

教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称 机电一体化技术概论

专业班级 机电一体化技术 251

总学时数 36 学时

任课教师 魏毓文

课程基本信息

课程名称	机电一体化技术概论			
课程性质	专业基础课	学分	2.0	
学时	总学时：36 学时。 其中：课堂讲授 36 学时；实训/实验 0 学时；线上教学 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	魏毓文	
授课专业、班级	机电一体化技术 251 班	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 40%；期末成绩占 60 %	考核方式	考查	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	机电一体化技术概论	梁广瑞， 蒋兴加	机械工业出版社	2019.11
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	该课程是集机械、电子等基础课程知识为一体的综合性专业课程。该课程主要是从机电一体化仪器及各种设备的组成原理、工作过程入手，从而阐明机电一体化技术的发展过程。使学生们通过该课程的学习，了解机电一体化的本意及发展方向，知道各种机电一体化仪器、设备的基本工作原理，掌握有关机电一体化仪器、设备事例的应用。			
本课程教学目标	1. 让学生通过掌握机电一体化的基本知识，拓宽学生的知识面。 2. 让学生了解机电一体化系统（产品）涉及的相关技术，对典型机电一体化系统有一个比较全面的认识。 3. 使学生在今后的工作中具有综合应用多学科知识的能力。			
素质(思政)内容与要求	1. 提高分析与解决问题的能力。 2. 培养学生具备相应岗位职业素养和创新意识。			

学生用主要参考资料	梁广瑞，蒋兴加 主编《机电一体化技术概论》，机械工业出版社
-----------	-------------------------------

第 1 章 绪论

教学目标：

1. 了解本课程的性质、地位和任务；
2. 了解机电一体化系统的基本概念；
3. 了解机电一体化系统的关键共性技术；
4. 了解机电一体化系统的发展概况。

教学重点： 了解机电一体化系统的关键共性技术

教学难点： 了解机电一体化系统的关键共性技术

素质（思政）内容与要求：

1.加强社会主义核心价值观的教育，培养学生的社会责任感和家国情怀；

2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。

教学手段： 讲授、演示、提问

教学学时： 6

教学内容:

1. 本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用:

本课程是集机械、电子等基础课程知识为一体的综合性专业课程。该课程主要是从机电一体化仪器及各种设备的组成原理、工作过程入手,从而阐明机电一体化技术的发展过程。使学生们通过该课程的学习,了解机电一体化的本意及发展方向,知道各种机电一体化仪器、设备的基本工作原理,掌握有关机电一体化仪器、设备事例的应用。

2. 本课程的任务和要求

学生通过本课程的学习,掌握机电一体化的基本知识,拓宽学生的知识面;了解机电一体化系统(产品)涉及的相关技术,对典型机电一体化系统有一个比较全面的认识;使学生在今后的工作中具有综合应用多学科知识的能力。

1.1 机电一体化的基本概念

1.1.1 机电一体化系统的功能构成及定义

【1】 “机电一体化”一词(Mecharonics)在 20 世纪 70 年代起源于日本。它取英语 Mechanics(机械学)的前半部和 Electronics (电子学)的后半部分拼成一个新词,即机械电子学或机电一体化。

广义说:机械工程与电子工程相结合的技术,以及应用这些技术的机械电子装置。

狭义说:机械的电子化或者机械电子工程。

【2】机械的电子化设备分类：

(a) 原来仅由机械实现运动的装置，通过与电子技术相接合来实现同样运动的新的装置。如：发条式钟表—石英钟表。

(b) 原来由人来判断和操作的设备，变为由机器进行判断实现无人操作的设备。如：ATM（Automatic Teller Machine，自动出纳机）。

(c) 按照人所编制的程序实现灵活运动的设备。如 NC。

【3】支撑机电一体化的学科与技术：

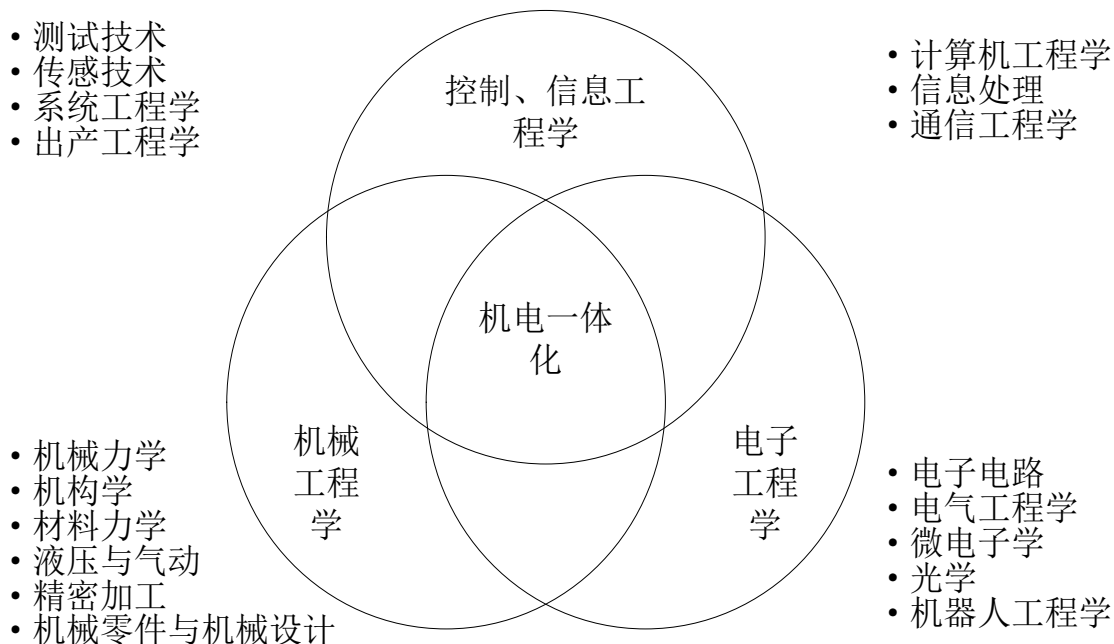


图1.1 构成机电一体化的学科

【4】机电一体化的特点

- 1) 体积小、重量轻；
- 2) 速度快、精度高；

- 3) 可靠性高;
- 4) 柔性好 (由于可编程, 容易增加新的功能具有很好的扩展性)。

【5】机电一体化系统的组成

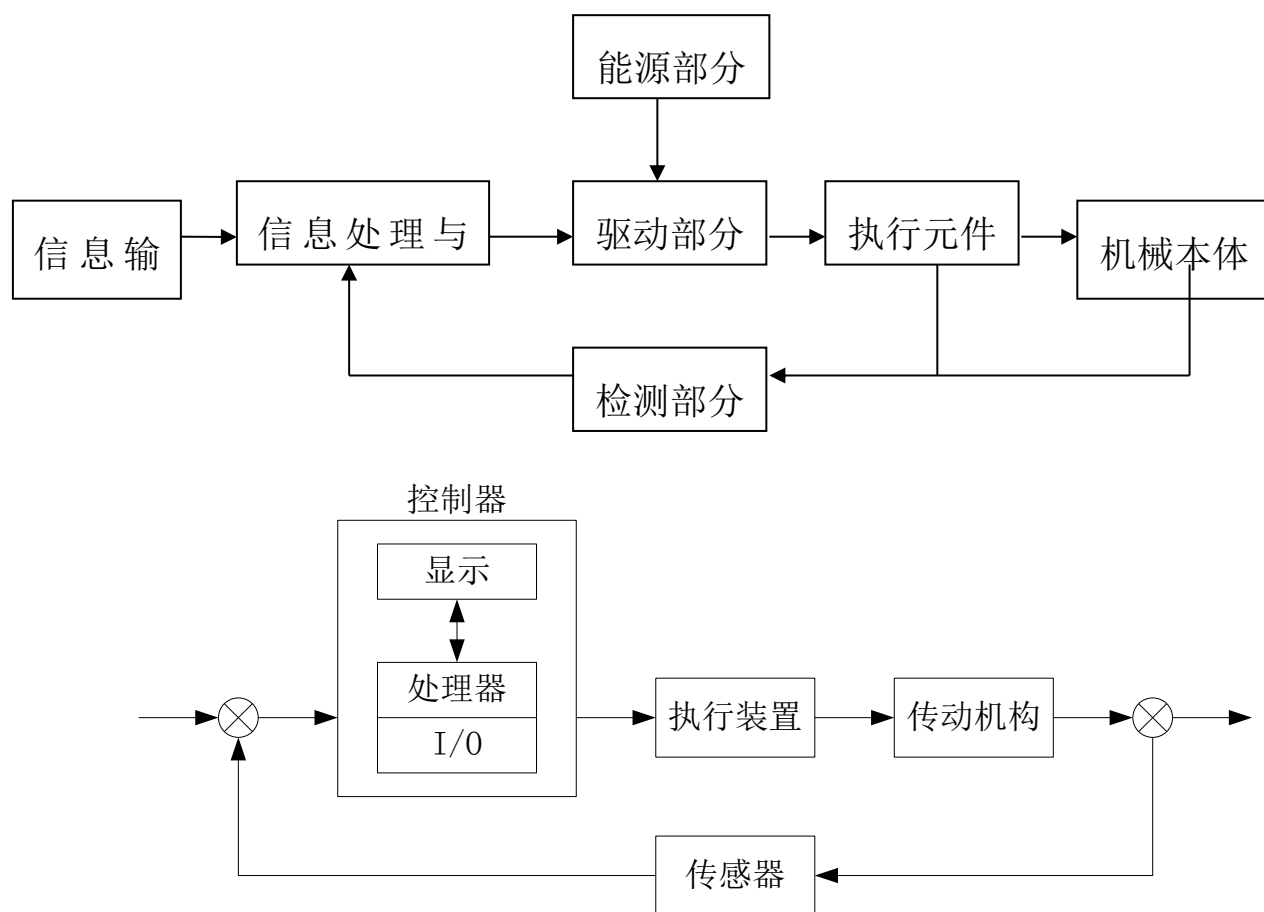
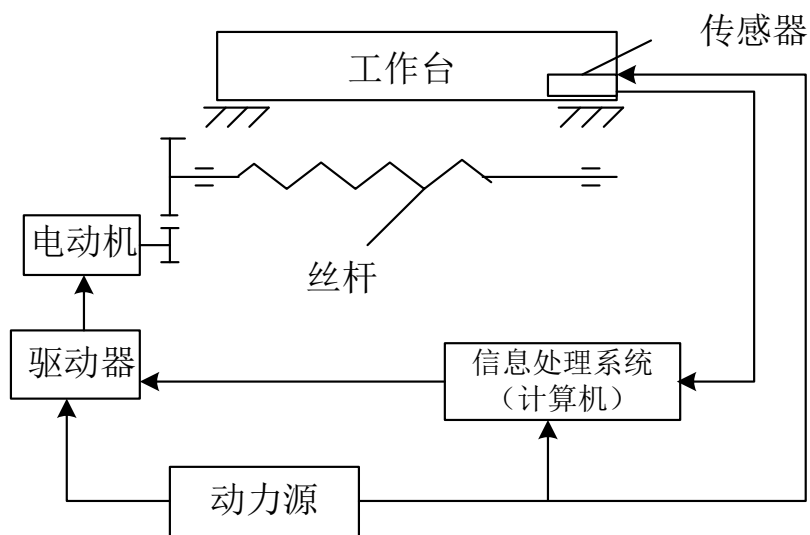


图1.2 机电一体化系统的组成

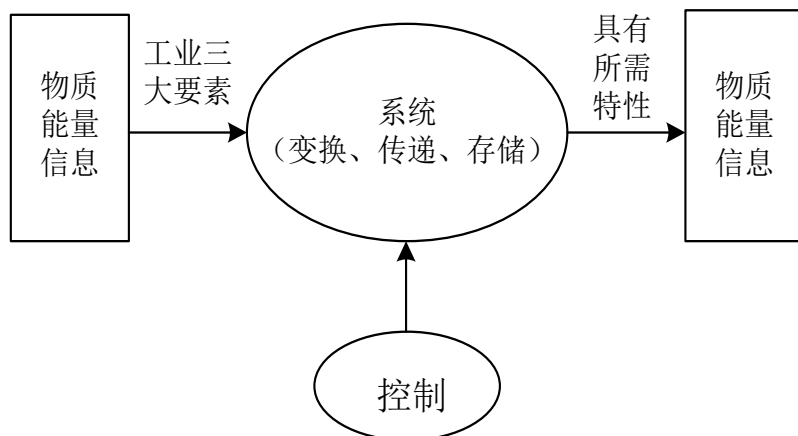
- 典型闭环控制系统



1.1.2 机电一体化系统的结构要素

机电一体化系统是由若干具有特定功能的机械与微电子要素组成的有机整体，具有满足人们使用要求的功能(目的功能)。根据不同的使用目的，要求系统能对输入的物质、能量和信息(即工业三大要素)进行某一处理，输出所需要的物质、能量和信息。

因此，系统必须具有以下三大“目的功能”：变换(加工、处理)功能、传递(移动、输送)功能和储存(保持、积累、记录)功能。



1.1.3 机电一体化产品的分类

机电一体化产品种类繁多，目前还在不断扩展，但仍可以按产品的功能划分为以下几类：

- (1) 数控机械类
- (2) 电子设备类
- (3) 机电结合类
- (4) 电液伺服类
- (5) 信息控制类

1.2 机电一体化的共性关键技术

- 1.2.1 机械设计技术

机械技术是机电一体化的基础。机电一体化产品中的主功能和构造功能，往往是以机械技术为主实现的。特别是关键部件，如导轨、滚珠丝杠、轴承、传动部件等的材料、精度对机电一体化产品的性能、控制精度等多方向的要求。

- 1.2.2 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、识别、变换、运算、存储及输出技术，它们大都是依靠计算机来进行的，因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等，

实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。

- 1.2.3 自动控制技术

自动控制技术就是通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定的规律运行。自动控制技术范围很广，包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象种类繁多，所以控制技术的内容极其丰富，包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术。

- 1.2.4 传感与检测技术

自动控制技术就是通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定的规律运行。自动控制技术范围很广，包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象种类繁多，所以控制技术的内容极其丰富，包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术。

- 1.2.5 执行与驱动技术

伺服驱动技术的主要研究对象是执行元件及其驱动装置。执行元件分为电动、气动、液压等多种类型，机电一体化产品中多采用电动式执行元件。驱动装置主要是指各种电动机的驱动电源电路，目前多采用电力电

子器件及集成化的功能电路构成。

- 1.2.6 机电一体化总体设计技术

系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和方法，将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元，并以功能单元为子系统继续分解，直至找到可实现的技术方案，然后再把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。

1.3 机电一体化技术的发展概况

1.3.1 国内外机电一体化发展状况

机电一体化技术的发展大体上可分为三个阶段。

- 20 世纪 60 年代以前为第一阶段，也可称其为“萌芽阶段”。
- 70 年代至 80 年代为第二阶段。称其为“蓬勃发展阶段”。
- 从上世纪 90 年代后期开始为第三阶段，称其为“智能化阶段”，机电一体化技术向智能化新阶段迈进。

1.3.2 机电一体化技术的理论的发展

机电一体化的主要发展方向如下：

- (1) 智能化
- (2) 模块化
- (3) 网络化

(4) 微型化

(5) 绿色化

(6) 人性化

1.3.3 数控技术与机器人技术

【1】 数控技术，简称数控（Numerical Control）。它是利用数字化的信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。

数控系统包括：数控装置、可编程控制器、主轴驱动器及进给装置等部分，数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品。

【2】 工业机器人

机器人技术是综合了计算机、控制论、机构学、信息和传感技术、人工智能、仿生学等多学科而形成的高新技术，是当代研究十分活跃、应用日益广泛的领域。机器人应用情况，是一个国家工业自动化水平的重要标志。

工业机器人由操作机（机械本体）、控制器、伺服驱动系统和检测传感装置构成，是一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的机电一体化自动化生产设备。

1.3.4 新型的微机电系统 MEMS 系统

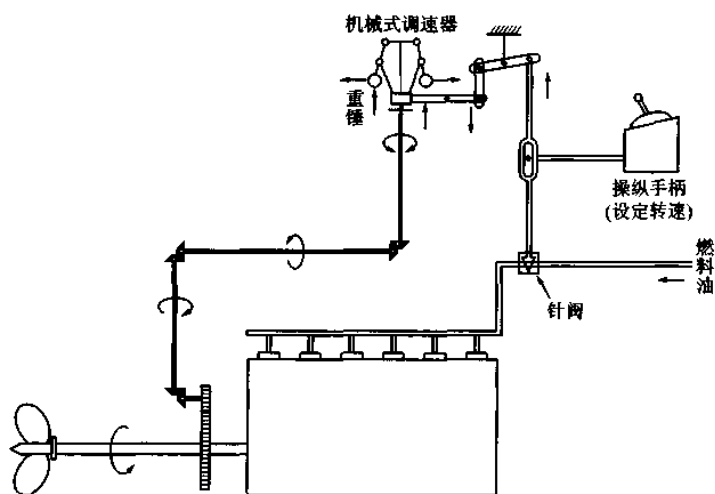
微机电系统 MEMS(Micro Electronic Mechanical Systems)是一种全新的必须同时考虑多种物理场混合作用的研发领域，相对于传统的机械，它

们的尺寸更小，最大的不超过一个厘米，甚至仅仅为几个微米，其厚度就更加微小。

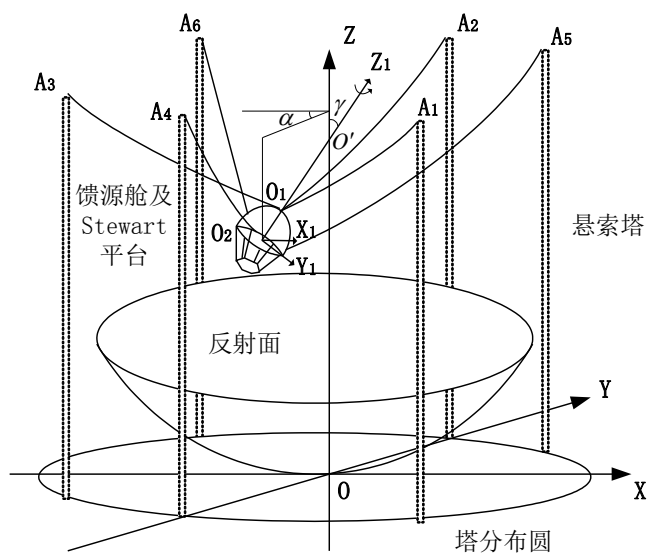
1.4 机电一体化系统的实例

【1】电子调速器

- 机械式调速器
- 电子式调速器



【2】大射电望远镜 50m 实验模型



第2章 自动控制基础

教学目标：

1. 掌握自动控制系统的概念和要求。
2. 掌握自动控制系统数学模型建立和分析。
3. 掌握自动控制系统校正及设计。
4. 掌握自动控制系统运用。

教学重点：掌握自动控制系统数学模型建立和分析

教学难点：掌握自动控制系统数学模型建立和分析

素质（思政）内容与要求：

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。

教学手段：讲授、演示、提问

教学学时：6

教学内容：

2.1 自动控制系统的基本概念及要求

2.1.1 自动控制系统的概念

自动控制系统的工作过程：通过闭环检测、给定与实际差值放大，带动电动机及负载按预期转速工作。

在自动控制系统中，测量仪表、控制仪表、自动调节阀分别代替了人

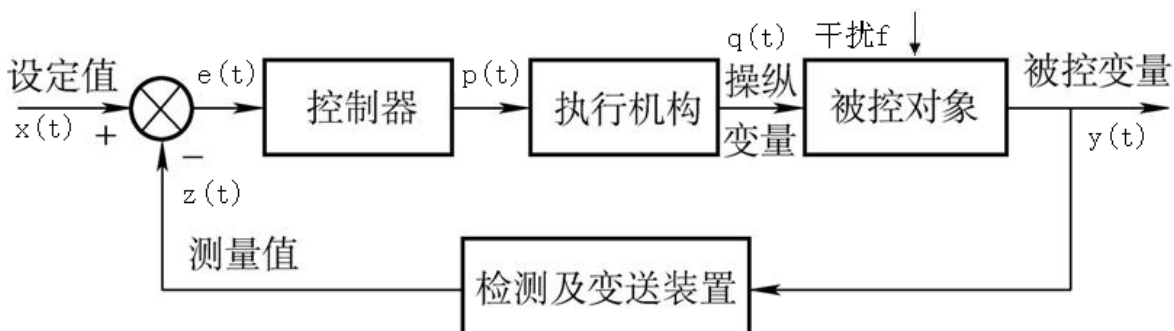
工控制中人的观察、思考和手动操作，因而大大降低了人的劳动强度；同时由于仪表的信号测量、运算、传输、动作速度远远高于人的观察、思考和操作过程，因此自动控制可以满足信号变化速度快、控制要求高的场合。

自动控制系统：实现自动控制作用的系统称为自动控制系统。

2.1.2.自动控制系统的组成—功能方框图

**自动控制
系统组成**

被控对象：机器、设备、生产过程等
控制装置：控制器、检测元件等



2.1.3.自动控制系统的分类

(1) 根据设定值的规律：

分为定值控制系统、随动控制系统、程序控制系统。

(2) 根据控制系统有无闭环：

分为闭环控制系统和开环控制系统。

(3) 根据被控变量的的响应速度：

分为过程控制和随动控制两大类。

(4) 按被控变量的不同:

分为温度控制系统、流量控制系统、压力控制系统、液位控制系统、成分控制系统、速度控制系统、位置控制系统等类型。

2.1.4.对控制系统性能的要求

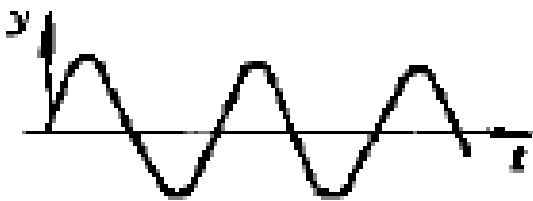
常见的评价系统优劣的性能指标是从动态过程中定义出来的。对系统性能的基本要求有三个方面的: 稳定性、快速性、准确性。

2.1.5.控制系统的过渡过程及性能指标

【1】过渡过程的分类

(1) 等幅振荡过程

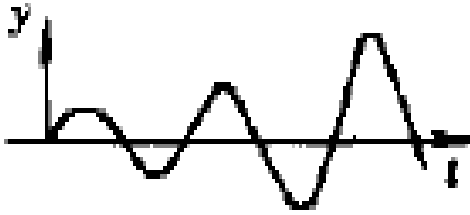
被控变量在某稳定值附近振荡, 而振荡幅度恒定不变。这意味着系统在受到阶跃干扰作用后, 就不能再稳定下来, 一般不采用。只是在某些工艺上允许被控变量在一定范围内波动、控制质量要求不高的场合, 这种形式的过渡过程才被采用。



(2) 发散振荡过程

系统在受到阶跃干扰的作用后, 不但不能使被控变量回到给定值, 反而越来越偏离给定值, 以致超出生产的规定限度, 严重时引起事故。这是

一种不稳定的过渡过程，因此要尽量避免。



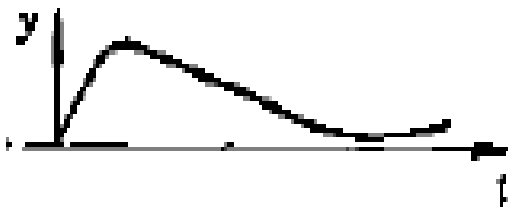
(3) 衰减振荡过程

被控变量在稳定值附近上下波动经过二、三个周期就稳定下来。这是一种稳定的过渡过程，在过程控制中，多数情况下都希望得到这样的过渡过程。

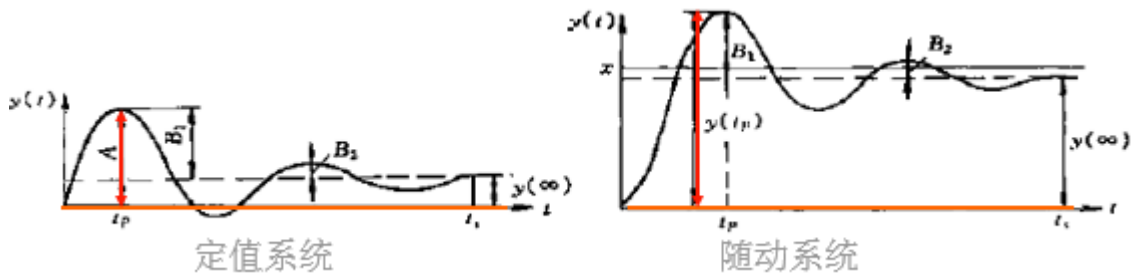


(4) 非振荡的单调过程

被控变量最终稳定下来了，是一个稳定的过渡过程。但与衰减振荡相比，其回复到平衡状态的速度慢、时间长，因此一般不采用。



【2】过渡过程的性能指标



最大偏差 A (或超调量 σ): 对一个定值控制系统来说, 最大偏差是指过渡过程中被控变量第一个波的峰值与给定值的差; 在随动控制系统中, 通常采用超调量指标。

$$\sigma = \frac{y(t) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

衰减比: 是过渡过程曲线上同方向的相邻两个波峰之比, 即 $B_1: B_2$ 一般用 $n:1$ 表示。

n 愈小, 衰减程度愈小, n 愈大, 愈接近非周期单调过程。

$n=1$ 时, 过渡过程为等幅振荡;

$n<1$ 时, 过渡过程则为发散振荡;

$n>1$ 时, 过渡过程为衰减振荡;

$n \rightarrow \infty$, 过渡过程为单调过程。

从便于操作管理, 一般希望衰减比在 $4:1$ — $10:1$ 为好。

调节时间 t_s : 是指被控变量从过渡状态回复到新的平衡状态所用时间, 即整个过渡过程所经历的时间。

从理论上讲，被控变量完全达到新的稳定状态需要无限长的时间，但通常在被控变量进入新稳态值的 $\pm 5\%$ 的范围内不再超出时，就认为被控变量已达到新的稳态值。

因此，实际的过渡时间是从扰动开始作用之时起，直至被控变量进入新稳态值的 $\pm 5\%$ 的范围内所经历的时间。

余差 $e(\infty)$ ：指过渡过程终了时，被控变量新的稳态值与设定值之差。即 $e(\infty) = y(\infty) - y_s$

在控制系统中，余差反映了系统的控制精度。

振荡周期 T ：过渡过程的第一个波峰与相邻的第二个同向波峰之间的时间间隔称为振荡周期。在相同的衰减比条件下，振荡周期短些为好。

2.2 自动控制系统的数学模型

2.2.1 自动控制系统常用数学模型：

典型环节有比例环节、积分环节、微分环节、惯性（一阶）环节、振荡（二阶）环节。

(1) 比例环节

输出量与输入量成比例的环节称为比例环节。

(2) 积分环节

输出量与输入量对时间的积分成正比的环节称为积分环节。

(3) 微分环节

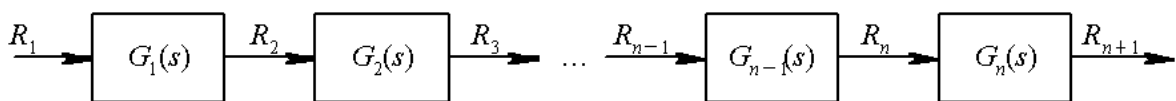
输出量与输入量的导数成正比的环节称为微分环节。

2.2.2 控制系统的方块图及其简化

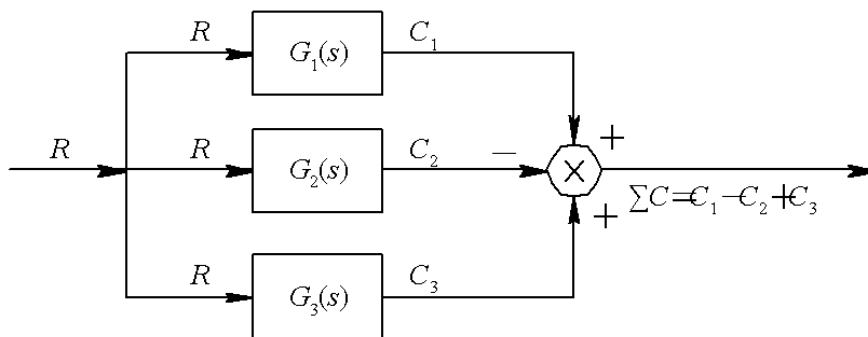
(1) 定义：方块图是把环节方框中的文字描述用传递函数来表示其特性的一种示意图。

(2) 作用：在分析系统时经常需要对方块图作一定的变换，尤其是多回路控制系统，更需要对系统的方块图作逐步等效变换，直至变为典型的反馈系统的结构形式，通过求出系统总的传递函数，以便对系统进行分析。

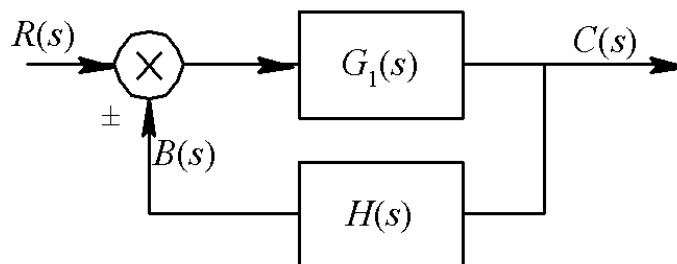
(3) 基本连接及规律：串联连接、并联连接和反馈连接。



串联连接



并联连接



反馈连接

2.3 控制系统的分析

工程上所使用的控制系统必须是稳定的，不稳定的系统无法工作，因而稳定性是系统正常工作的首要条件。

2.3.1 时域分析法

指控制系统在一定的输入下，根据输出量的时域表达式及响应曲线，分析系统的稳定性、瞬态和稳态性能的一种方法。

时域分析法步骤：

- (1) 根据系统传递函数和给定输入，求输出像函数；
- (2) 对输出像函数进行拉氏反变换求时域表达式；
- (3) 根据响应曲线读图或公式确定性能指标。

2.3.2 系统响应

分析系统的性能需要用系统的响应来进行，所谓响应就是系统的输出对输入的反应。系统的响应由系统本身的结构（数学模型）、初始状态和输入信号的形式所决定，初始状态可视为零，通常输入信号采用单位阶跃函数 $r(t) = 1$ ，系统的响应称之为单位阶跃响应。

2.4 控制系统的校正

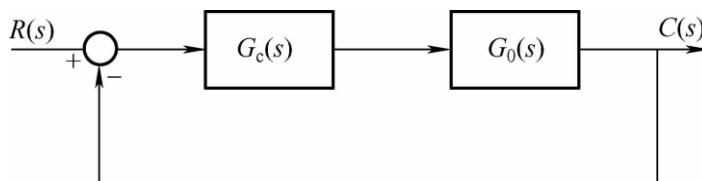
2.4.1 校正的概念

在原有的系统中有目的地增添一些装置和元件，人为地改变系统的结构和性能，使之满足所要求的性能指标，我们把这种方法称为系统校正。增添的装置和元件称为校正装置和校正元件。

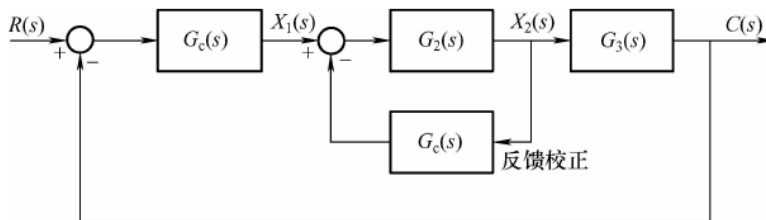
根据校正装置在系统中所处位置的不同，一般分为串联校正、反馈校正和顺馈补偿；重点基于 MATLAB 软件对串联校正中常用的 PID 控制规律进行设计分析。

2.4.2 串联校正、反馈校正和复合校正

【1】 串联校正：



【2】 反馈校正：



【3】 复合校正是在反馈控制的基础上，引入输入补偿构成的校正方式，通常可以分为两种：一种是引入给定输入信号补偿；另一种是引入扰动输入信号补偿。

2.4.3 PID 调节器的特点及适用场合

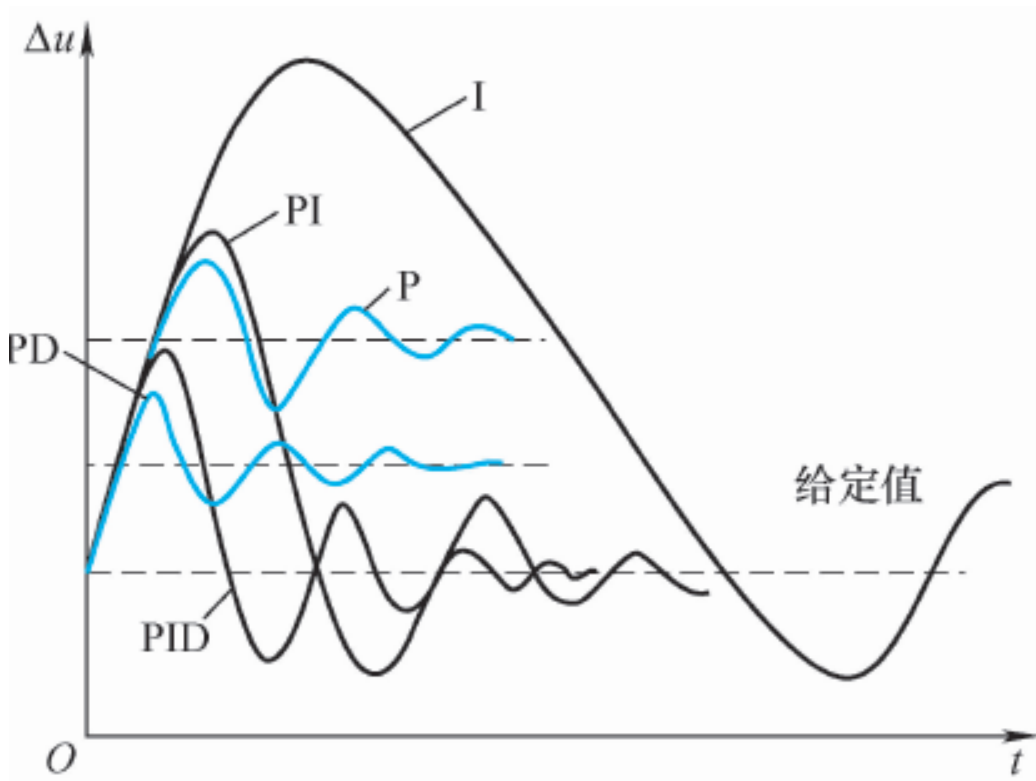
比例积分微分控制 PID

❖ 理想 PID

$$\Delta u = K_c \left(e + \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

❖ 实际 PID

$$\Delta u = K_c \left[e + \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt + e (K_D - 1) e^{-\frac{K_D}{T_D} t} \right]$$



PID 控制器各种组合控制效果图

PID 调节器的特点及适用场合:

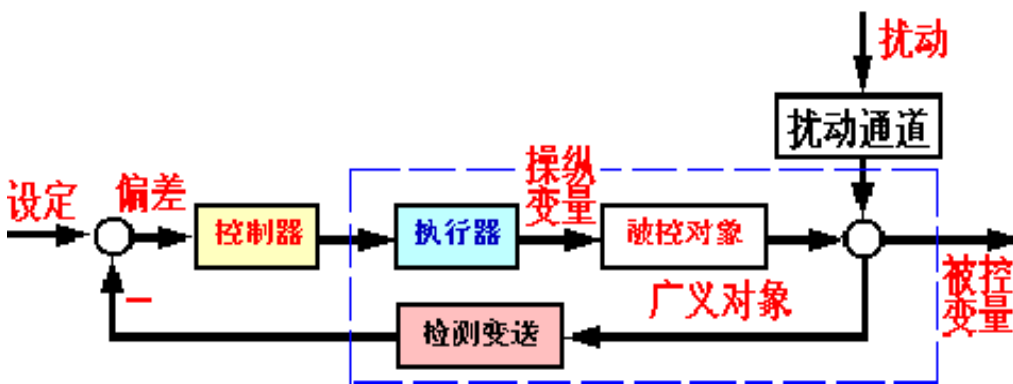
PID 调节器兼有 PI、PD 调节器两者的优点，克服干扰能力强，使系统的稳定性提高。对于容量滞后较大，纯滞后不太大，不允许有静差的过程，采用 PID 调节可以全面改善控制品质，因此，被大多数的温度、成分控制系统所选用。

2.5 单回路控制系统

2.5.1 单回路控制系统的组成及工作原理

定义：单回路控制系统是指由一个测量变送器、一个控制器、一个执行器和一个被控对象所构成的一个回路闭环系统。

作用：无论自动化控制技术如何发展，单回路控制系统在工业生产中的应用占有 80%以上比例；同时，也是构成其他类型控制系统如串级、比值、前馈、均匀、分程等控制系统的基础。学会与掌握单回路控制系统的操作应用、分析与设计、工程实施等内容是控制技术最为核心的要求。



对于控制系统设计和应用来说，控制方案的设计和调节器参数的整定是其中两个重要内容。

如果控制方案设计不正确，仅凭调节器参数的整定是不可能获得较好的控制质量的；若控制方案很好，但是调节器参数整定不合适，也不能使系统运行在最佳状态。

2.5.2 被控参数的选择

选取被控参数的一般原则：

(1) 选择对产品的产量和质量、安全生产、经济运行和环境保护具有决定

性作用的、可直接测量的工艺参数为被控参数。

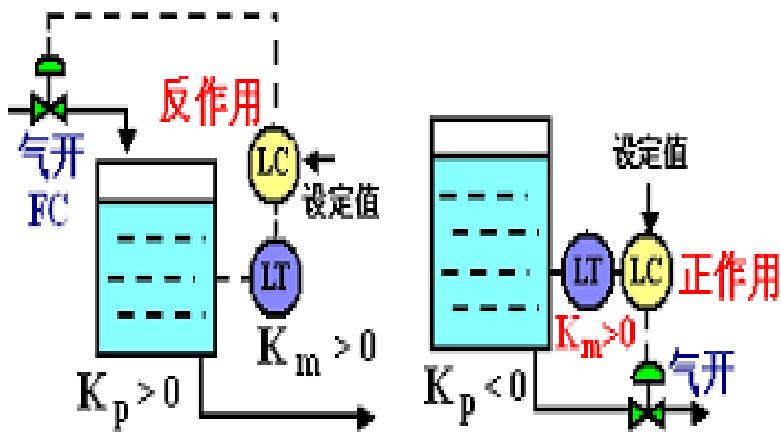
(2) 当不能用直接参数作为被控参数时，应选择一个与直接参数有单值函数关系的间接参数作为被控参数。

(3) 被控参数必须具有足够高的灵敏度。

(4) 被控参数的选取，还必须考虑工艺过程的合理性和国内外仪表生产的现状。

2.5.3 控制器的选择

控制器（调节器）是控制系统的核心部件，控制器的选择主要包括控制规律的选择和正、反作用方式的选择；工程上根据不同的对象特性，选择与之相配合的控制规律来进行控制，以符合工艺的控制要求；正、反作用方式的选择为确保整个控制系统构成负反馈，以满足系统稳定性的要求。



第3章 传感器检测技术

教学目标:

- 1.了解传感器检测技术的定义和分类。
- 2.了解常见的机电设备速度检测传感器的原理和应用。
- 3.了解常见的机电设备位置检测传感器的原理和应用。
- 4.了解常见的机电设备位移检测传感器的原理和应用。
- 5.了解信号预处理技术。

教学重点: 了解常见的机电设备速度、位置检测传感器的原理和应用。

教学难点: 了解常见的机电设备速度、位置检测传感器的原理和应用。

素质（思政）内容与要求:

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。

教学手段: 讲授、演示、提问

教学学时: 6

教学内容:

3.1 传感器检测技术概述

3.1.1.传感器检测定义

传感器（英文名称：transducer/sensor）是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制

等要求。

3.1.2. 传感器组成

传感器一般由敏感元件、转换元件及转换电路组成，某些特定传感器还需要辅助电源才能工作。

3.1.3. 传感器分类及信号预处理

目前市场上传感器种类繁多，同一种传感器可检测多种参数，通常情况下可按以下三种方式分类：

一按工作原理分类、二按被测物理量分类、三按应用范围分类。

在这里，主要介绍按被测物理量分类：

- 1) 应变（扭矩）和力测量---金属丝应变片、半导体应变片传感器等；
- 2) 位移测量---如电位器、旋转编码器、电容式传感器等；
- 3) 大位移测量---激光和超声波测距传感器等；
- 4) 机械振动测量---压电式加速度传感器、磁电式速度传感器等；
- 5) 转速测量---光电编码器、光电开关和测速发电机等；
- 6) 压力与流量测量---如磁电式传感器、超声波流量计等
- 7) 温度测量---电阻式与热电偶式温度计。

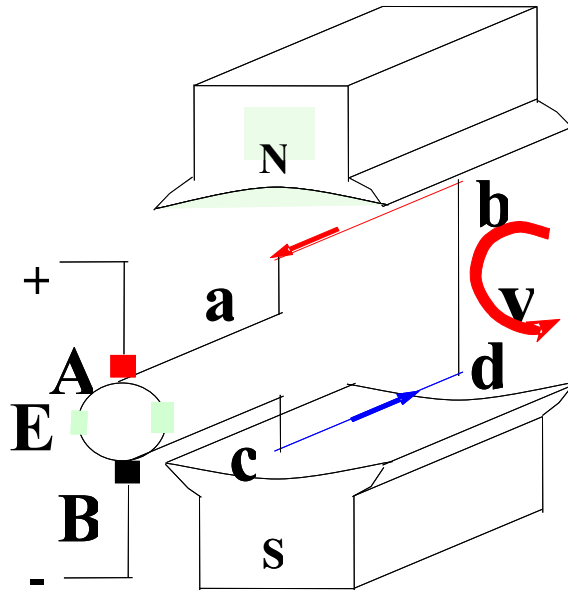
在机电设备中，常用传感器有：

- 1) 机电设备运动位置的测量：光电开关或电涡流式接近开关、霍尔开关等；
- 2) 机电设备运动位移的测量：光电编码器、光栅尺、电容式位移传感器；
- 3) 机电设备运动转速的测量：测速发电机、光电码盘等。

3.2 机电设备速度检测传感器

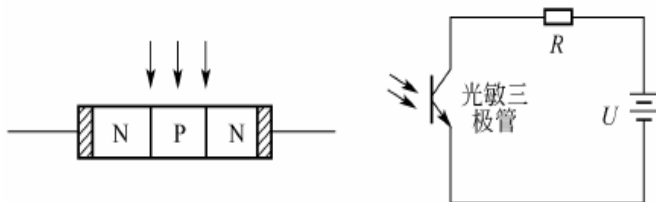
3.2.1.测速发电机

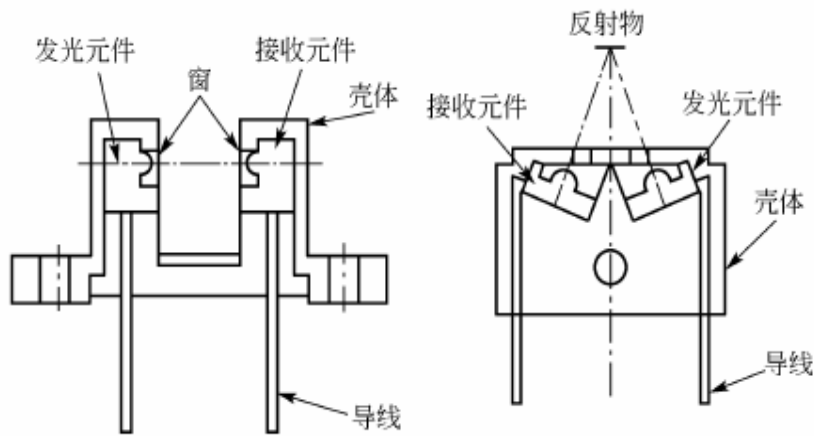
测速发电机是利用发电机的原理，用于测量机电设备旋转速度的传感器。以直流测速发电机为例：如图所示。



3.2.2.光电转换测速传感器

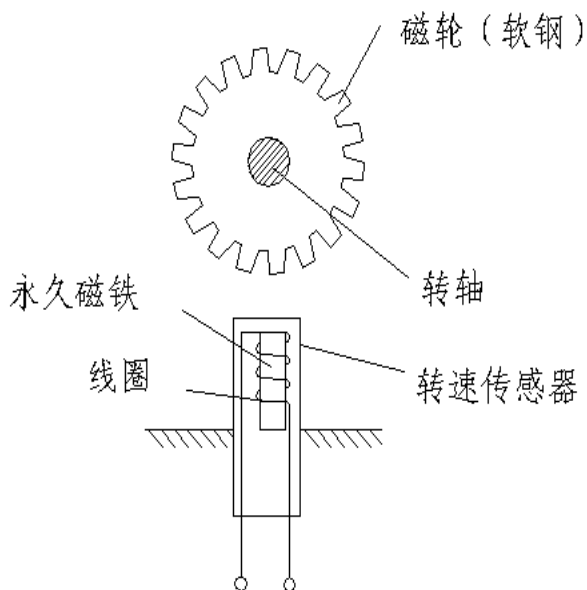
当光照射在基极-集电结上时，就会在集电结附近产生光生电子-空穴对，从而形成基极光电流，从而使三极管导通。





3.2.3 磁电转换测速传感器

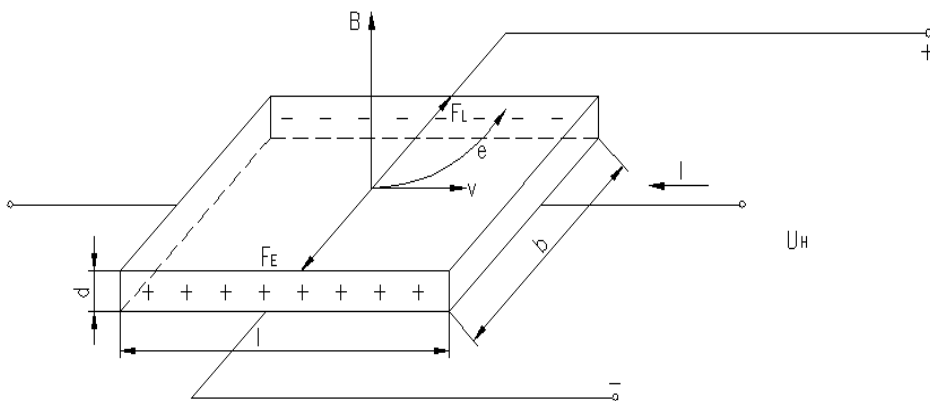
工作原理：磁电转换测速传感器是利用电磁感应原理将机电设备转动速度转换成电信号的一种传感器。由于不需要辅助电源，就能把被测对象的运动量转换成易于测量的电信号，而且具有输出功率大，稳定性好，工作频率范围宽（10~1000 Hz）等优点，所以得到普遍应用。



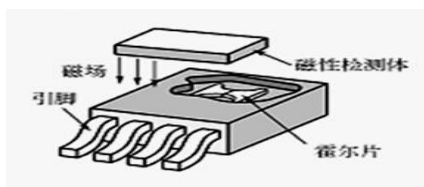
3.3 机电设备位置检测传感器

3.3.1 霍尔位置传感器

霍尔效应及元件：在一块通电的半导体薄片上，加上和片子表面垂直的磁场 B ，在薄片的横向两侧会出现一个电压，如图中的 U_H ，这种现象就是霍尔效应，是由科学家爱德文·霍尔在 1879 年发现的。 U_H 称为霍尔电压。

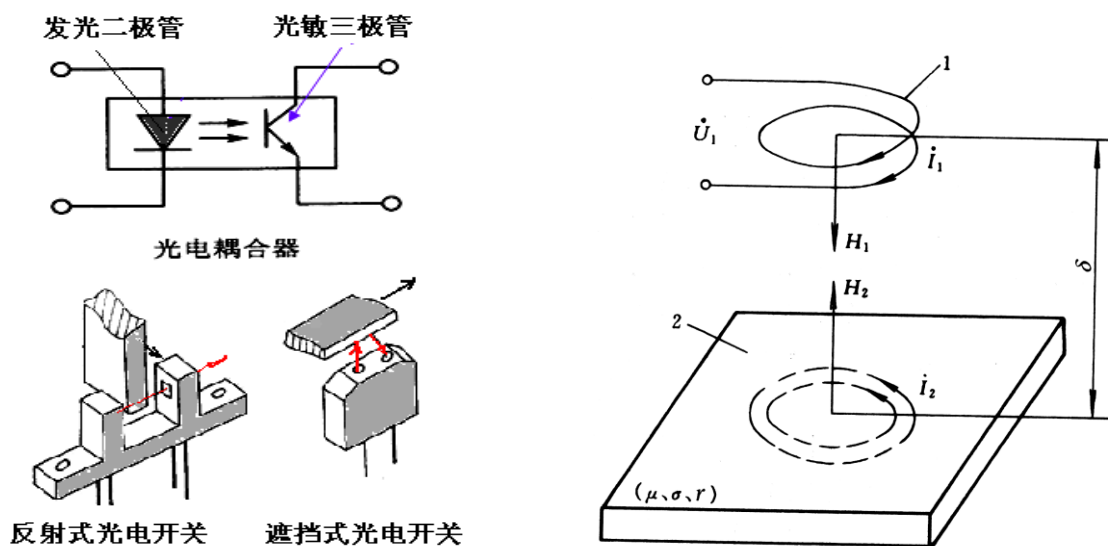


这种现象的产生，是因为通电半导体片中的载流子在磁场产生的洛仑兹力的作用下，分别向半导体薄片横向两侧偏转和积聚，因而形成一个电场，称作霍尔电场。霍尔电场产生的电场力和洛仑兹力相反，它阻碍载流子继续堆积，直到霍尔电场力和洛仑兹力相等。这时，半导体薄片两侧建立起一个稳定的电压，这就是霍尔电压。



3.3.2 光电位置传感器

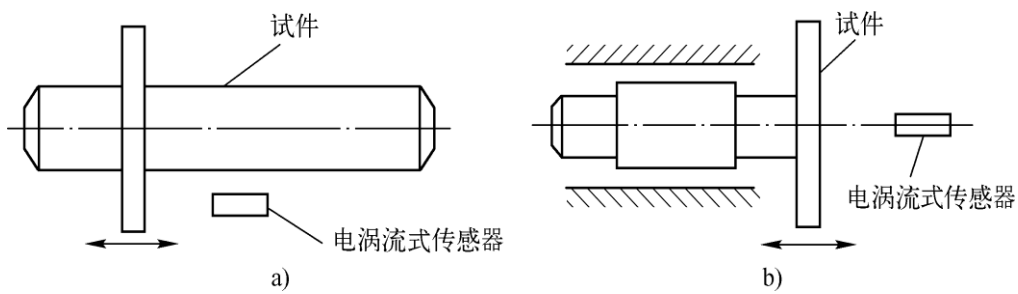
光电位置传感器在工业上的应用可归纳为吸收式、遮光式、反射式、辐射式四种基本形式。利用三极管的开关作用可以产生光电脉冲信号，用于位置检测、工件计数或转动物体速度测量等，在这里主要介绍位置的检测。



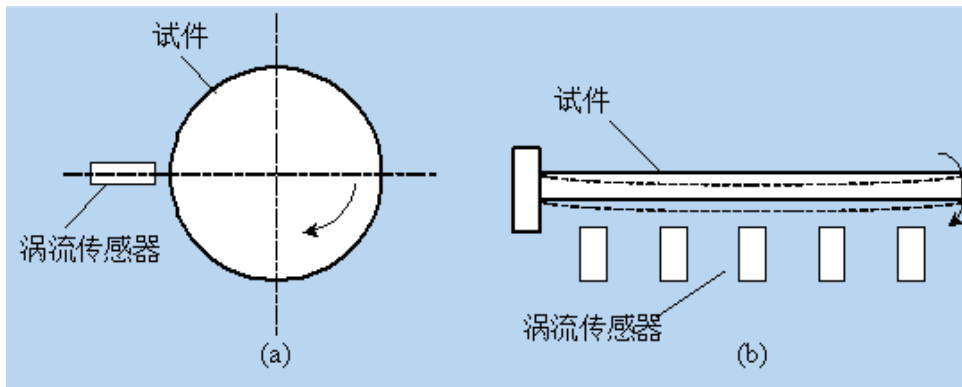
3.3.3 电涡流位置传感器

电涡流式位置传感器的组成如图 3-19 所示。检测用敏感元件为检测线圈，当金属物体接近检测线圈时，金属物体就会产生涡流而吸收振荡能量，使振荡减弱以至停振。振荡与停振这两种状态经检测电路转换成开关信号输出。

位移测量：



振动测量：



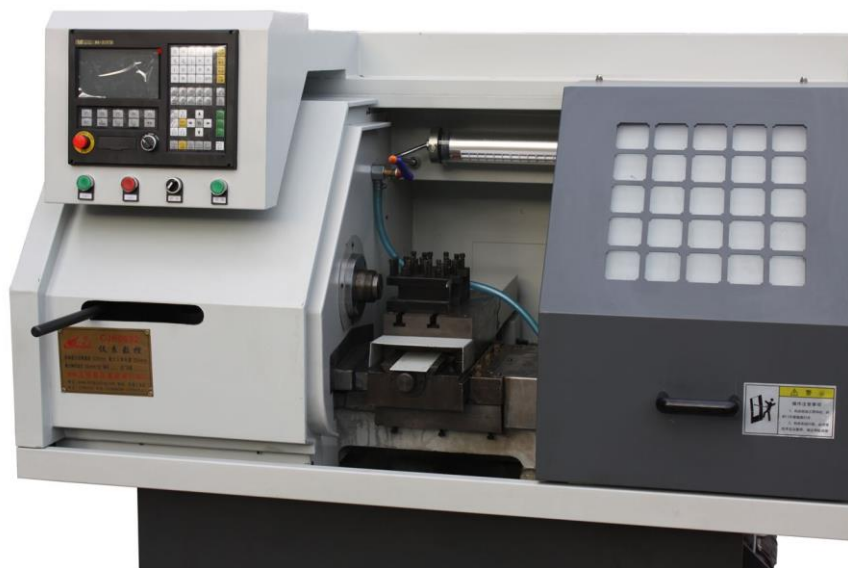
3.4 机电设备位移检测传感器

3.4.1 光电编码器式传感器

光电编码器，又称为手轮脉冲发生器，简称手轮，是一种通过光电转换将输出轴的机械几何位移量转换为脉冲或数字量的传感器，主要应用于各种数控设备，是目前应用最多的一种传感器。



光电编码器广泛应用于数控机床、回转台、伺服传动、机器人、雷达、军事目标测定等需要检测角度的装置和设备中。



3.4.2.光栅式传感器

当光栅每移动一个光栅栅距 W 时，莫尔条纹也跟着移动一个条纹宽度 B_H ，如果光栅作反向移动，条纹移动方向也相反。莫尔条纹的间距 B_H 与两光栅线纹夹角 θ 之间的关系为

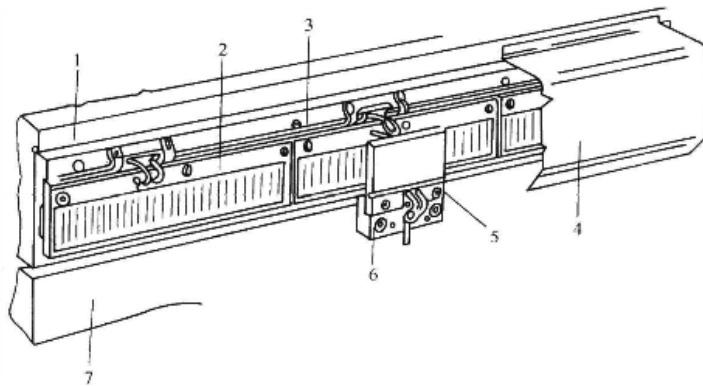
$$B_H = \frac{W}{\sin \frac{\theta}{2}} \approx \frac{W}{\theta}$$

光栅位移传感器具有测量精度高（分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ ），动态测量范围广（ $0 \sim 1000\text{mm}$ ），可进行无接触测量，容易实现系统的自动化和数字化的特点。图为 Croma 系列三坐标测量仪。



3.4.3 其他位移传感器

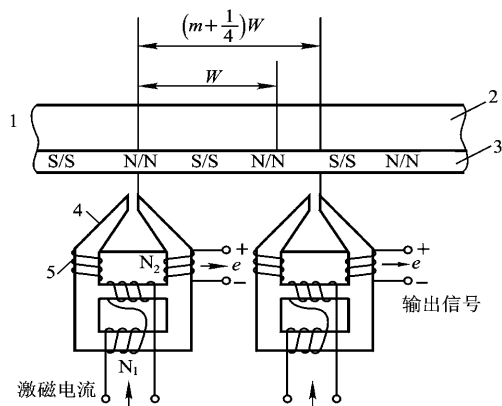
直线型感应同步器



直线感应同步器安装图

- 1—机床不动部件 2—定尺 3—定尺座 4—防护罩
5—滑尺 6—滑尺座 7—机床可动部件

磁栅位移传感器原理



3.5 信号预处理技术

3.5.1 传感器信号的检出

检测电路：常用的检测电路有阻抗匹配器、电桥电路、放大电路。

① 阻抗匹配器

通常情况传感器输出端阻抗都比较高，为减少信号的衰减，一般采用高输入阻抗低输出阻抗的阻抗匹配器作为传感器输入到测量系统的前置电路。常用的阻抗匹配器有半导体管阻抗匹配器、场效应晶体管阻抗匹配器及运算放大器阻抗匹配器。

② 电桥电路

电桥电路在传感器检测电路中应用非常广泛，利用电桥电路可以很方便地将传感器的输出变化转换成可测量的电压或电流信号，根据电桥供电电源的不同，电桥可分为直流电桥和交流电桥。

③ 放大电路

传感器的输出信号一般都很微弱，因此通常情况下我们都需要将输出信号进行作放大处理。为后续的检测电路提供标准的电压信号（0-5v）或者电流信号（4-20mA），它对检测系统的起着至关重要的作用。

3.5.2 输出信号的抗干扰

（1）干扰的类型与要素

影响传感器输出的外界感应干扰主要有以下几种：**静电感应干扰**、**电磁感应干扰**、**漏电流感应干扰**、**射频干扰**、**其他干扰**等。

(2) 抗干扰的方法

①屏蔽技术、 ②接地技术、 ③隔离技术、 ④滤波技术

第 4 章 伺服控制技术

教学目标：

1. 了解伺服电机的原理和特点；
2. 了解伺服电机的三闭环控制；
3. 了解步进电机的分类及构造；
4. 了解步进电机细分原理。

教学重点： 了解伺服电机、步进电机的原理和特点

教学难点： 了解伺服电机的三闭环控制

素质（思政）内容与要求：

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和

团队合作意识。

教学手段： 讲授、演示、提问

教学学时： 6

教学内容：

4.1 伺服电机

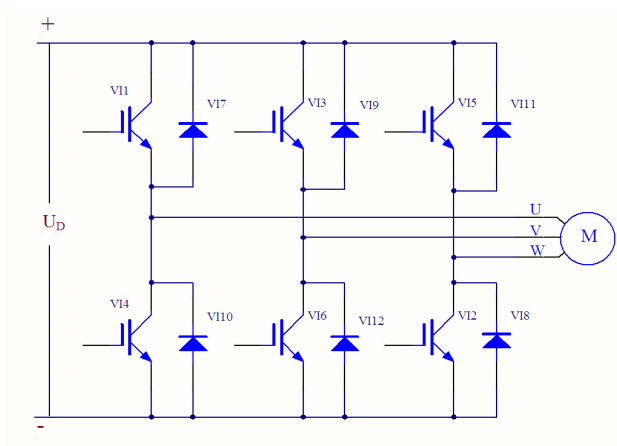
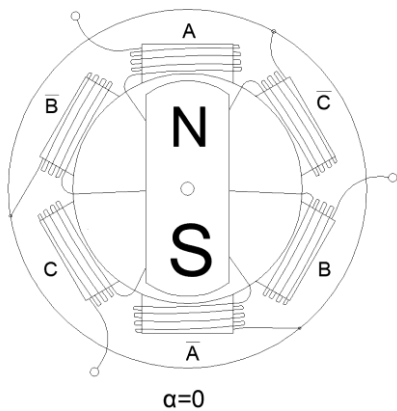
4.1.1 伺服电机的特点：

转速快、加速时间快、精度高

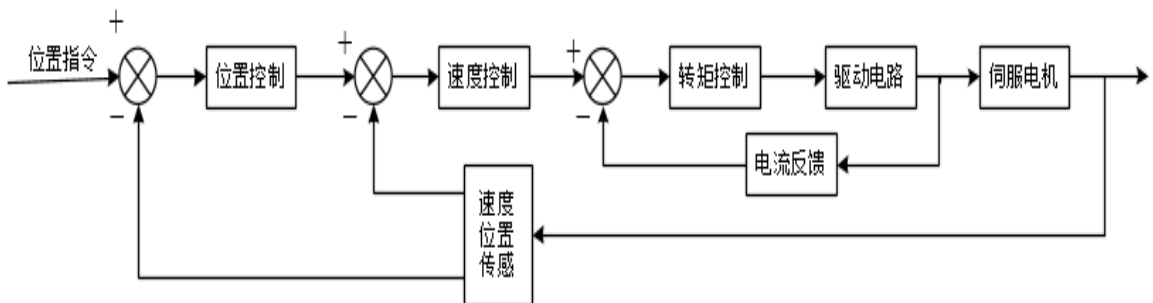
4.1.2 伺服电机的三种控制方式

- 转矩控制方式
- 速度控制方式
- 位置控制方式

4.1.3 伺服电机运行基本原理



4.1.4 伺服电机的三闭环控制



4.2 步进电机

4.2.1 步进电机的分类及构造

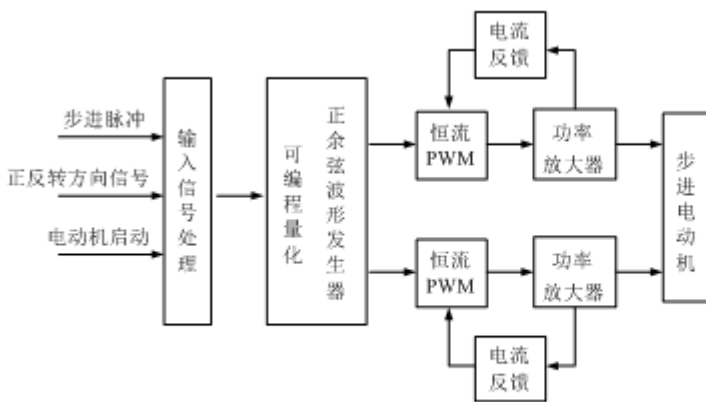
反应式：定子上有绕组、转子由软磁材料组成。结构简单、成本低、步距

角小，可达 1.2° 、但动态性能差、效率低、发热大，可靠性难保证。

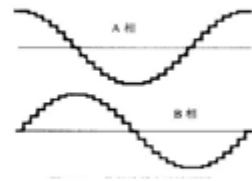
永磁式：永磁式步进电机的转子用永磁材料制成，转子的极数与定子的极数相同。其特点是动态性能好、输出力矩大，但这种电机精度差，步矩角大。

混合式：混合式步进电机综合了反应式和永磁式的优点，其定子上有多相绕组、转子上采用永磁材料，转子和定子上均有多个小齿以提高步矩精度。其特点是输出力矩大、动态性能好，步矩角小，但结构复杂、成本相对较高。

4.2.2 步进电机细分原理

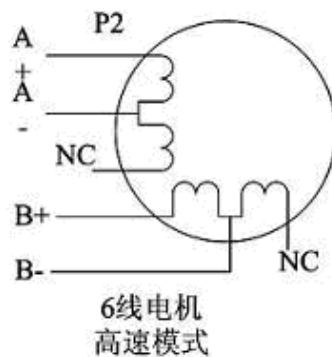
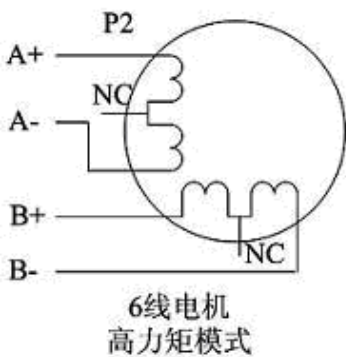
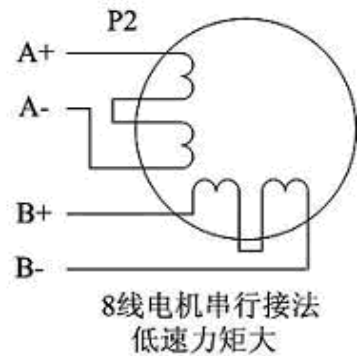
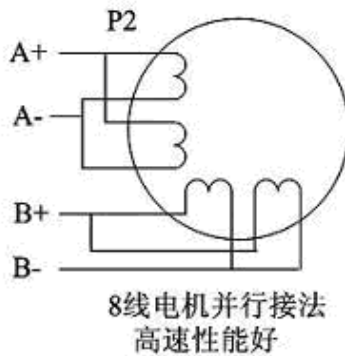
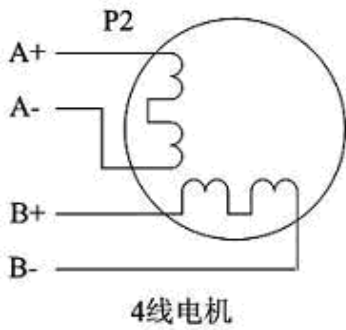


数字细分驱动电路结构原理框图



细分电流波形示意图

4.2.3 步进电机的使用



4.2.4 步进电机技术指标

步距角：每输入一个电脉冲转子转过的角度称为步距角。步距角的大小会直接影响步进电机的启动和运行频率，步距角小的一般启动、运行频率较高。

步距角精度：步进电机每转过一个步距角的实际值与理论值的误差。

最大空载启动频率：电动机在某种驱动形式、电压及额定电流下，空载能够直接起动的最大频率。

最大空载运行频率：电动机在某种驱动形式、电压及额定电流下，空载最高转速频率。

运行矩频特性：步进电机在某种测试条件下测得运行中输出力矩与频率关系的曲线称为运行矩频特性，这是步进电机动态曲线中最重要的，也是电动机选择的根本依据。矩频特性相当于直流电机或交流电机中的机械特性。

第5章 液压与气动控制技术

教学目标：

- 1.了解液压传动的特点、系统的构成。
- 2.掌握液压传动的工作原理、常用液压系统元件作用及图形符号。
- 3.掌握典型液压系统的分析方法。
- 4.了解气压传动的特点、系统的构成。
- 5.掌握气压传动的工作原理、常用气压系统元件作用及图形符号。
- 6.掌握典型气压系统的分析方法。
- 7.了解电液控制系统的组成及作用。

教学重点：了解液压传动和气压传动的特点、系统的构成。掌握液压传动和气压传动的工作原理、常用传动系统。

教学难点：掌握液压传动和气压传动的工作原理、常用传动系统。

素质（思政）内容与要求：

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。

教学手段：讲授、演示、提问

教学学时：6

教学内容：

5.1 液压传动

5.1.1 液压传功的基本知识

液压传动是以液体（通常是液油）作为工作介质，利用液体压力来传递动力和进行控制的一种传动方式。它通过各种元件组成不同功能的基本回路，再由若干基本回路有机地组合成具有一定控制功能的传动系统。例如，可将来自液压泵电动机的机械能转换为压力能，又通过管路、控制阀等元件，经执行元件（液压缸或液压马达）将液体的压力能转换成机械能，驱动负载和实现执行机构的运动。

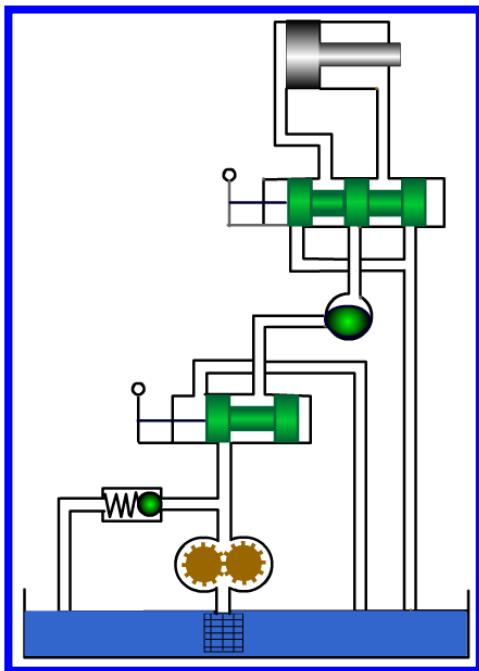
5.1.2 液压传动工作原理和特点

液压传动是以密闭系统内液体（液压油）的压力能来传递运动和动力的一种传动形式，其过程是先将原动机的机械能转换为便于输送的液体的压力能，再将液体的压力能转换为机械能，从而对外作功。

特点：

- (1) 用具有一定压力的液体来传动
- (2) 传动过程中必须经过两次能量转换
- (3) 传动必须在密封容器内进行，而且容积要发生变化

5.1.3 液压传动系统的组成



液压缸：带动工作台左右往复运动

油箱：储存液压液

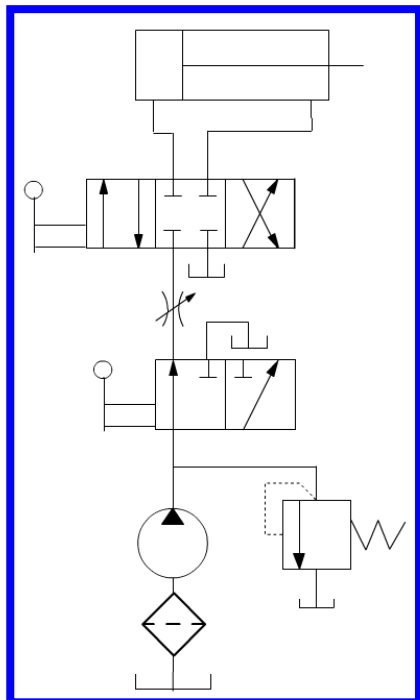
液压泵：由电动机驱动

过滤器：去除杂质

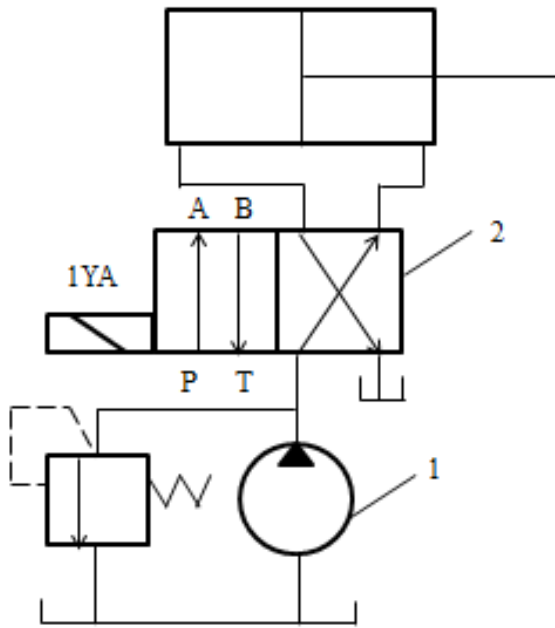
开停阀：起开停作用

换向阀：改变工作台运动方向

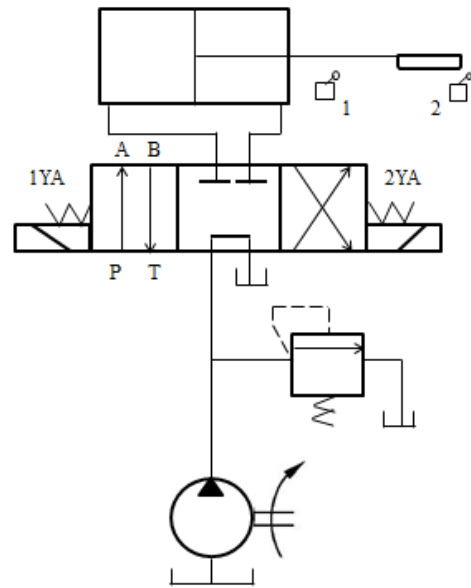
以机床工作台液压系统为例，主要包括动力元件、执行元件、控制调节元件、辅助元件、传动介质等五部分。符号表示：



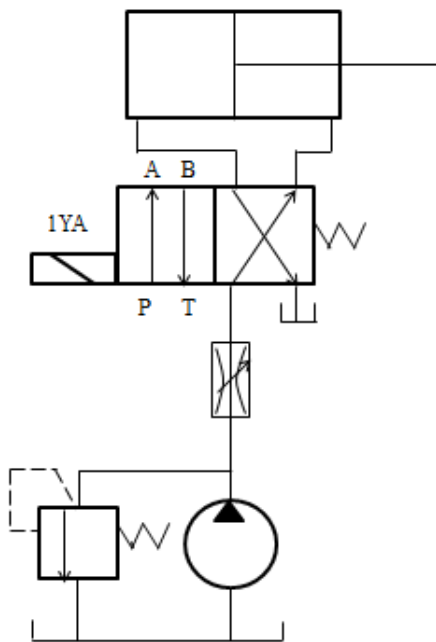
5.1.4 典型液压传动系统



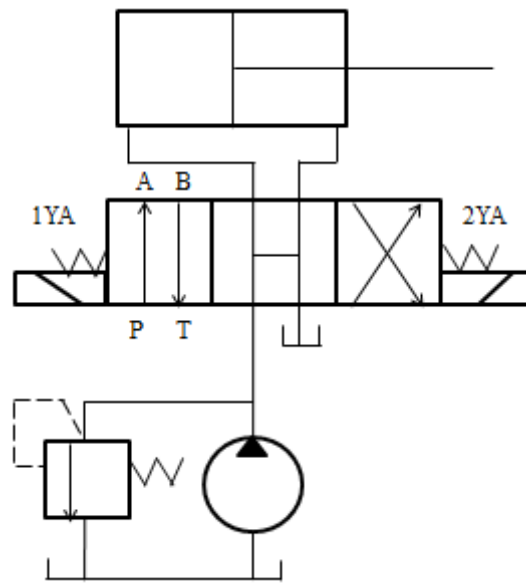
液压自动换向回路



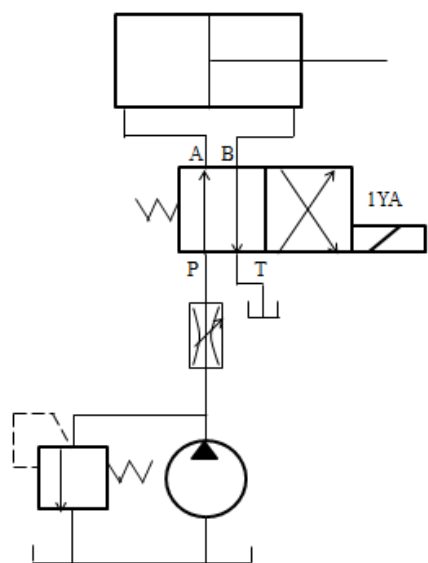
电磁换向阀换向回路



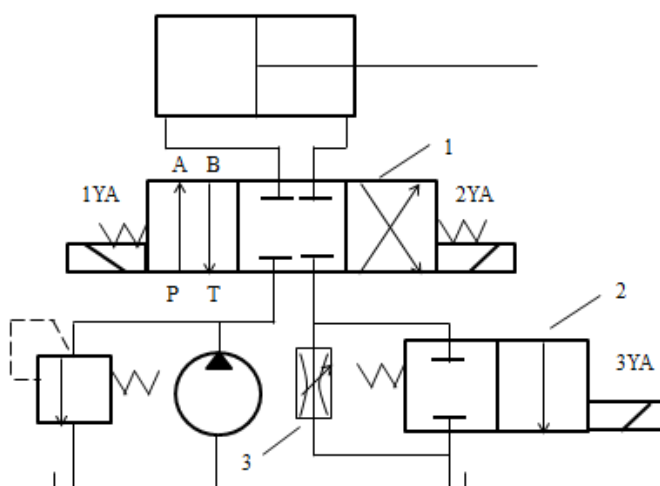
调压回路



卸荷回路



进油节流调速回路



速度换接回路

5.2 气压传动

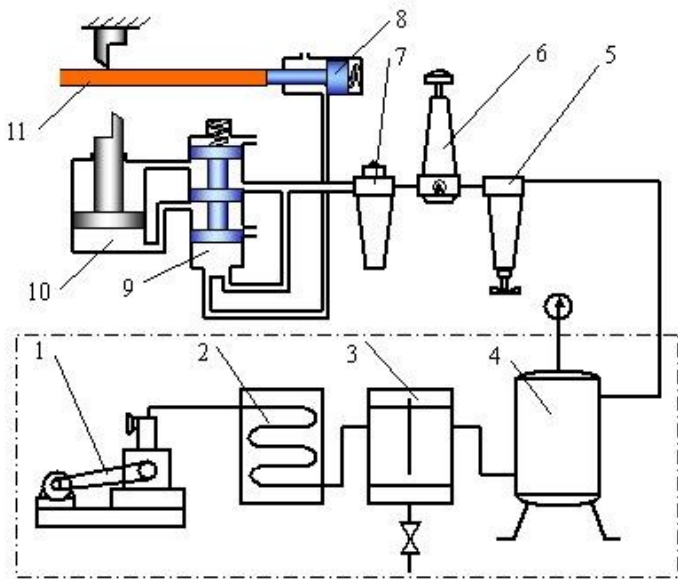
5.2.1 气压传动基本知识

气动技术是以压缩空气作为动力源驱动气动执行元件完成一定的运动规律的应用技术。

气动技术在工业生产中应用十分广泛，它可以应用于包装、进给、计量、材料的输送、工件的转动与翻转、工件的分类等场合，还可车、铣、钻、锯等机械加工的过程。

5.2.2 气压传动工作原理

气压传动系统的工作原理是利用空气压缩机将电动机或其它原动机输出的机械能转变为空气的压力能，然后在控制元件的控制和辅助元件的配合下，通过执行元件把空气的压力能转变为机械能，从而完成直线或回转运动并对外作功。

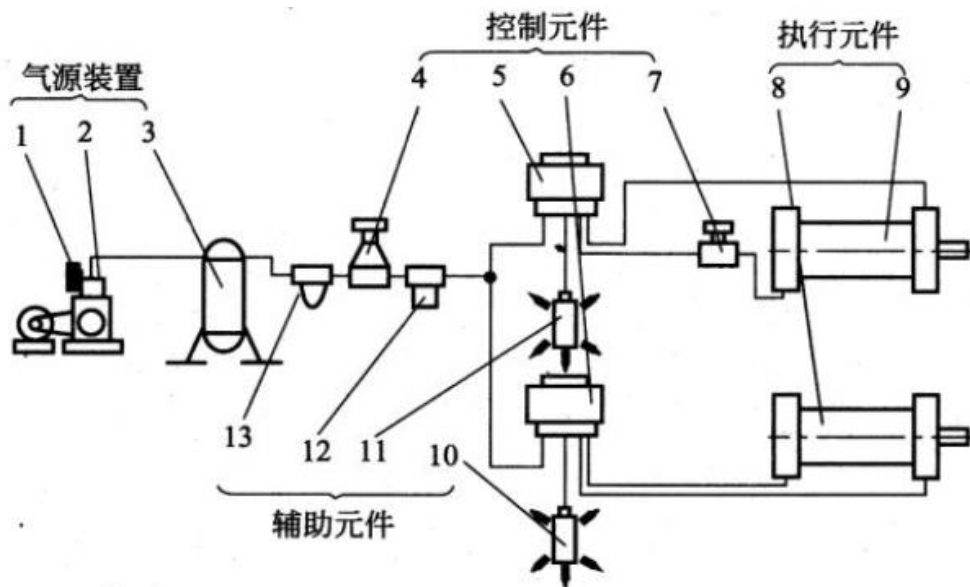


气动剪切机工作原理图



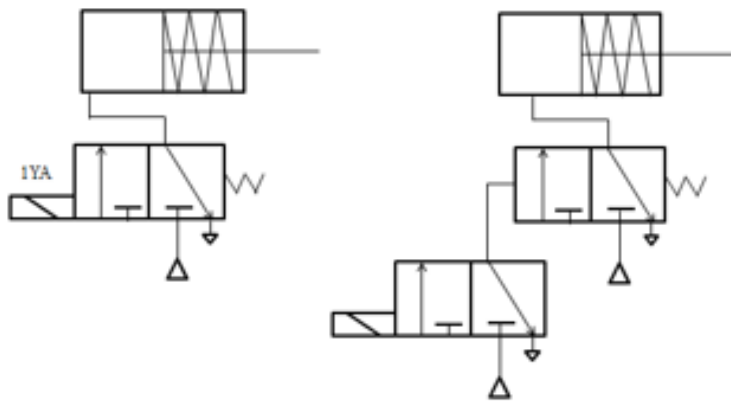
空气剪切机设备

5.2.3 气压传动系统的组成



- 1-安全阀 2-空气压缩机 3-储气罐 4-减压阀 5、6-换向阀
7-流量控制阀 8、9-气缸 10、11-消声器 12-油雾器 13-过滤器

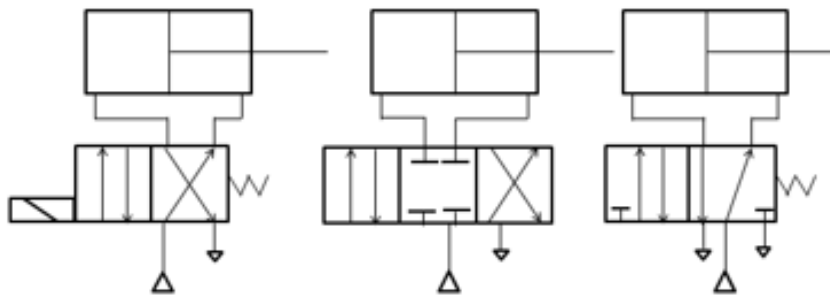
5.2.4 典型气压传动系统



(a) 单作用气缸直接控制换向回路

(b) 单作用气缸的间接控制换向回路

单作用气缸换向回路

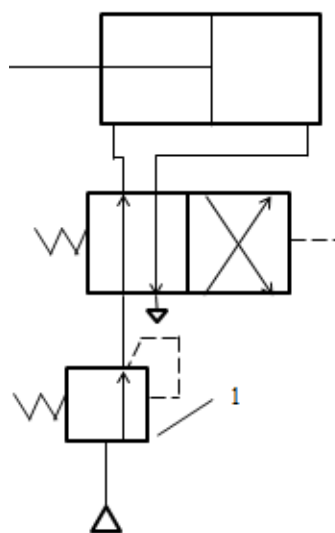


(a) 二位四通阀控制换向

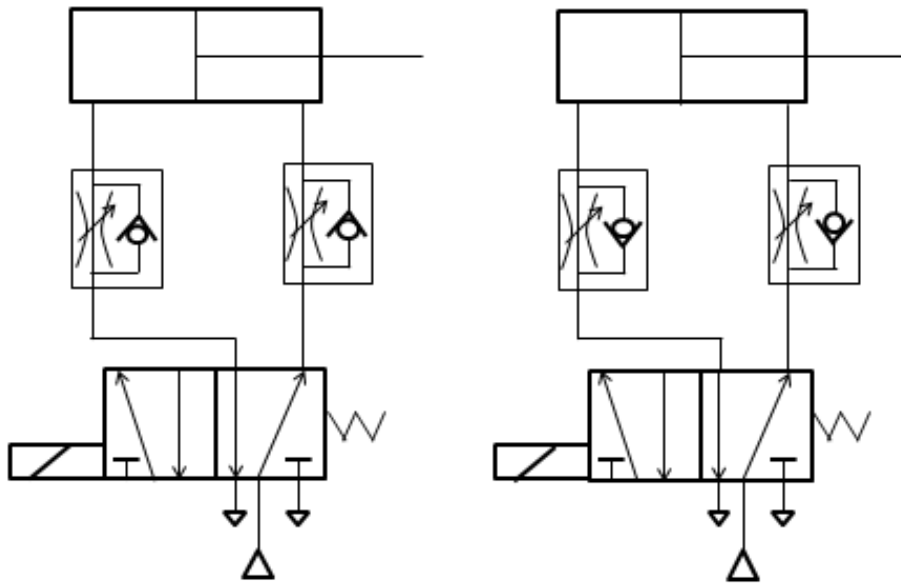
(b) 二位五通阀控制换向

(c) 三位四通阀控制换向

双作用气缸换向回路



常用调压回路



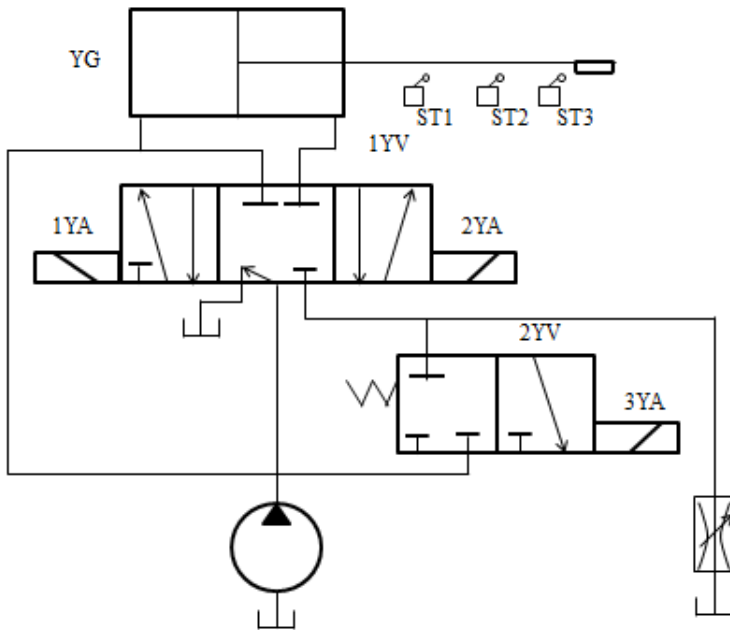
(a) 供气节流阀调速

(b) 排气节流阀调速

双向调速回路

5.3 电液控制回路

5.3.1 液压动力头系统控制



液压动力头一次工进进给液压系统原理图

电磁铁 动力头	1YA	2YA	3YA	转换指令
快进	+	-	+	SB1
工进	+	-	-	ST2
快退	-	+	-	ST3
停止	-	-	-	ST1

第 6 章 机械传动系统

教学目标：

- 1.了解机械传动系统的概念和分类。
- 2.掌握三种机械传动系统的设计方法。
- 3.掌握同步带传送的原理、结构和特点。

教学重点：掌握同步带传送的原理、结构和特点

教学难点：掌握同步带传送的原理、结构和特点

素质（思政）内容与要求：

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。
3. 培养学生的创新意识

教学手段：讲授、演示、提问

教学学时：3

教学内容：

6.1 机械传动系统概述

机械传动系统是指把动力机产生的机械能传送到执行机构上去的中间装置。

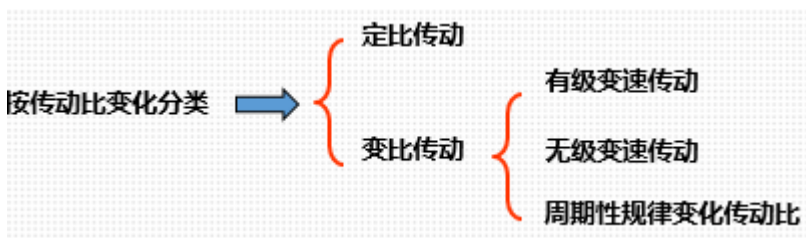
为了能准确高效完成传递转矩和转速的任务，确保机械系统的传动精度和工作稳定性、在设计传动系统时，需考虑以下几个指标：1.传动精度；2.响应速度；3.稳定性。

6.2 机械传动系统分类

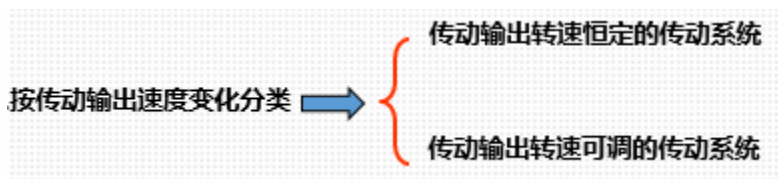
6.2.1.按工作原理分类



6.2.2.按传动比变化分类



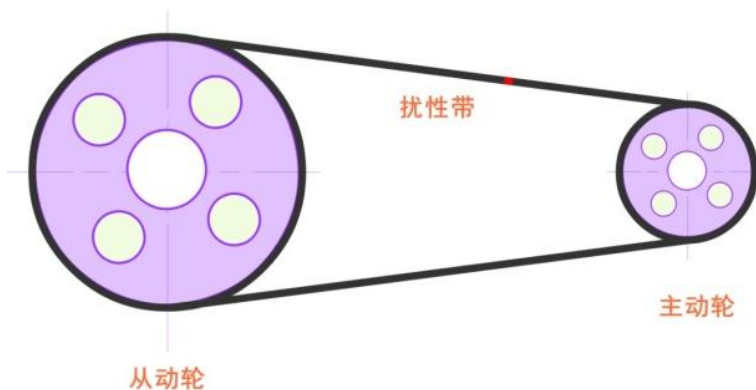
6.2.3.按传动输出速度变化分类



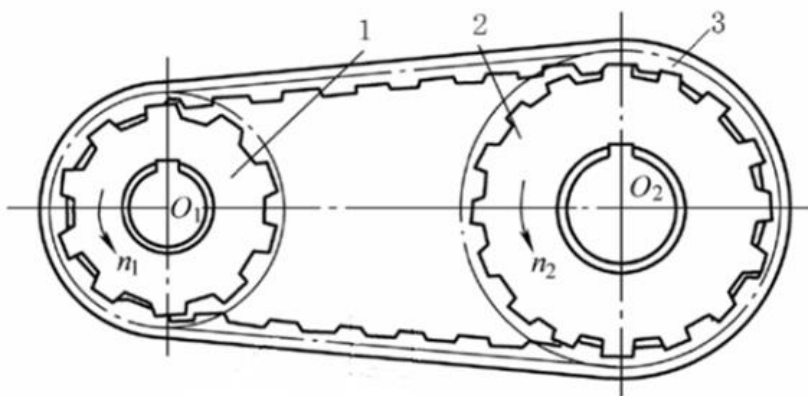
6.3 机械传动系统设计

6.3.1 带传动

【1】根据传动原理不同，带传动可分为摩擦型和啮合型两大类。



摩擦型结构：由主动轮、从动轮、紧套在两带轮上的传动带及机架组成，借助带与带轮接触面间的压力所产生的摩擦力来传递运动和动力。



1—主动轮 2—从动轮 3—传动带

啮合型结构：由主动同步带轮、从动同步带轮和套在两轮上的环形同步带组成，如图所示。这种带的工作面为齿形，与含齿的带轮进行啮合实现传动。

【2】带传动的优点

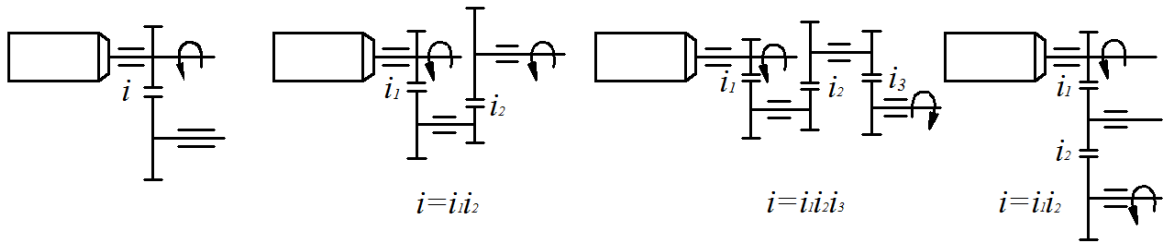
- 1) 具有良好的弹性，可缓冲、吸振，传动平稳、噪声小。
- 2) 适用于中心距较大的两轴间的传动。
- 3) 过载会发生打滑，防止其他零件损坏，起保护作用。
- 4) 结构简单，制造容易，维护方便，成本低。

【3】带传动的缺点

- 1) 外廓尺寸较大，不紧凑。
- 2) 存在弹性滑动，瞬时传动比不准确，传动精度低。
- 3) 效率较低，V带的传动效率 $=0.87\sim 0.96$ ，带的寿命较短。
- 4) 工作时需要张紧装置，支承带轮的轴及轴承受力较大。
- 5) 不适用于高温、易燃及有腐蚀介质的场合。

6.3.2 齿轮传动

齿轮传动具有瞬时传动比不变、传动精确度高，能承受重载，结构紧凑，摩擦力小和效率高等优点，在机电一体化产品中得到了广泛的应用。常用的齿轮减速装置有一级、二级、三级等传动形式，如图 6-7。



常用减速装置传动形式

齿轮传动链的级数及各级传动比的最佳分配原则：

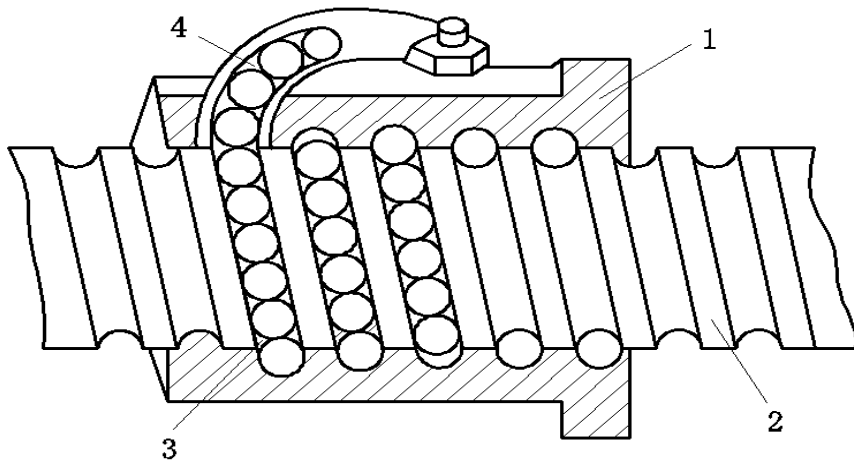
- (1) 重量最轻原则
- (2) 输出轴转角误差最小原则
- (3) 等效转动惯量最小原则

对齿轮传动装置的设计，应根据具体的工作条件综合考虑：1.对于传动精度要求高的降速齿轮传动链，采用输出轴转角误差最小原则设计；2.对于要求运转平稳、频繁启动和动态性能好的伺服传动装置，常用最小等效转动惯量原则和输出轴转角误差最小原则设计；3.对于有质量要求的其它传动装置用重量最轻原则。

6.3.3 滚珠丝杠螺母副传动

【1】滚珠丝杠副的工作原理及特点

滚珠丝杠副的结构如图所示，丝杠转动时，滚珠在滚道内既自转又沿滚道转动，从而迫使螺母（丝杠）轴向移动。当滚珠沿滚道滚动数圈后，通过回程引导装置，逐个地滚回到丝杠和螺母之间，形成闭合回路。

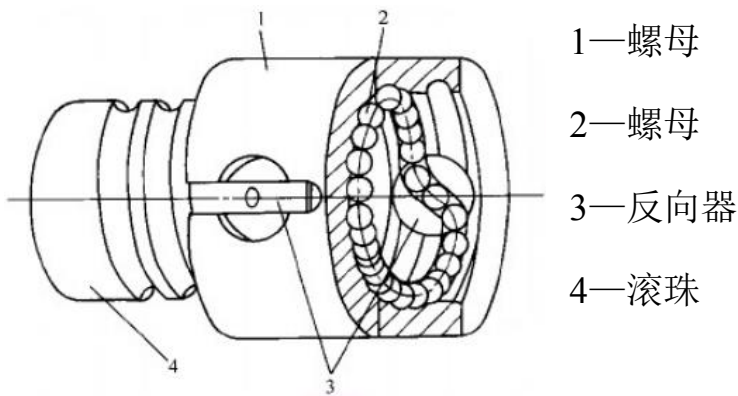


1—螺母 2—丝杠 3—滚道 4 回程引导装置

滚珠丝杠结构原理示意图

【2】滚珠循环方式

① 内循环：滚珠在循环的过程中始终与丝杠表面保持接触。一般在同一螺母上装有 2~4 个反向器，反向器沿螺母周围方向均匀分布。



1—螺母

2—螺母

3—反向器

4—滚珠

② 外循环：螺旋槽式结构简单，径向尺寸也小，缺点是挡珠器刚度差，容易磨损。插管式结构简单，制造容易，但径向尺寸较大，同时用弯管端部作为挡珠器比较容易磨损。端盖式结构紧凑，工艺性好，但当滚珠通过短槽时容易卡住。

第7章 工业机器人

教学目标:

- 1.了解工业机器人的定义、结构和特点。
- 2.掌握工业机器人两种关键技术。
- 3.了解工业机器人主要技术参数。

教学重点: 掌握工业机器人两种关键技术

教学难点: 掌握工业机器人两种关键技术

素质（思政）内容与要求:

- 1.加强社会主义核心价值观教育，培养学生的社会责任感；
- 2.引导学生形成积极向上的学习态度，培养学生的自主学习能力和团队合作意识。
3. 培养学生的创新意识

教学手段: 讲授、演示、提问

教学学时: 3

教学内容:

7.1 工业机器人的基础知识

7.1.1 工业机器人定义

日本工业机器人协会: 机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置，通过可编程序动作来执行各种任务并具有编程能力的多功能机械手。这个定义实际上针对了当前应用最广的工业机器人。

中国科学家: 机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备

一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高级灵活性的自动化机器。

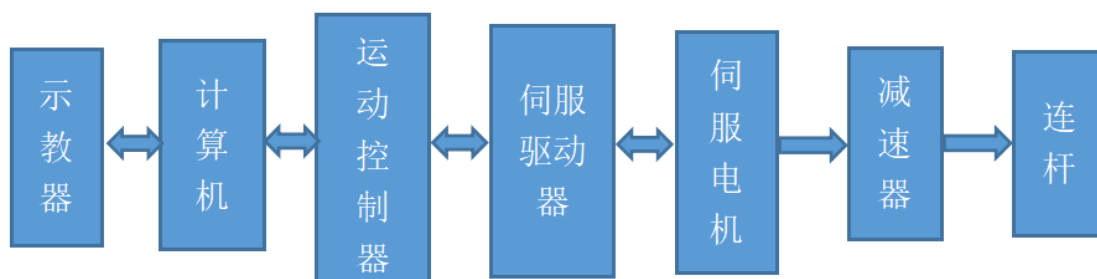
联合国标准化组织：一种可编程和多功能的操作机；或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。

7.1.2 工业机器人机身结构



典型的工业机器人由工具，工业机器人手臂，控制柜，控制面板，示教器以及其他外围设备组成。

7.1.3 工业机器人信息流程



7.1.4 工业机器人特点

可编程、拟人化、通用性、机电一体化

7.2 工业机器人关键技术

7.2.1 控制系统

控制系统包括硬件和软件两部分:硬件就是工业控制板卡,包括一些 CPU 主控单元、信号处理、网络通信部分等电路;软件部分主要是操作系统、控制算法、二次开发等。

组成:

- 1) 控制计算机:一般为微型机,处理器有 32 位、64 位;
- 2) 示教器:示教机器人的工作轨迹和参数设定,实现人机交互操作;
- 3) 操作面板:由各种操作按键、状态指示灯构成;
- 4) 存储器;
- 5) 数字和模拟量输入输出接口;
- 6) 打印机接口:记录需要输出的信息;
- 7) 传感器接口:用于信息的自动检测,实现机器人柔顺控制;通信接口;RS332、RS485、工业以太网接口、DeviceNet 等多种现场总线接口。

控制系统主要功能有:

- 1) 记忆功能:存储作业顺序、运动轨迹、运动方式、运动速度和

生产工艺有关的信息；

- 2) 示教功能：离线编程，在线示教，间接示教；
- 3) 通过通信接口与外围设备联系；
- 4) 坐标设置功能：一般有关节、绝对、工具、用户四种坐标系；
- 5) 人机接口：示教盒、操作面板、显示屏；
- 6) 传感器接口：位置检测、视觉、触觉、力觉等；
- 7) 故障诊断安全保护功能：运行时系统状态监视、故障状态下的安全保护和故障自诊断。

7.2.2 伺服系统

由伺服电机、伺服驱动器、编码器三部分组成，有以下要求：

- 1) 快速响应性，伺服系统的灵敏性愈高，快速响应性能愈好；
- 2) 起动转矩惯量比大，在驱动负载的情况下，要求机器人的伺服电机起动转矩大，转动惯量小；
- 3) 控制特性的连续性和直线性，随着控制信号的变化，电机的转速能连续变化，有时还需转速与控制信号成正比或近似成正比，调速范围宽，能使用于 1:1000~1:10000 的调速范围。
- 4) 体积小、质量小、轴向尺寸短，以配合机器人的体形；
- 5) 能经受住苛刻的运行条件，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，并能在短时间内承受数倍过载。

7.3 工业机器人主要技术参数

- 1.自由度
- 2.工作空间
- 3.工作精度
- 4.最大工作速度
- 5.有效负载

			M-710iC/50	M-710iC/70	M-710iC/50H
机构			多关节型机器人		
控制轴数			6 轴 (J1, J2, J3, J4, J5, J6)		5 轴 (J1, J2, J3, J4, J5)
安装方式			地面安装, 顶吊安装(倾斜角)		地面安装, 顶吊安装
动作范围	J1 轴	上限	180° (3.14rad)	180° (3.14rad)	180° (3.14rad)
		下限	-180° (-3.14rad)	-180° (-3.14rad)	-180° (-3.14rad)
	J2 轴	上限	135° (2.35rad)	135° (2.35rad)	135° (2.35rad)
		下限	-90° (-1.57rad)	-90° (-1.57rad)	-90° (-1.57rad)
	J3 轴	上限	280° (4.88rad)	280° (4.88rad)	280° (4.88rad)
		下限	-160° (-2.79rad)	-160° (-2.79rad)	-160° (-2.79rad)
	J4 轴	上限	360° (6.28rad)	360° (6.28rad)	117° (2.04rad)
		下限	-360° (-6.28rad)	-360° (-6.28rad)	-117° (-2.04rad)
	J5 轴	上限	125° (2.18rad)	125° (2.18rad)	360° (6.28rad)
		下限	-125° (-2.18rad)	-125° (-2.18rad)	-360° (-6.28rad)
	J6 轴	上限	360° (6.28rad)	360° (6.28rad)	
		下限	-360° (-6.28rad)	-360° (-6.28rad)	
最大动作速度 (注释 1)	J1 轴		175°/s (3.05rad/s)	160°/s (2.79rad/s)	175°/s (3.05rad/s)
	J2 轴		175°/s (3.05rad/s)	120°/s (2.09rad/s)	175°/s (3.05rad/s)
	J3 轴		175°/s (3.05rad/s)	120°/s (2.09rad/s)	175°/s (3.05rad/s)
	J4 轴		250°/s (4.36rad/s)	225°/s (3.93rad/s)	175°/s (3.05rad/s)
	J5 轴		250°/s (4.36rad/s)	225°/s (3.93rad/s)	720°/s (12.57rad/s)
	J6 轴		355°/s (6.20rad/s)	225°/s (3.93rad/s)	
可搬运质量	手腕部		50kg	70kg	50kg
	J3 外壳上 (注释 2)		15kg	15kg	15kg
手腕部允许 负载力矩	J4		206N•m (21kgf•m)	294N•m (30kgf•m)	150N•m (15.3kgf•m)
	J5		206N•m (21kgf•m)	294N•m (30kgf•m)	68N•m (6.9kgf•m)
	J6		127N•m (13kgf•m)	147N•m (15kgf•m)	
手腕部允许 负载转动 惯量	J4		28kg•m ² (286kgf•cm•s ²)	28kg•m ² (286kgf•cm•s ²)	6.3kg•m ² (64.3kgf•cm•s ²)
	J5		28kg•m ² (286kgf•cm•s ²)	28kg•m ² (286kgf•cm•s ²)	2.5kg•m ² (25.5kgf•cm•s ²)
	J6		11kg•m ² (112kgf•cm•s ²)	11kg•m ² (112kgf•cm•s ²)	
驱动方式			使用 AC 伺服电机进行电气伺服驱动		
重复定位精度			±0.07mm		±0.15mm
机器人质量			560kg	560kg	540kg
噪声			71.3dB (注释 3)		