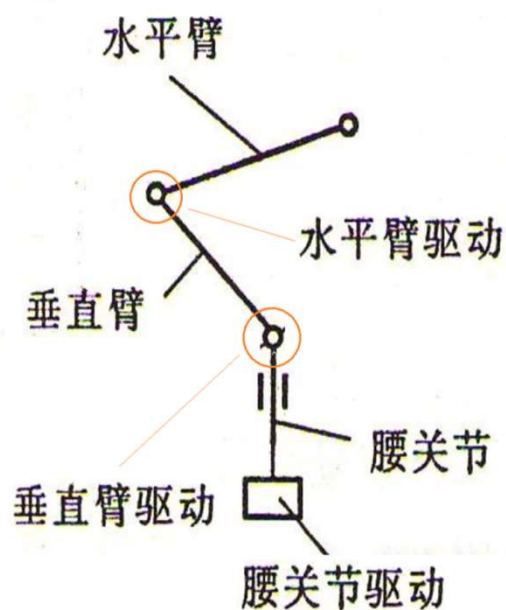
(2) 转动输出型驱动机构

种类： 回转驱动元件， 直线型驱动元件

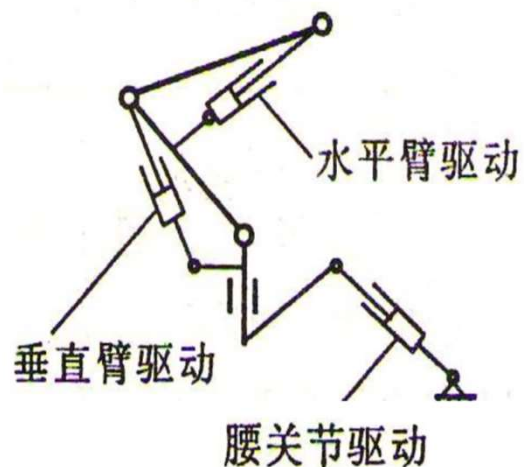
- 电动机+减速器驱动
- 气压或液压马达驱动
- 液压缸及连杆机构驱动
- 电机+连杆驱动

3.3.1 传动方案设计

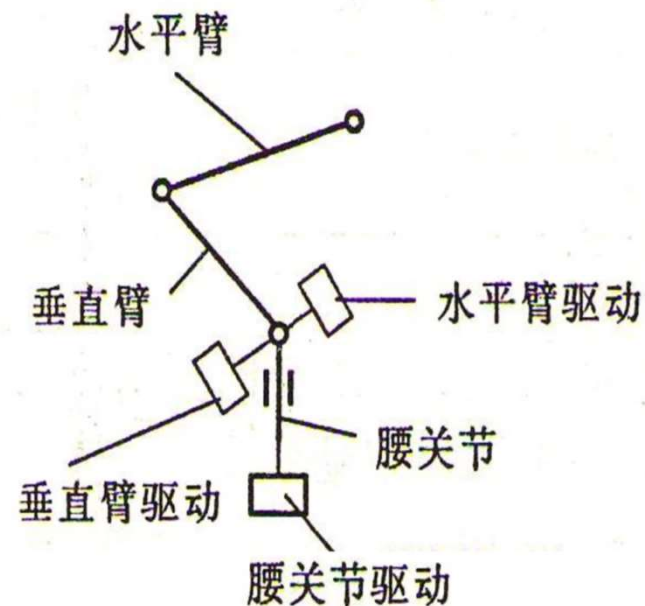
例：送餐机器人传动方案



关节直驱



电动推杆驱动



关节直接驱动+带传动

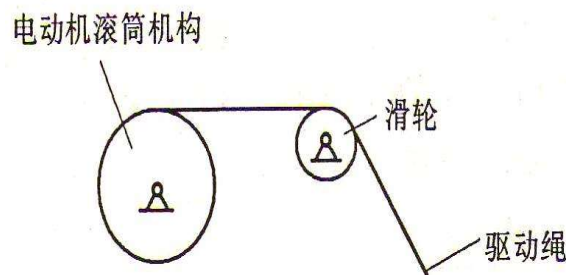
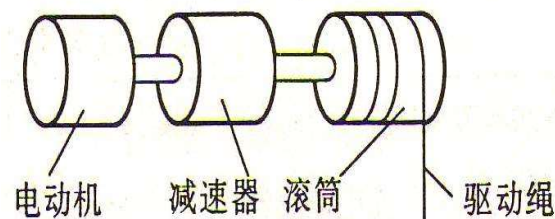
例： 绳索驱动式并联机器人，负载由多根张紧绳驱动，要求对每根绳索做位置控制，试选择驱动方案和传感器。

解：

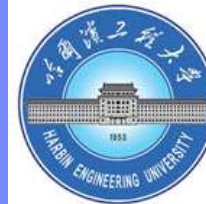
方案一

电动机通过控制绳在滚筒上转过的角度实现绳位移的控制。

结构紧凑，位移量大，绕线直径变化，精确控制困难



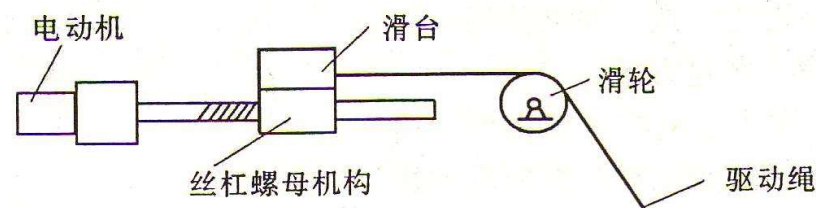
伺服驱动方案应用



方案2

电动机经过丝杠螺母机构或齿形带传动机构，通过电动机的转角控制实现绳的位移控制。

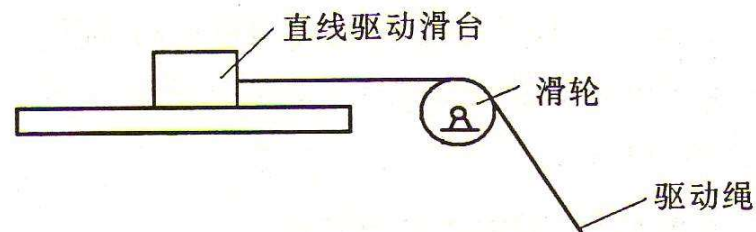
精度高、技术成熟，丝杠位移有限、噪声大、齿形带驱动能力有限

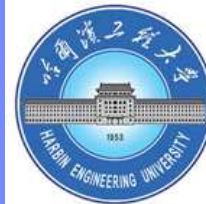


方案3

采用直线电动机直接控制绳的位移。

成本高、体积大、质量大





3.3.2 驱动方式选择

(1) 工作环境及要求

➤ 家用电器、医疗器械

无污染（电动）、低噪声（无刷电机、带传动）、体积小、重量轻（交直流伺服）。

➤ 食品、医药生产机电产品

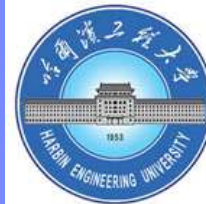
无污染（电动、气动，非润滑类传动）。

➤ 水下设备

高压密封，防腐材料（液压驱动）

➤ 一般工业设备

噪声、污染、能源的获取、功率的大小。。。



3.3.2 驱动方式选择

(2) 传动精度及成本的要求

机械传动精度对控制精度、震动噪声、稳定性都有很大影响，对系统成本影响很大。

高精度传动：RV减速器、谐波减速器、高精度齿轮传动，滚珠丝杠传动；

中等精度传动：行星加速器、齿轮传动、同步带传动

经济型差传动：涡轮蜗杆、同步带传动、链传动，一般精度行星轮传动、齿轮传动等；

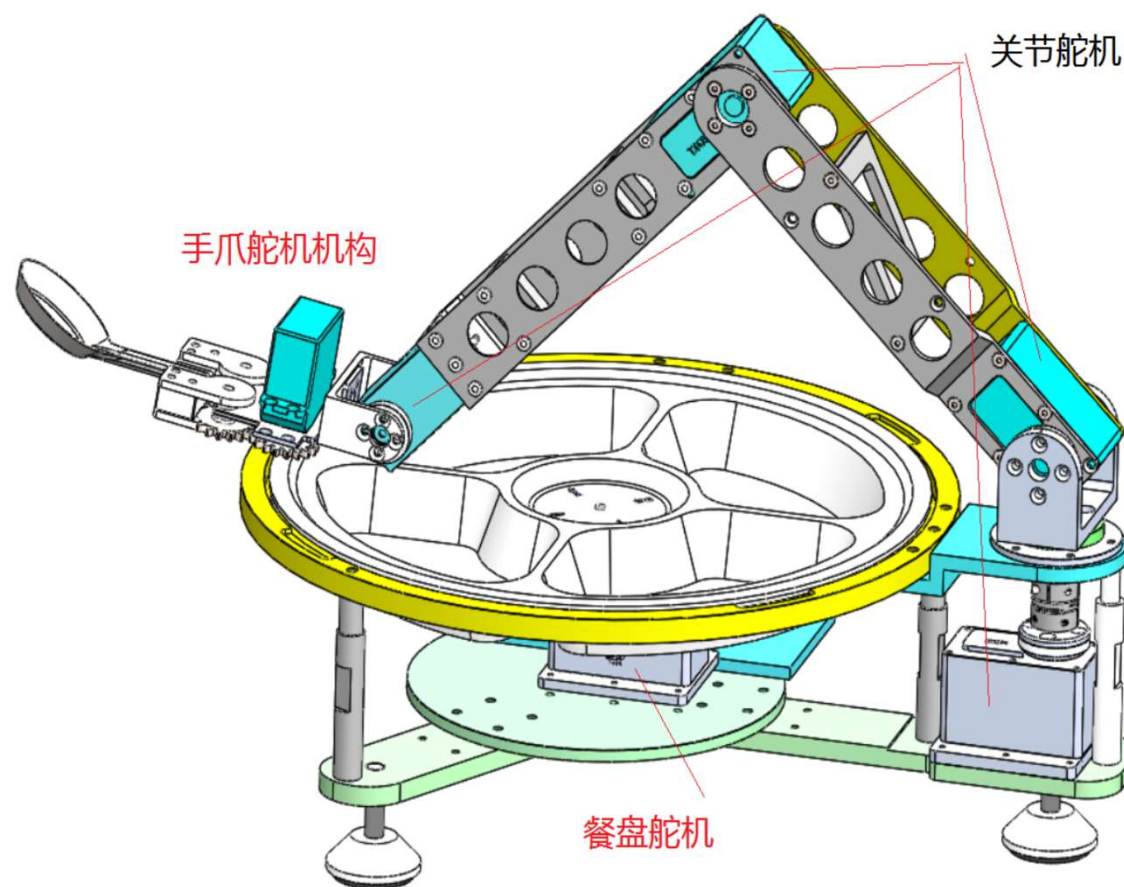
3.3 驱动方案

例：送餐机器人驱动方案

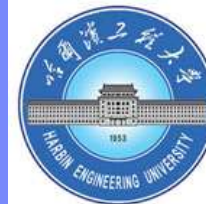
手爪张合：普通舵机

擦盘旋转：伺服舵机

手臂关机：伺服舵机



3.4 控制系统方案设计



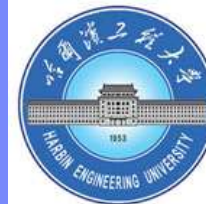
- 局域伺服驱动系统

实现某一个单项运动的伺服控制，一般由局域控制器实现

- 计算机综合控制系统

承担整个系统运行管理的控制，包括为伺服驱动系统传送控制命令、检测系统的反馈信息、人机界面的控制、作业任务规划和系统运行管理等

3.4 控制系统方案设计

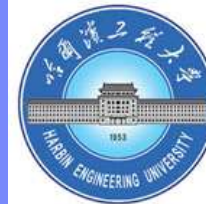


3.4.1 伺服控制方案设计

(1) 伺服驱动控制系统的作用

- “机”与“电”的接口，把电信号转换成执行机构的动力输出量
- 决定系统的精度和动态性能指标
- 直接影响整个系统的可靠性
- 影响系统的成本
- 对系统噪声、对环境的影响起决定作用

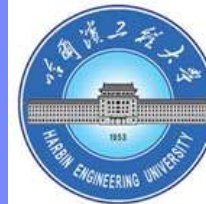
3.4.1 伺服控制方案设计



(2) 对伺服控制系统的要求:

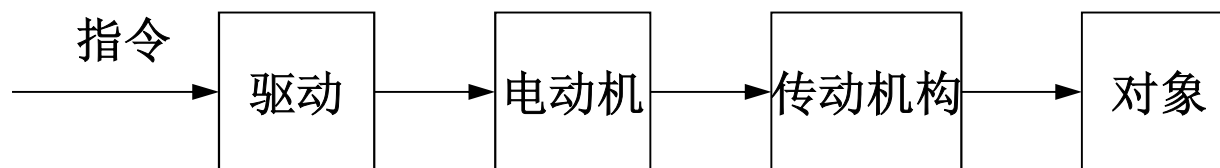
- 好的动、静态指标
- 合理的结构，体积小、重量轻
- 高效率、低功耗
- 高可靠性
- 低成本
- 对环境无害

3.4.1 伺服控制方案设计



(3) 伺服控制方案

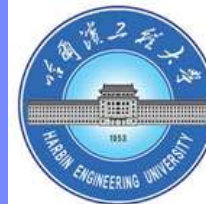
- 开环控制
- 闭环控制
- 半闭环控制



开环控制特点

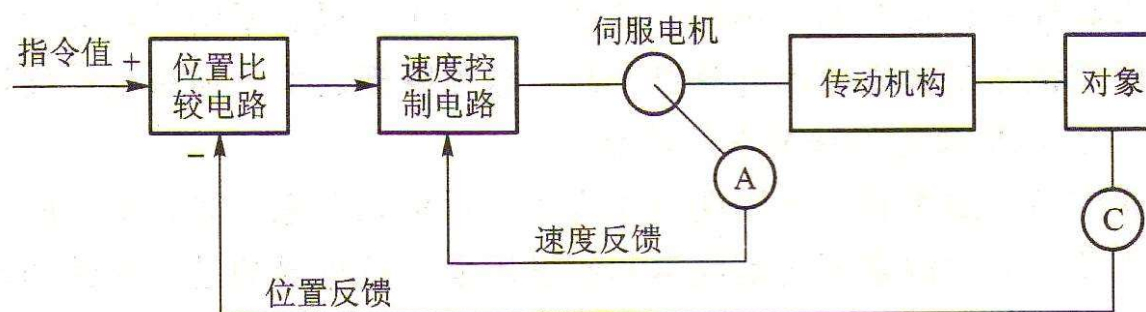
- 结构简单、成本低
- 稳定性好
- 适用于对控制精度要求不高的，
负载力、负载速度较少或不变的场合
- 应用广泛

3.4.1 伺服控制方案设计



(3) 伺服控制方案

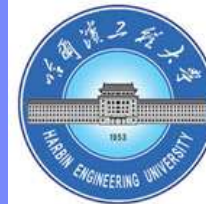
- 开环控制
- 闭环控制
- 半闭环控制



闭环控制特点

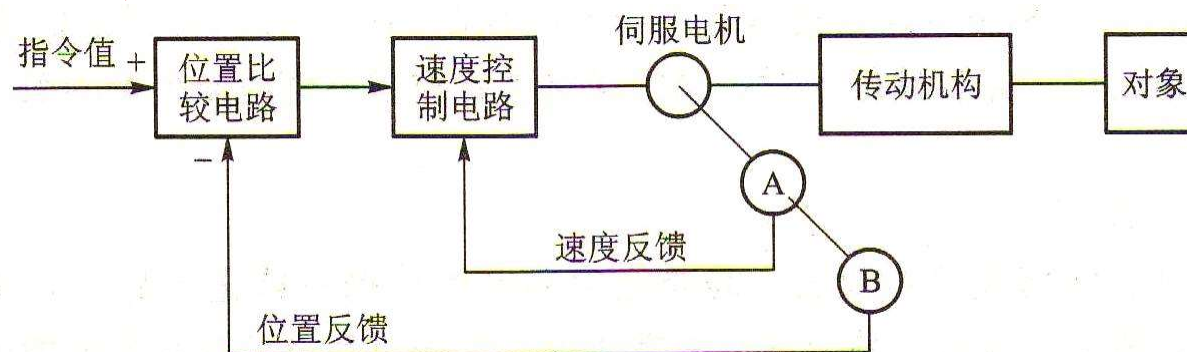
- 结构复杂，成本高
- 可以对传动机构的间隙做出一定的补偿
- 稳定性与控制系统性能参数相关
- 适用于对控制精度要求高，负载力、负载速度变化频繁的场所
- 应用于高精度伺服驱动系统

3.4.1 伺服控制方案设计



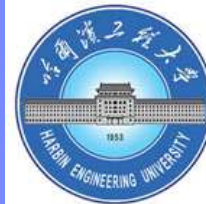
(3) 伺服控制方案

- 开环控制
- 闭环控制
- 半闭环控制



半闭环控制特点

- 结构复杂，成本较高
- 传动机构的间隙无法补偿
- 稳定性与控制系统性能参数相关
- 适用于传动机构精度高，对控制精度要求较高，负载力、负载速度变化频繁的场所
- 应用于高精度伺服驱动系统



伺服控制方案应用

例：助餐机器人伺服控制方案

控制要求：

- ◆ 机手臂要实现轨迹和位姿控制，需要有较高的位置控制精度，竖直面作业；
- ◆ 餐盘旋转满足一定的定位角度要求，水平面作业；
- ◆ 手爪实现张合动作，不需要角度精确控制。

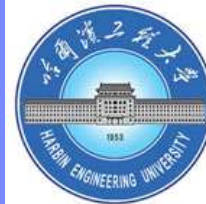
伺服控制方案：

- 手臂关节舵机位置闭环；
- 盘转动舵机位置闭环；
- 手爪叉勺舵机开环

伺服控制方案应用

例：助餐机器人伺服控制方案

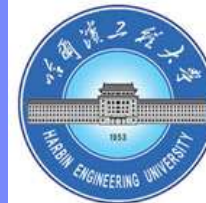




3.4.2 传感检测方案设计

- 传感检测方案
检测方案设计
传感选择
- 传感检测方案对检测精度、检测成本、产品外观设计都有影响

传感检测方案



例

已知某绳驱动式并联机器人，负载由多根张紧的绳来驱动，要求对每根绳的位置做精确控制，试选择驱动方案和传感器。

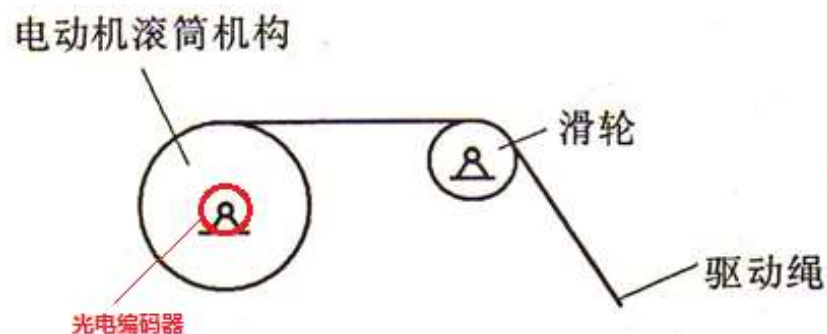
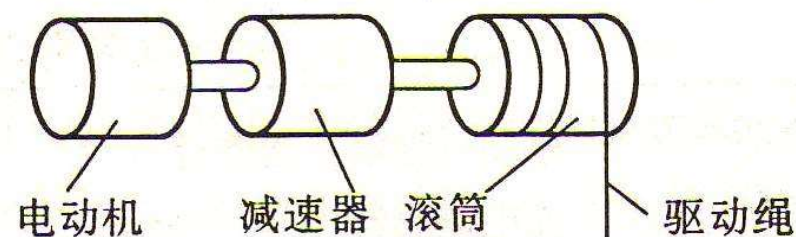
解：

分析：绳索位移行程大，滚筒转动角度与绳索位移存在不确定性。

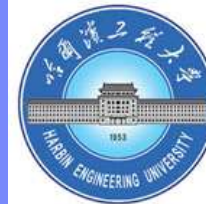
方案1

电动机通过控制绳在滚筒上转过的角度实现绳位移的控制。

特点：结构紧凑，传感器安装方便，检测精确控制困难



传感检测方案



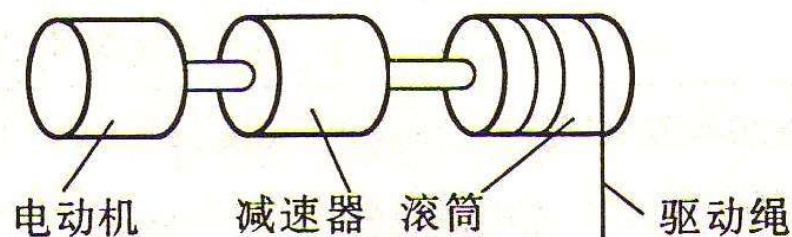
例

已知某绳驱动式并联机器人，负载由多根张紧的绳来驱动，要求对每根绳的位置做精确控制，试选择驱动方案和传感器。

解：

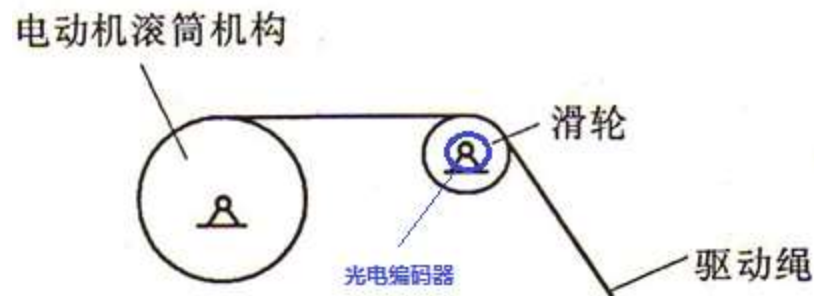
方案2

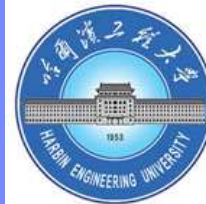
电动机通过控制绳在滑轮上转过的角度实现绳位移的控制。



特点：结构紧凑，传感器安装较方便，检测精度较高，需要避免钢丝绳在滑轮上的打滑。

问题：两种方案对传感器的精度要求有何不同？



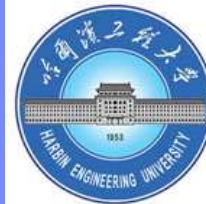


3.4.2 传感检测方案设计

- 传感决定了系统精度精度的上限、对成本、产品外观设计都有影响，不同特测量方案对传感器、传动机构提出了不同的要。

传感检测方案的选择要求：

- (1) 满足测试的静态、动态特性要求
- (2) 与驱动元件与执行机构的传动方式匹配性
- (3) 合理的成本
- (3) 环境适应性



3.4.3 计算机控制系统方案

满足基本控制功能、性能指标要求

(1) 基于产品类型控制方案设计

➤ 单件小批量还是大批量生产

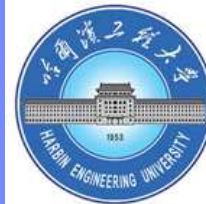
单件小批量：通用计算机，降低成本，缩短周期

大批量生产：专用计算机，提高资源利用率、系统可靠性

➤ 一般工业产品还是特殊要求产品

一般工业产品：成本和生产周期

特殊要求产品：军用、航天、水下产品，可靠性和适应性



3.4.3 计算机控制系统方案

➤ 产品开发还是科研样机

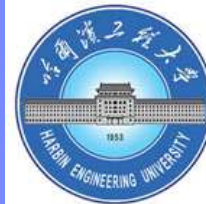
产品开发：生产成本、周期、可维修性等，采用集散控制计算机系统

科研样机：研究工作原理，获取数据，采用软、硬件接口资源丰富、速度快、兼容性好的专用计算机系统

➤ 工业产品还是民用产品

民用产品：小家电、便携式仪器仪表、嵌入式移动系统，考虑体积、重量、功耗、成本，采用专用的单片机或微处理器控制系统

工业产品：可靠性高的计算机系统

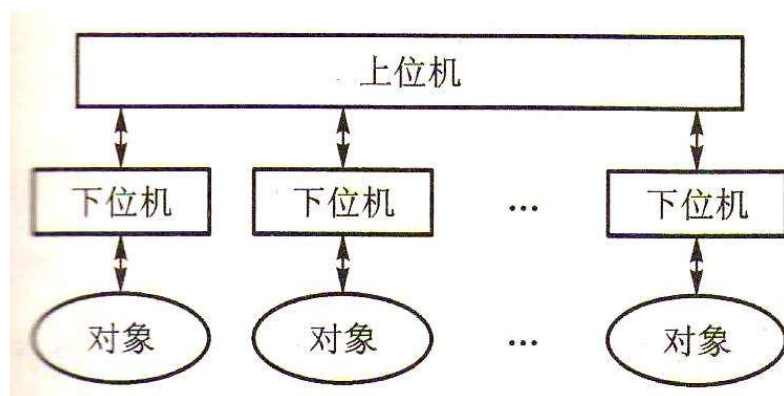


3.4.3 计算机控制系统方案

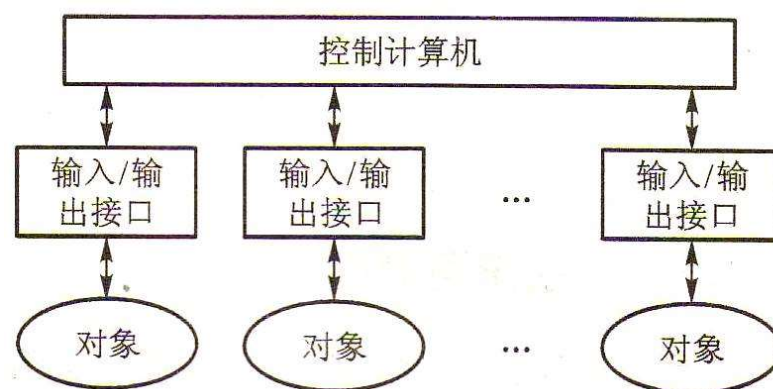
(2) 基于系统规模的控制方案设计

主要因素

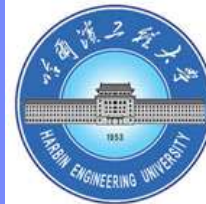
- 人机接口：命令及数据输入、状态显示
- 系统控制：接收状态信息、轨迹规划、控制算法、发控制指令
- 伺服控制：滤波算法、伺服控制算法、控制信号输出



分级控制



集中控制



3.4.3 计算机控制系统方案

(3) 基于工作环境的控制方案设计

➤ 工作环境与构件的材料

海洋开发，航天产品，医疗产品，化工产品的耐腐蚀性、温度稳定性、化学性能等

➤ 工作环境与控制系统

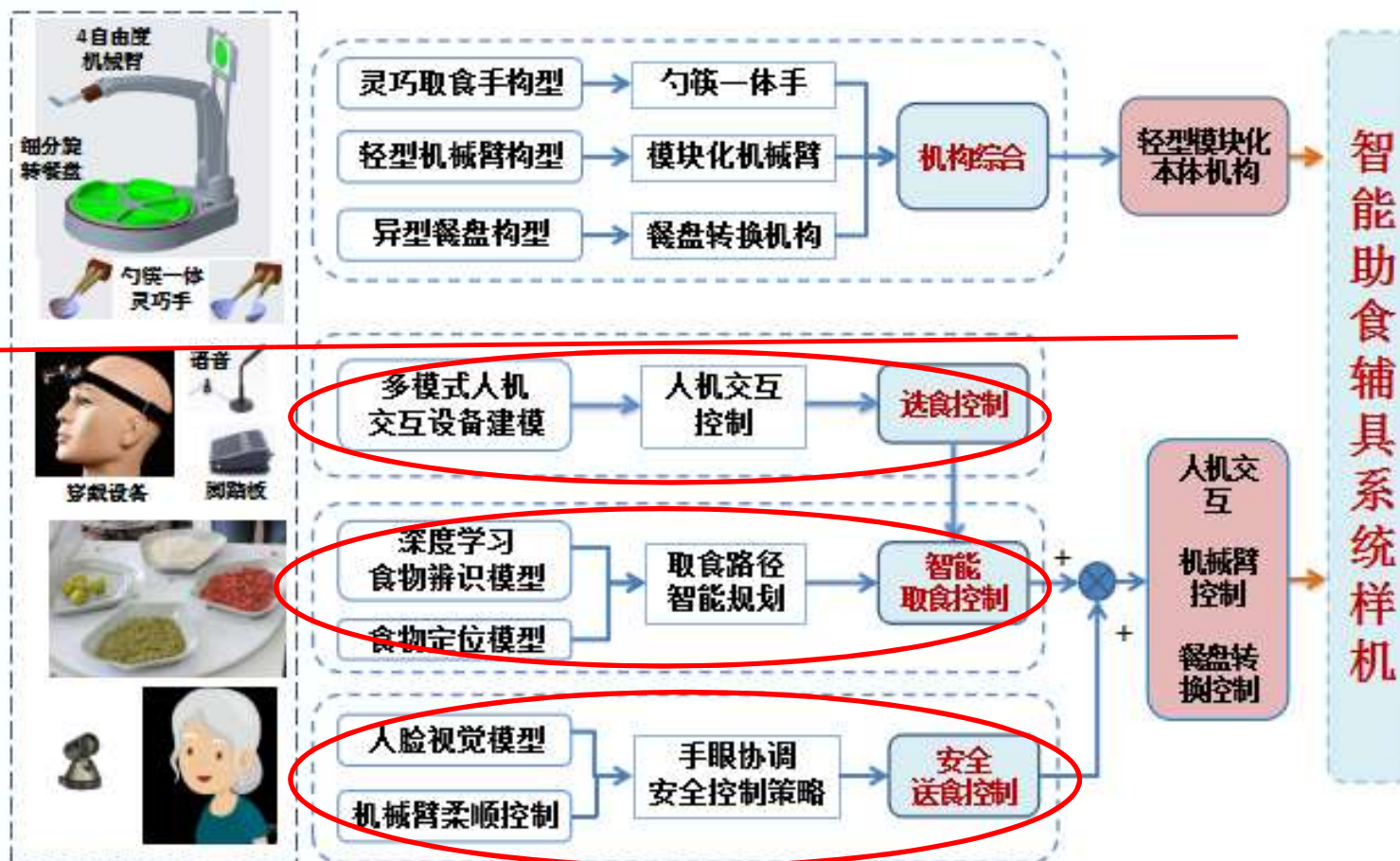
电辐射、电网干扰、振动等需要采取防护措施
家用电器、办公设备对控制系统要求不高，对生产设备需采用可靠性高的控制计算机，采用抗干扰电源，屏蔽、接地保护，防尘、防潮设计，抗振设计，冗余设计，抗干扰软、硬件，恒温控制等措施。

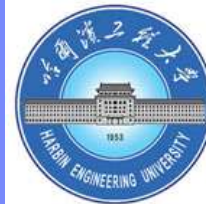
3.4.3 计算机控制系统方案

例：助餐机器人

机械结构方案

控制软件方案





3.4.3 计算机控制系统方案

例：助餐机器人

(1) 基于产品类型的控制方案设计

家用电器产品，面向产品批量生产：低成本，产品化。

(2) 基于系统规模的控制方案设计

中小规模控制：**ARM**

(3) 基于工作环境的控制方案设计

家用电器产品：无特殊要求

优选方案：主机选用**ARM**自行开发，伺服驱动选用一体化舵机，人机界面选用通用平板、配备双目摄像头，采用**DC24V**安全供电，**485**、以太网通讯；

3.4.3 计算机控制系统方案

例：助餐机器人控制方案（硬件）

Mousetool工具

GlassOuse鼠标

