

第六章 机器人控制技术

 6.1 机器人控制系统概述

 6.2 机器人单关节位置控制

 6.3 机器人非线性前馈控制

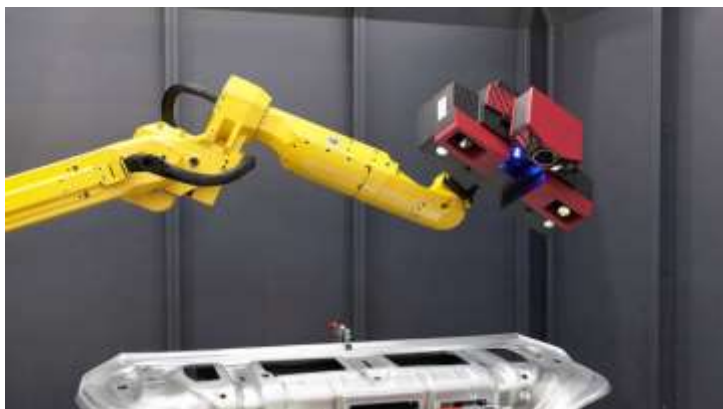
 6.4 机器人力控制

教学导入

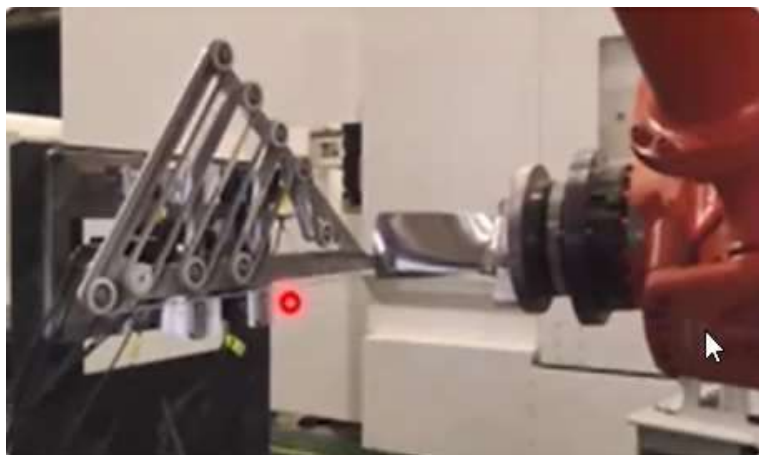
□ 观察下列机器人作业过程是否需要与环境接触？采用什么样的控制方式？



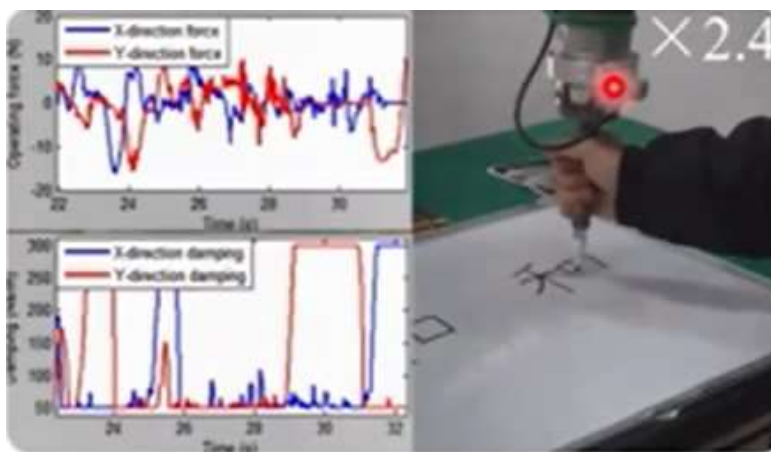
汽车喷漆机器人



视觉检测机器人



抛光打磨机器人



书法机器人

□ 与外界环境无接触作业，机器人仅需实现良好的轨迹控制

□ 与外界环境接触作业

存在轨迹
跟踪误差

跟踪误差
变大

机器人
末端损坏

控制输出
变大

与环境接触情况下，机器人不仅需要有运动控制，还需要有相应的力控制

6.6.1 力-力矩传感器

□ 力传感器：一种能将各种力和力矩信息转换成电信号输出的装置。

按工作原理分：电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式等

按安装部位分：关节式传感器、腕部传感器和手指式传感器

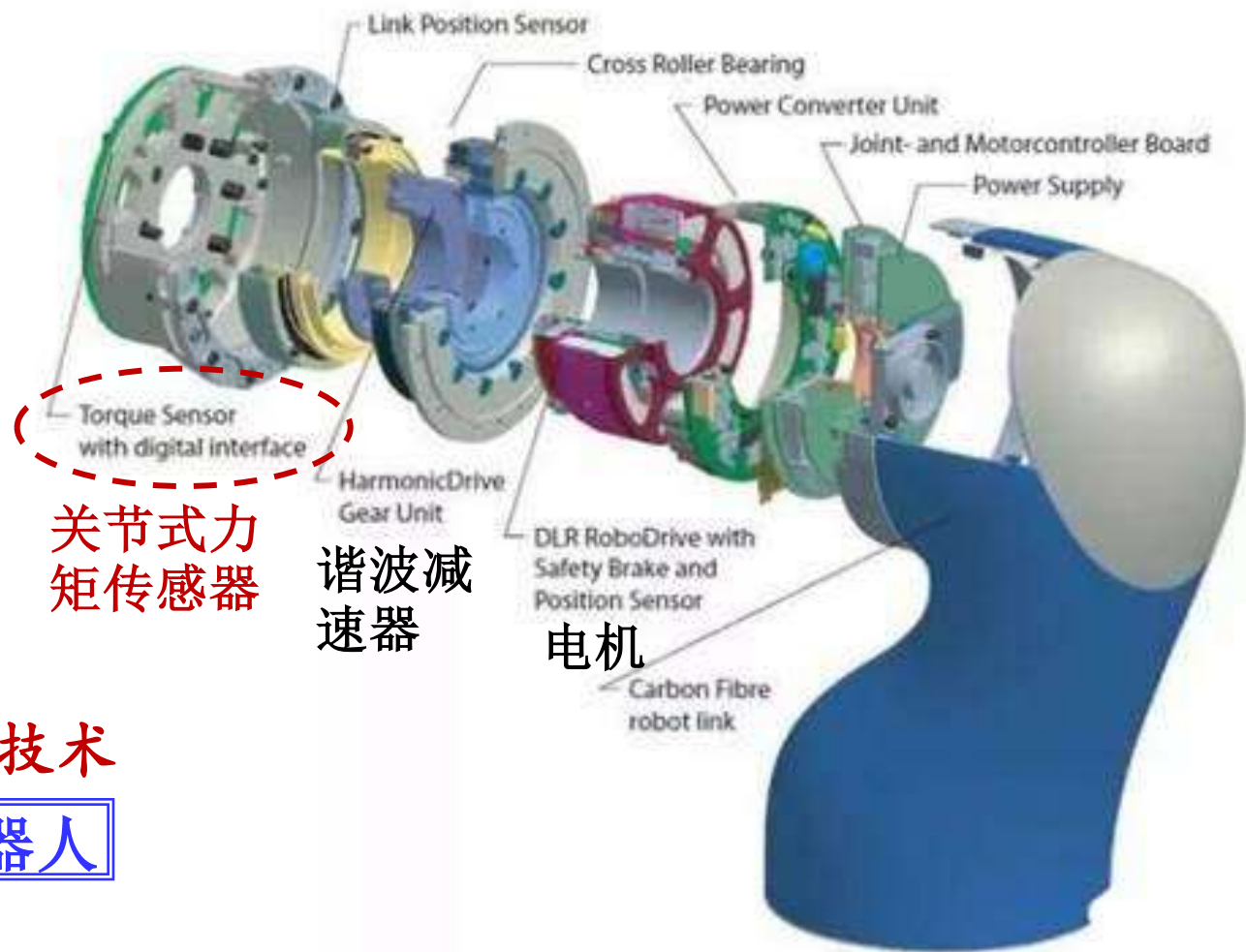
按测力维数分：单维力传感器和 多维力传感器

重点讨论：关节式力矩传感器 和 腕部六维力传感器。

国际上对腕部传感器的研究从20世纪70年代开始，主要研究单位有美国的DRAPER实验室、SRI研究所、IBM公司和日本的日立公司、东京大学等。

6.6.1 关节式力矩传感器

□ **关节式力矩传感器**：将扭转力矩引起的物理变化转换成精确的电信号，从而形成对机器人单关节力矩的测量和记录。

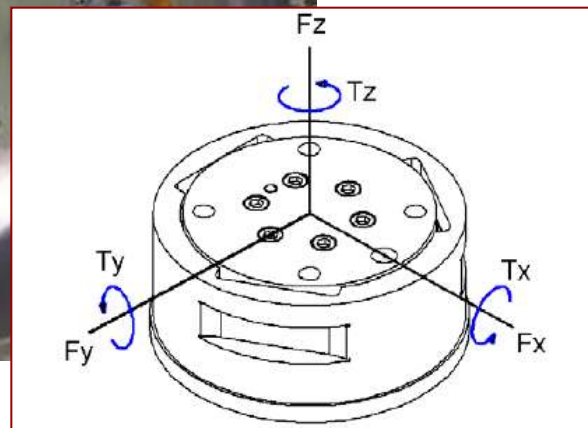
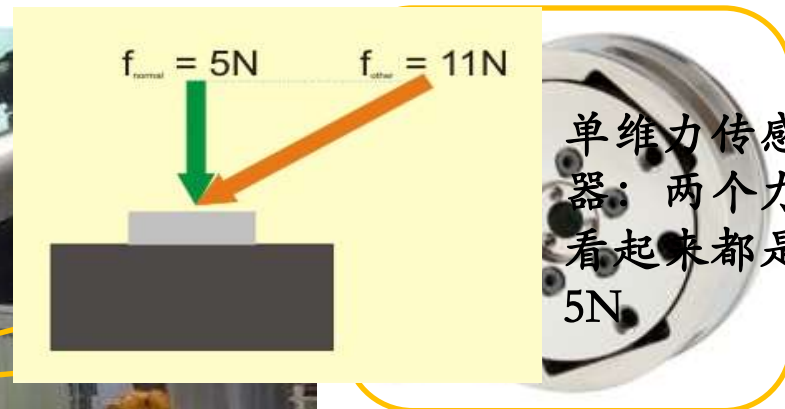
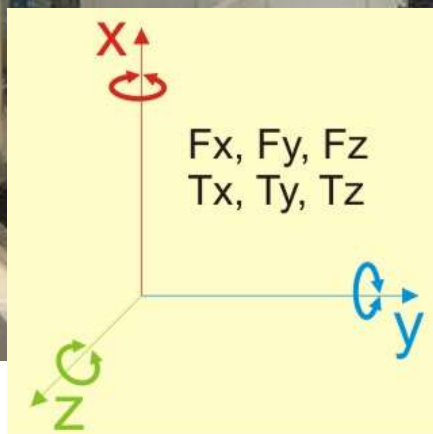


原理：应变测量技术

KUKA-iiwa机器人

6.6.1 六维力传感器

□ **六维力传感器**：能够同时测量机器人末端执行器笛卡尔坐标系下三个力分量和三个力矩分量的力传感器，是目前使用最为广泛的多维力传感器。

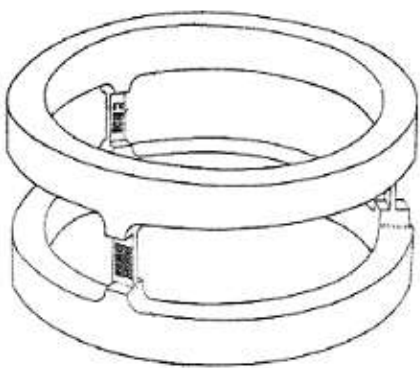


六维力传感器

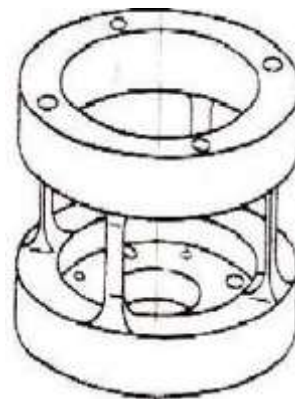
和ATI

6.6.1 六维力传感器

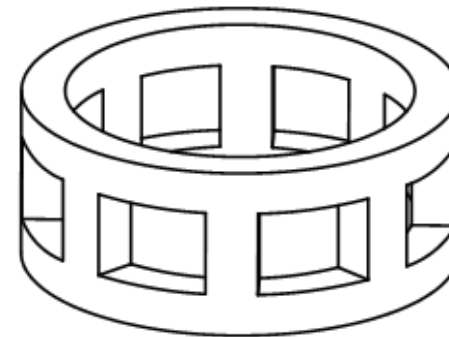
□ 六维力传感器的结构 原理：多采用电阻应变测量技术



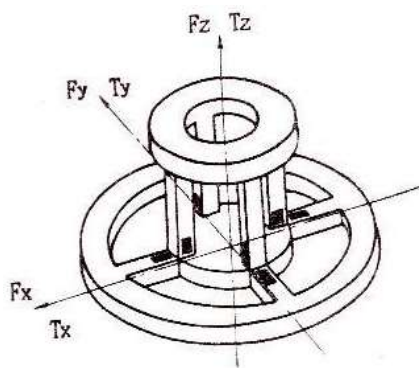
3 竖直支承



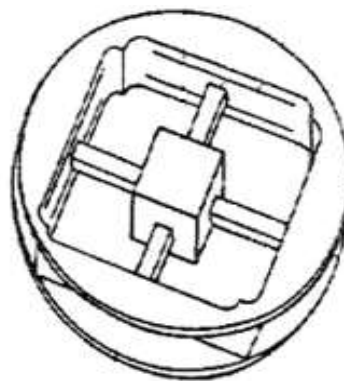
4 竖直支承



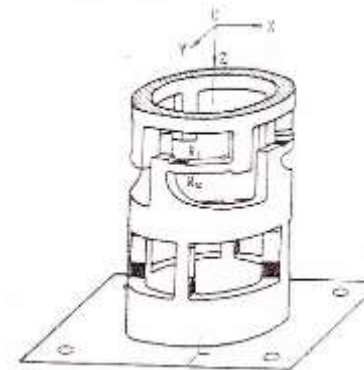
8 竖直支承



双环形



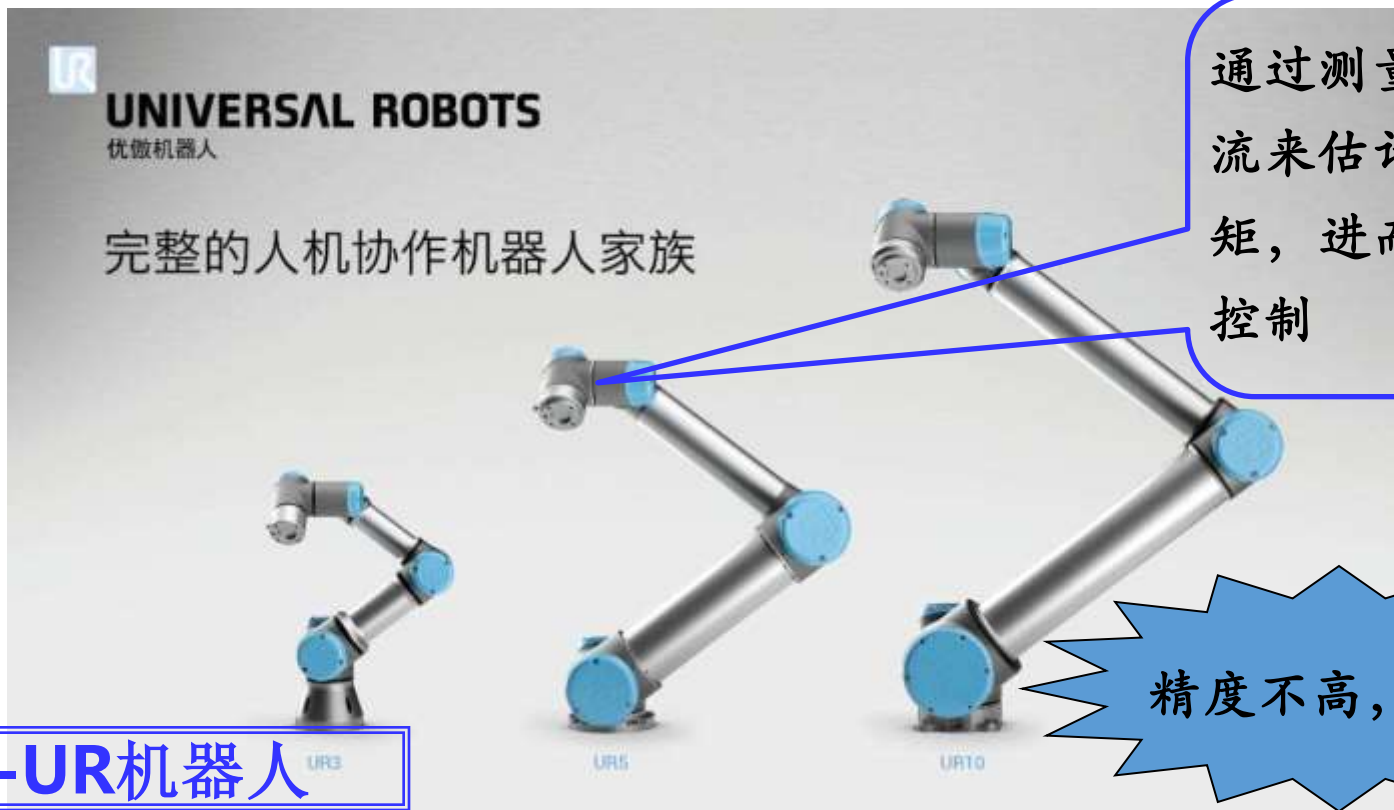
十字叉式



圆筒形

6.6.1 无传感器力估计

□ **无传感器力估计**：在**没有力传感器的情况下**利用**关节电机电流对机器人关节力矩**进行估计，或者采用观测器根据机器人动力学模型对机器人末端力和力矩进行估计。



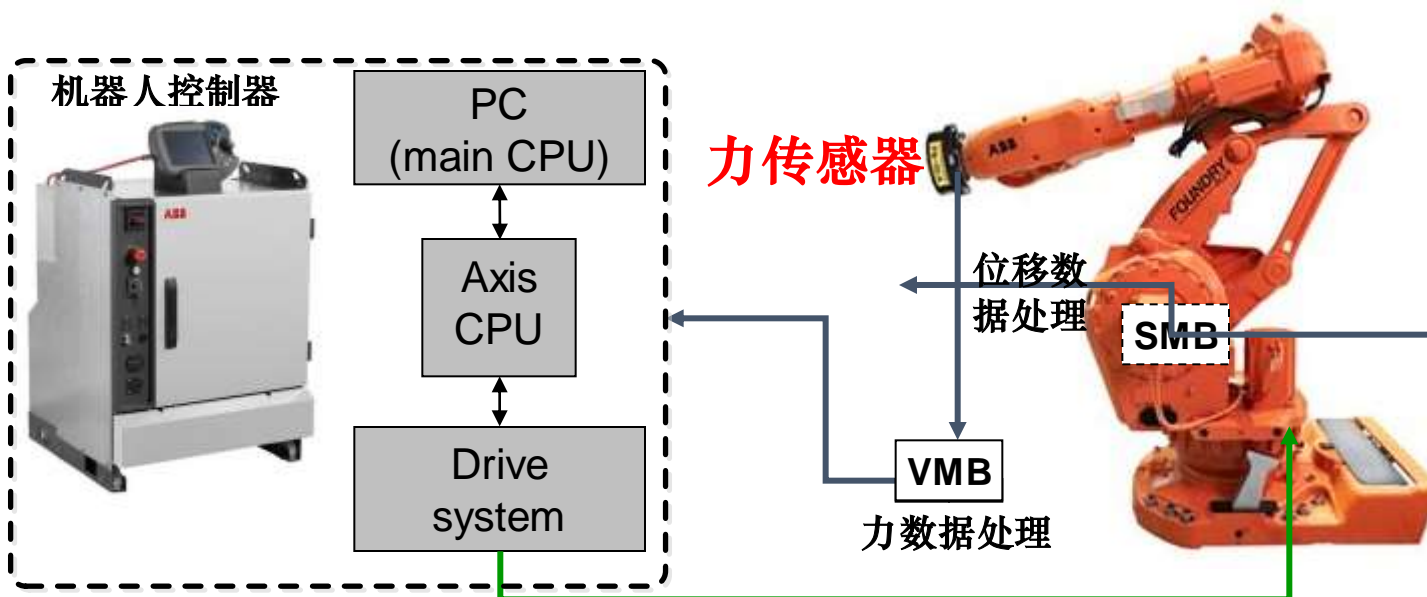
概述

□ **力控制原理**：机器人通过力传感器检测与外部环境的接触力，并借助运动控制实现对力的控制，实现对不确定环境的顺应性；或直接对接触力进行控制，使得接触力达到期望值。

□ **间接力控制**：通过运动控制来实现对力的控制，并不需要力反馈闭环。

顺应控制、阻抗控制

□ **直接力控制**：通过力反馈闭环来控制接触力达到期望数值。力位混合控制



6.4.1 顺应控制(Compliance Control)

- 顺应性：机器人对外界环境变化适应的能力。
- 当机器人与外界环境接触时，即使环境发生了变化，如零件位置或尺寸的变化，机器人仍然与环境保持接触，保持预定的接触力。
- 顺应控制对机器人在复杂环境中完成任务是很重要的。例如：装配，铸件打毛刺，旋转曲柄，开关带铰链的门或盒盖，拧螺钉等。



6.4.1 顺应控制(Compliance Control)

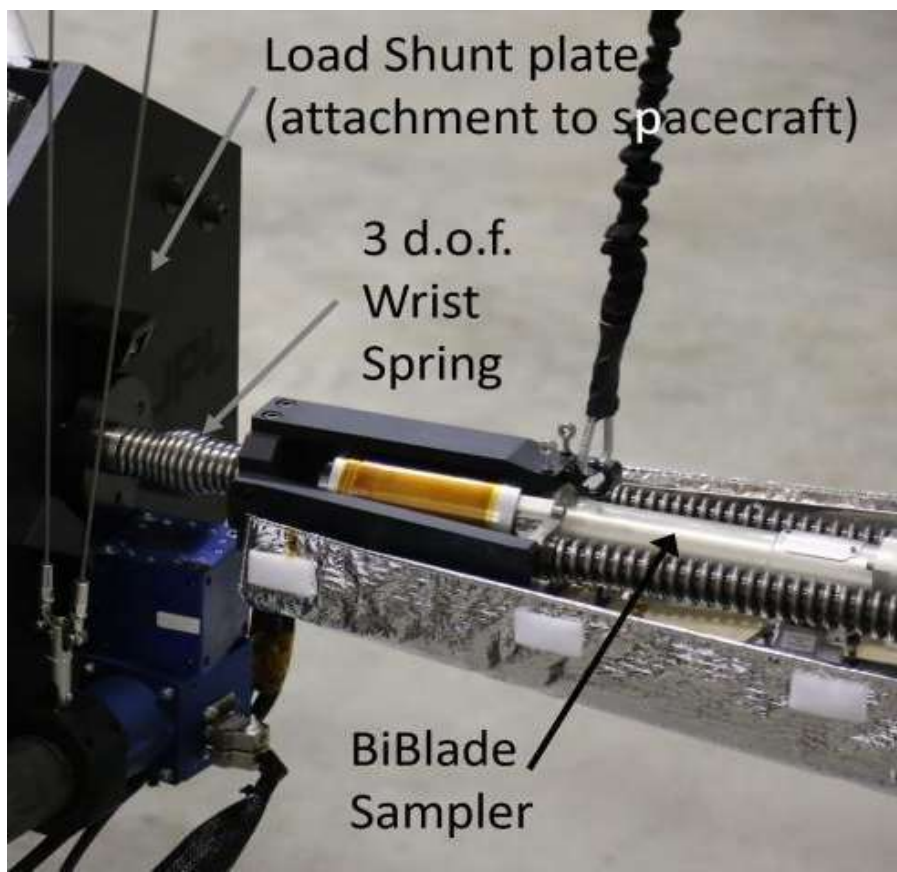
- **顺应控制原理**：顺应控制又叫依从控制、柔顺控制、柔量控制，它是在机器人末端执行器受到外部环境约束的情况下，通过对**机器人刚度的被动或者主动调整**，实现对机器人末端执行器的**位置和力双重控制**。



完成装配任务时，
要避免零件被卡住
或损坏

6.4.1 顺应控制的分类：被动顺应控制

- **被动顺应控制系统**：具有弹性类型动力学特性的机械系统。
- **被动顺应控制目标**：设计柔性机械装置并安装在机械手的腕部，用来提高机械手顺应外部环境的能力，通常称之为柔顺手腕。

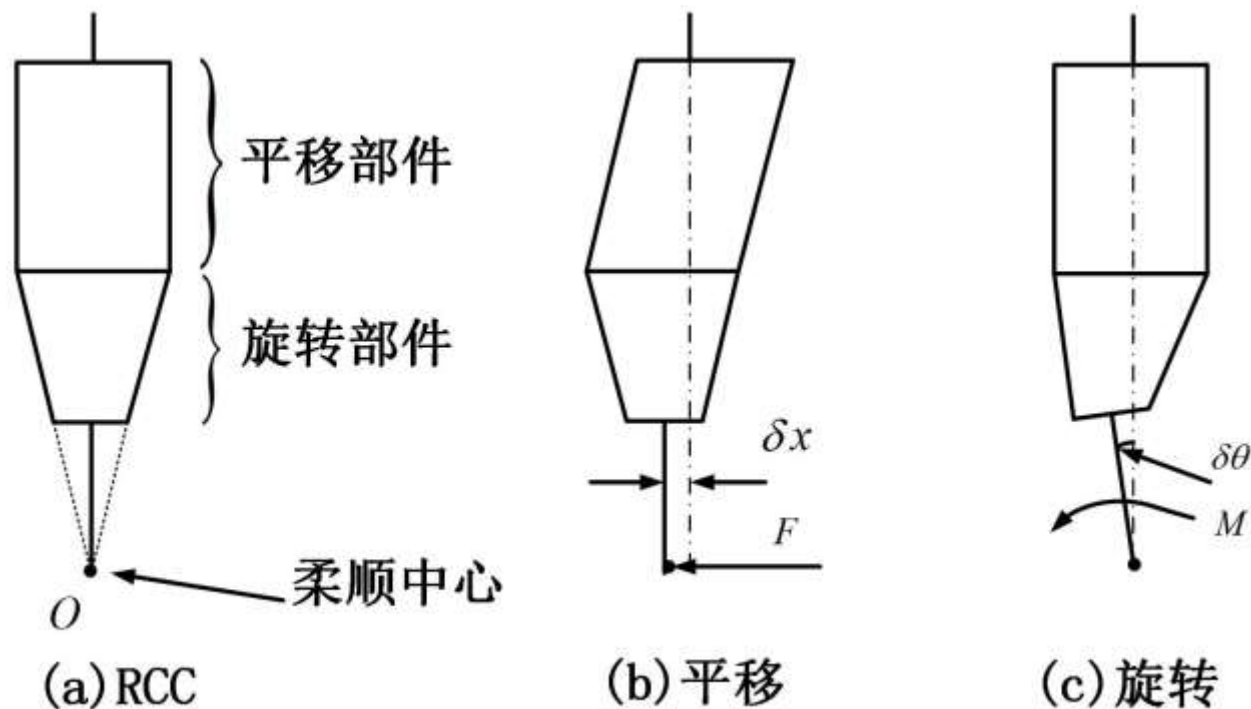


被动顺应控制装置示意图

6.4.1 被动顺应装置原理

被动顺应装置的结构类型繁多，**RCC**（Remote Center Compliance，远中心柔顺手腕）无源机械装置是比较成熟、典型的一种。

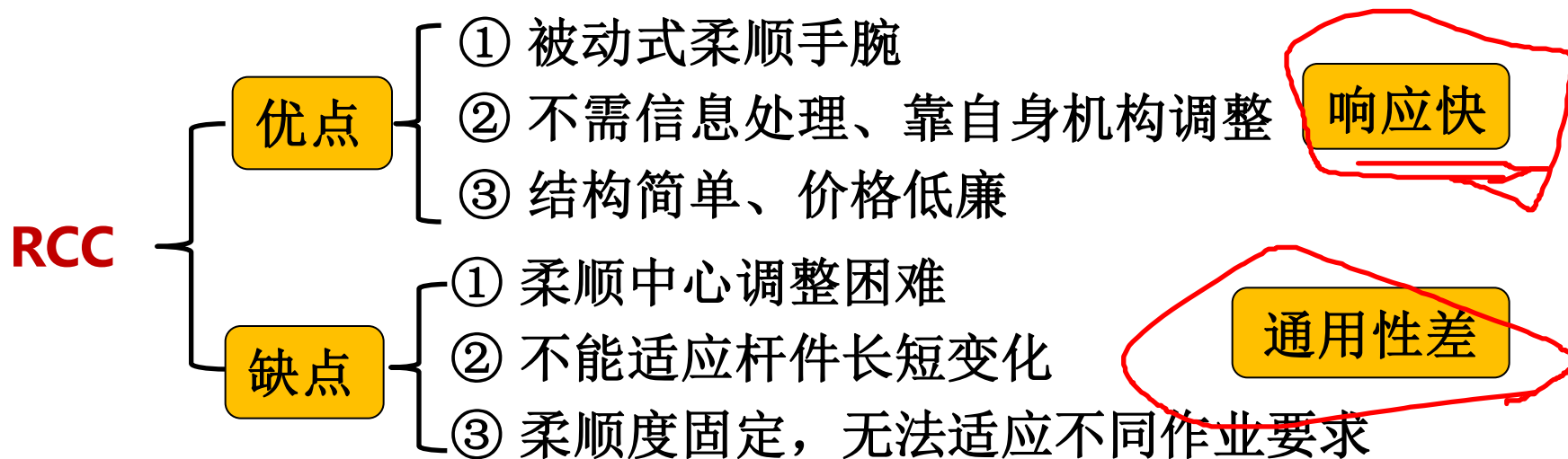
□ **RCC**：由铰链连杆和弹簧等弹性材料组成，具有良好消振能力和柔顺性。



偏移变形补偿线性误差
旋转变形补偿角度误差

被动顺应装置特点

6.4.1 被动顺应装置的特点



6.6.2 其他被动顺应装置

Benefits of Active Contact Flange

Intelligent force control
force profiles adjustable during process, precise and fast feedback control for high quality, gravity compensation
... best surface results



腾讯视频

奥地利FER-ACF：有源被动顺应装置

6.4.1 主动顺应控制

□ 机器人末端执行器刚度取决于关节伺服刚度、关节机构刚度和连杆刚度。

□ 主动顺应控制：

1. 根据末端执行器期望的刚度，计算所需的关节伺服刚度；
2. 设计位置伺服控制器，通过调节控制器中位置增益系数，使关节伺服刚度和末端执行器刚度与期望值相符。

★在选择末端执行器刚度矩阵 K 的元素时应注意什么？

★该矩阵元素与环境几何、机械特征相关，顺着环境方向取较大值，可提高控制精度；顺着机械手接触环境方向取较小值，增加顺应性。

6.4.1 主动顺应控制

□ 主动顺应控制：通过调节关节刚度改变末端执行器刚度的控制方法

1. 下文根据末端执行器预期刚度，计算所需要的关节刚度。

笛卡尔空间力

末端执行器力： $F = K \Delta X$

关节空间位置

笛卡尔空间与关节空间位移关系： $\Delta X = J(q) \delta q$

笛卡尔空间与关节空间力关系： $\tau = J(q)^T F$

联立可得： $\tau = J(q)^T K J(q) \delta q = K_q \delta q$

关节空间力

其中： K_q 表示关节空间等效力的刚度矩阵。关节力矩是关节角位移变化量的函数，使得机械手在位置控制作用下特性与广义弹簧单元相似。

$$K_q = J(q)^T K J(q)$$

得到关节刚度表达式！

6.4.1 主动顺应控制

2. 常规的关节位置控制器: $\tau = K_p e + K_v \dot{e}$

其中 $e = q_d - q$ 为关节伺服误差, K_p 和 K_v 为对角增益矩阵。

将 K_p 替换为关节空间等效刚度 $K_q = J(q)^T K J(q)$,

则设计关节位置控制器 $\tau = K_q e + K_v \dot{e} = J(q)^T K J(q) e + K_v \dot{e}$

通过改变控制器中 K 可实现机器人顺应控制。

- 末端刚度 K 是6*6的对角矩阵, 代表三个线性刚度和三个扭转刚度。
- 关节刚度 $K_q = J(q)^T K J(q)$ 通常不是对角矩阵。意味着关节 i 的驱动力矩 τ_i 不仅与 δq_i 相关, 也与 δq_j 相关。

6.4.1 其他顺应装置

Benefits of Active Contact Flange

腾讯视频

Intelligent force control
force profiles adjustable during process, precise and fast feedback control for high quality, gravity compensation

... **best surface results**



The diagram illustrates the benefits of an Active Contact Flange (ACF) system. It features two images: the top image shows a robotic arm with a grinding head, and the bottom image shows a manual grinding process. A large white arrow points from the manual process to the robotic system, indicating the transition to automated, intelligent force control. The text highlights that the system allows for adjustable force profiles and fast feedback control, leading to high-quality surface results.

奥地利FER-ACF: 有源被动顺应装置

概述

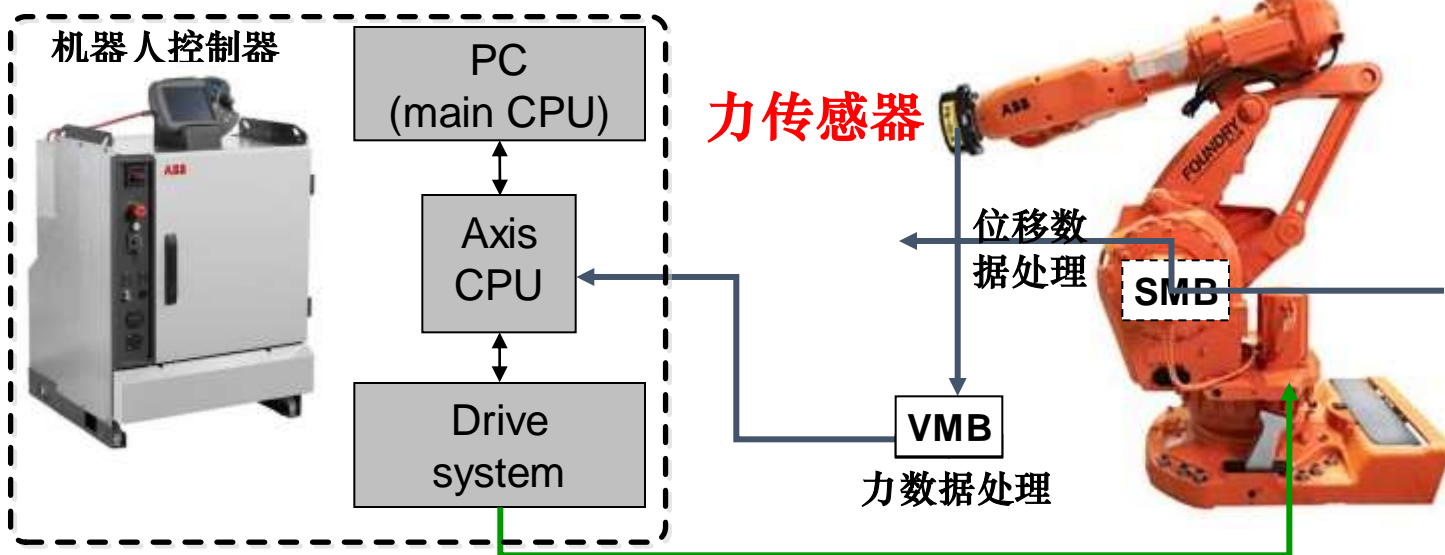
□ **力控制原理**：机器人通过力传感器检测与外部环境的接触力，并借助运动控制实现对力的控制，实现对不确定环境的顺应性；或直接对接触力进行控制，使得接触力达到期望值。

□ **间接力控制**：通过运动控制来实现对力的控制，并不需要力反馈闭环。

顺应控制分为主动顺应控制和被动顺应控制。

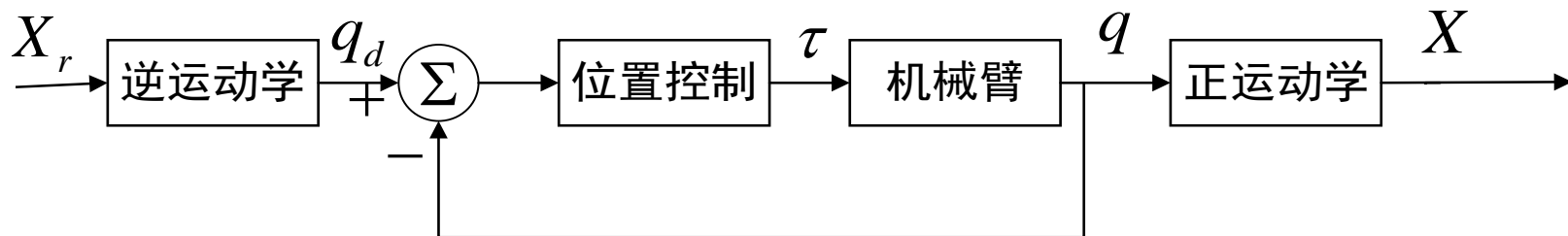
顺应控制：改变机器人刚度

阻抗控制：计算位置参考指令修正值



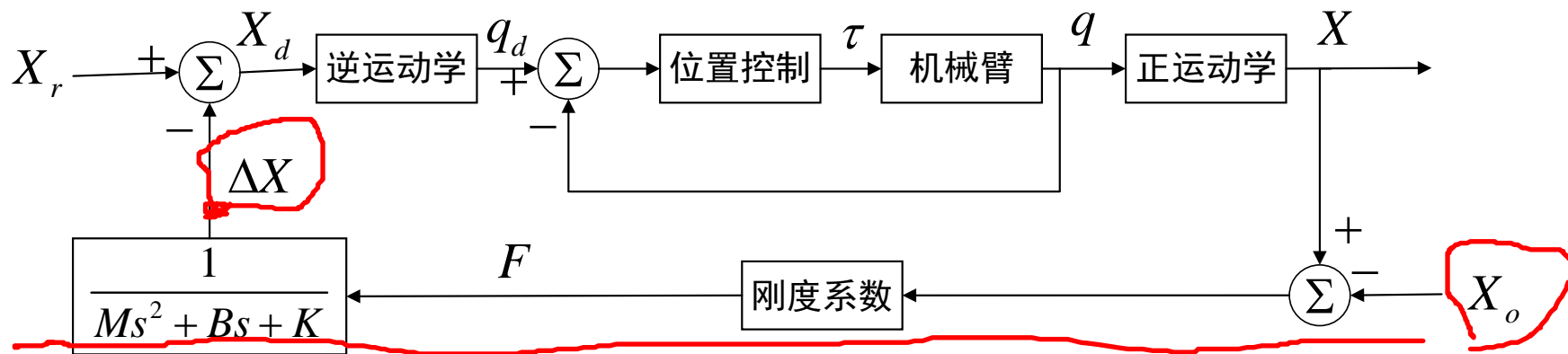
6.4.2 基于位置的阻抗控制

□ 位置控制:



单纯位置控制模式下，机械臂末端位置 X 跟踪 X_r ，不会随环境改变

□ 间接力控制—阻抗控制:



阻抗控制模式下，机械臂末端位置 $X \rightarrow X_r - \Delta X$ ，通过修正位置指令，实现环境的顺应性

6.4.2 基于位置的阻抗控制

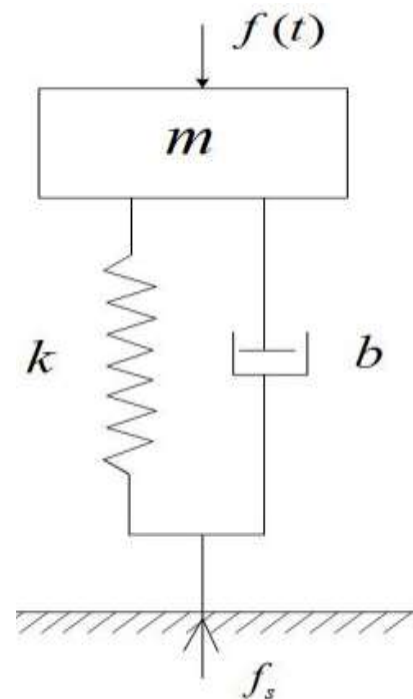
□ 计算位置参考指令的修正值 ΔX

$$\underline{X \rightarrow X_r} \longrightarrow \underline{X \rightarrow X_r - \Delta X}$$

□ 阻抗模型:

$$M \Delta \ddot{X} + B \Delta \dot{X} + K \Delta X = F$$

- 上式中 F 表示传感器采集的环境力和力矩;
- M 为惯量系数对角矩阵;
- B 为阻尼系数对角矩阵;
- K 为刚度系数对角矩阵;



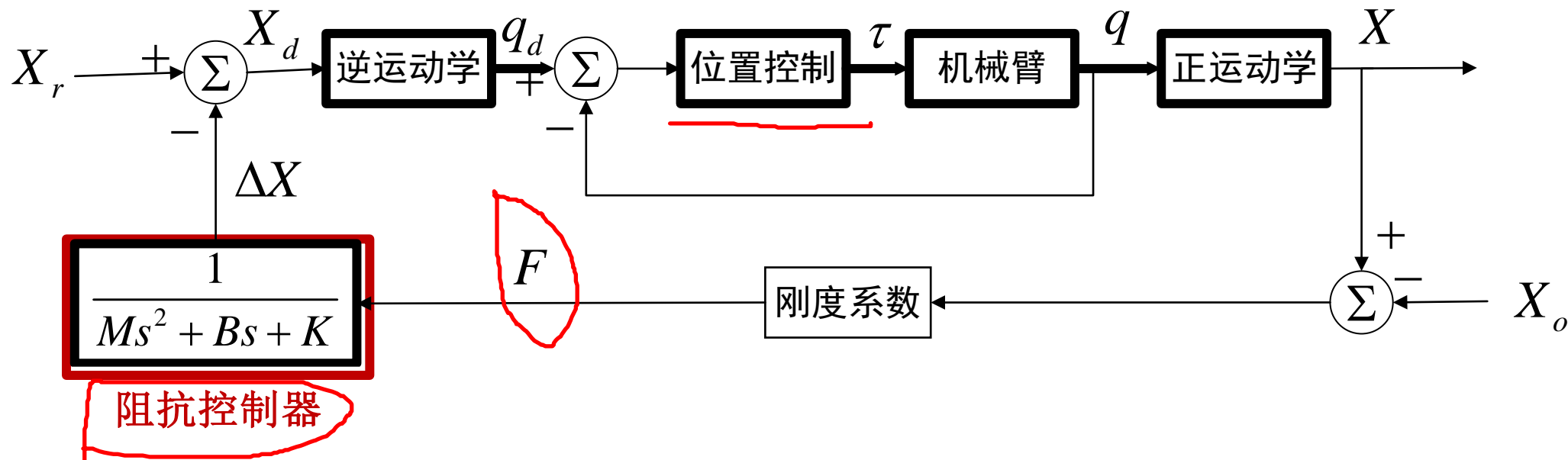
机械阻抗原理示意图

$$m \Delta \ddot{X} = f - b \Delta \dot{X} - k \Delta X$$

阻抗控制的目标是要通过调节机器人的机械阻抗以保持末端执行器的位置、末端执行器与环境之间的接触力的理想动态关系。

6.4.2 基于位置的阻抗控制

□ 阻抗控制:



- 步骤:
1. 读取传感器采集的环境力或结合环境刚度计算出环境力 F ;
 2. 固定阻抗参数, 将 F 输入阻抗控制器, 输出位置修正量 ΔX ;
 3. 计算出期望轨迹 X_d , 结合逆运动学计算期望关节角度 q_d ;
 4. 采集关节角度信息 q , 设计位置控制器。

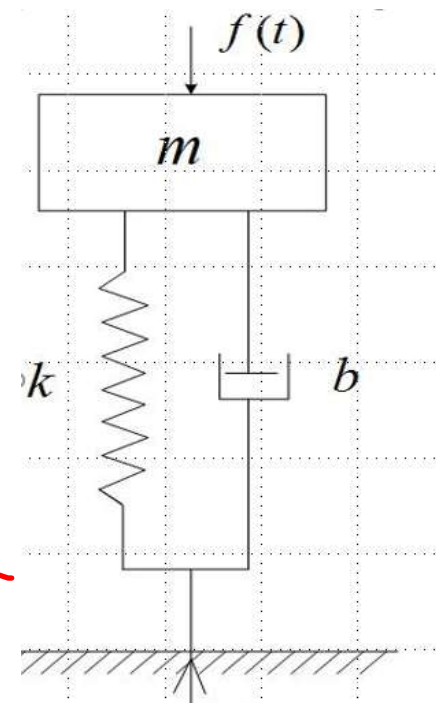
6.4.2 基于位置的阻抗控制

➤ 问题a: 阻抗参数 M , B , K 的选择原则。

阻抗参数 M : M 越大所需稳定接触力越大, 越小则稳定接触力越小, 需要在一定范围内调节才能保证系统稳定。

阻尼参数 B : 与响应时间相关。增大阻尼参数 B , 会导致响应时间变长, 响应速度变慢。过小的阻尼参数 B 会导致响应的超调变大。

刚度参数 K : 与机器人与环境接触时是呈现刚的特性还是呈现柔的特性相关。
增大 K , 会导致刚度变大。



6.4.2 一维阻抗控制实验

□ 基于**单轴的PID运动控制**和**线性阻抗控制**，可实现模组平台模拟弹簧的效果。



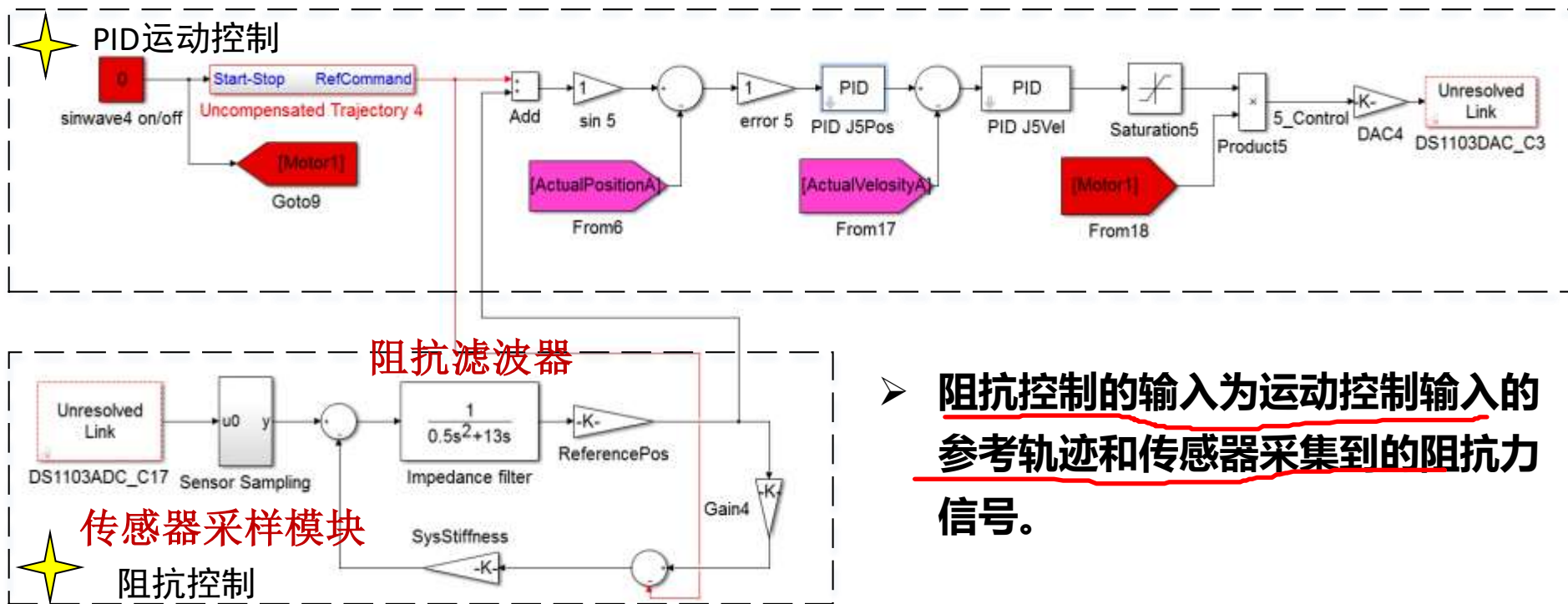
- 实验在单自由度直线模组上开展
- 利用**dSPACE**连接伺服驱动电机进行控制，在**dSPACE**内用**Matlab**的**Simulink**进行模块化编程从而实现力控制。

- **程序架构**分为：传感器采样部分、**阻抗控制部分**以及**PID运动控制部分**。
- **控制架构**分为：运动控制和阻抗控制。

6.4.2 一维阻抗控制实验

□ 实验过程:

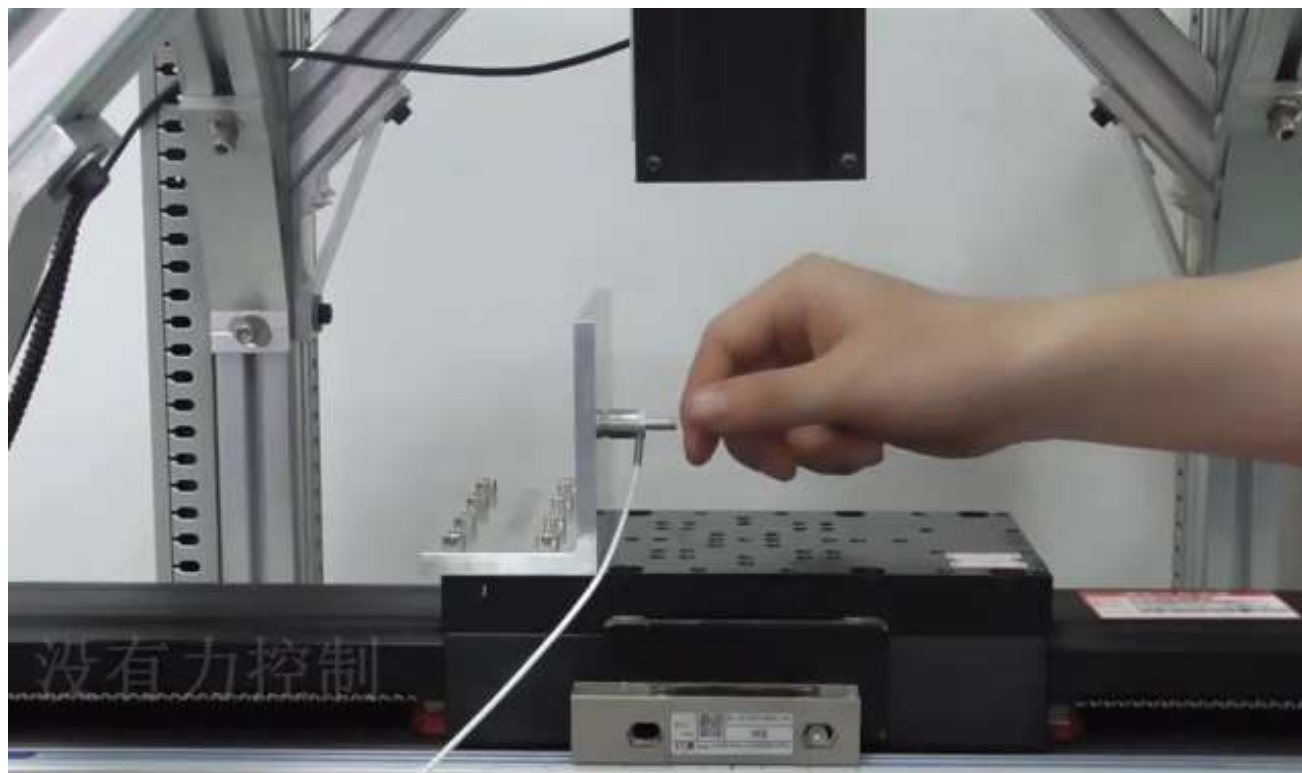
- (1) 首先由力传感器采样获取力信号，通过阻抗滤波器计算得到合理的顺应位置。
- (2) 最后通过PID运动控制使模组运动到该位置。



➤ 阻抗控制的输入为运动控制输入的参考轨迹和传感器采集到的阻抗力信号。

6.4.2 一维阻抗控制实验

- 引入阻抗控制后再推动传感器，会发现此时的模组平台模拟了弹簧的效果，会在输入力的影响下移动；
- 将力移除时，平台又会恢复到原先设定的零位。



首先不加入力控制，用手去推力传感器由于电机锁死，无法推动
然后加入力控制后再去推动，模组展现出柔顺性

6.4.2 六自由度机器人自由牵引实验

□ 六自由度机器人自由牵引实验

- 设备：六自由度柯马机器人
- 实验过程：通过六维腕力传感器采集力信号，作为阻抗控制的输入，并且定义机器人的期望位置就是当前位置。

□ 平移部分：

$$M_p = \text{diag}[1.5, 1.5, 1.5]$$

$$D_p = \text{diag}[33, 33, 33]$$

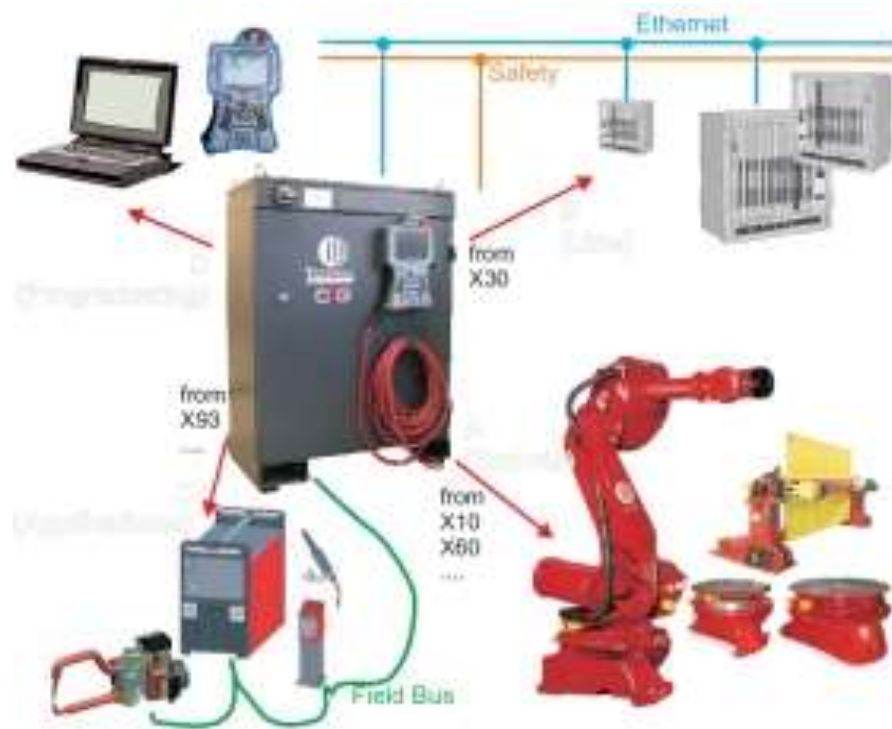
$$K_p = \text{diag}[118, 118, 118]$$

$$M_o = \text{diag}[400, 400, 400]$$

□ 旋转部分：

$$D_o = \text{diag}[5000, 5000, 5000]$$

$$K_o = \text{diag}[2000, 2000, 2000]$$



六自由度机器人自由牵引实验平台

6.4.2 六自由度机器人自由牵引实验



6.4.2 六自由度机器人自由牵引实验

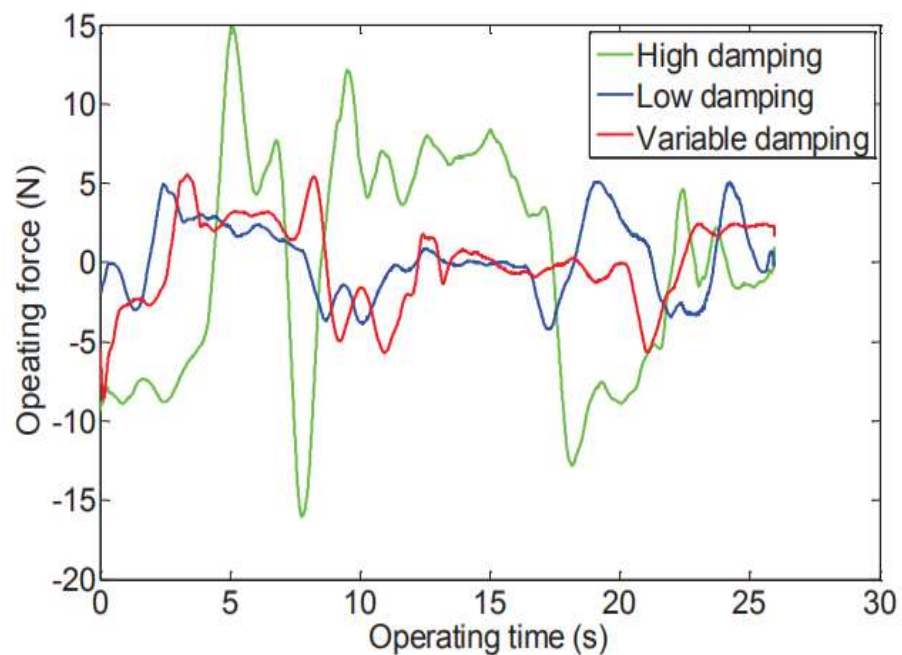
□ 借助于阻抗控制，当人手握住机器人末端执行器并对其施加相应的力和力矩时，可以牵引机器人按照人的想法改变其末端的位置和姿态。

➤ 根据以上自由牵引实验的结果可证明：

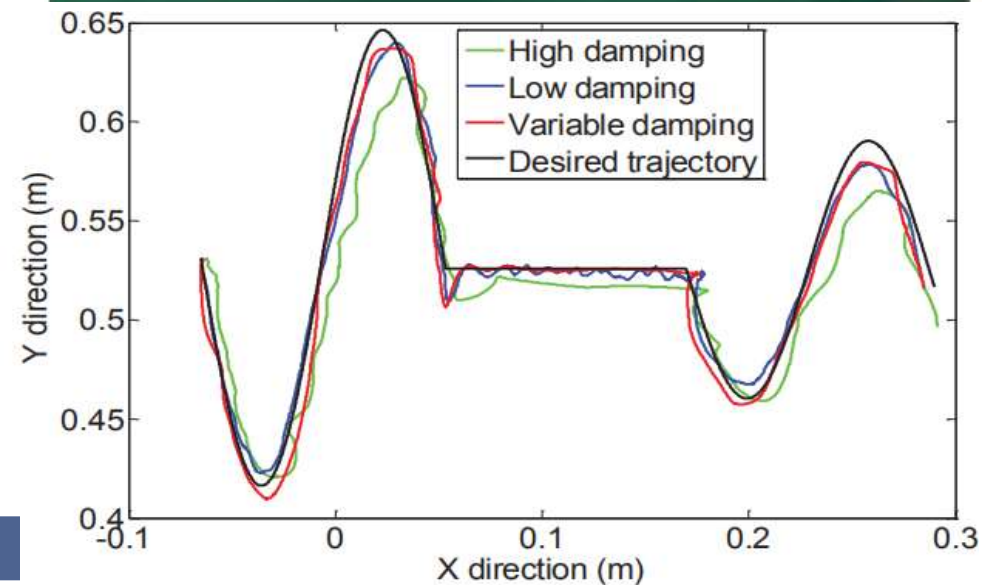
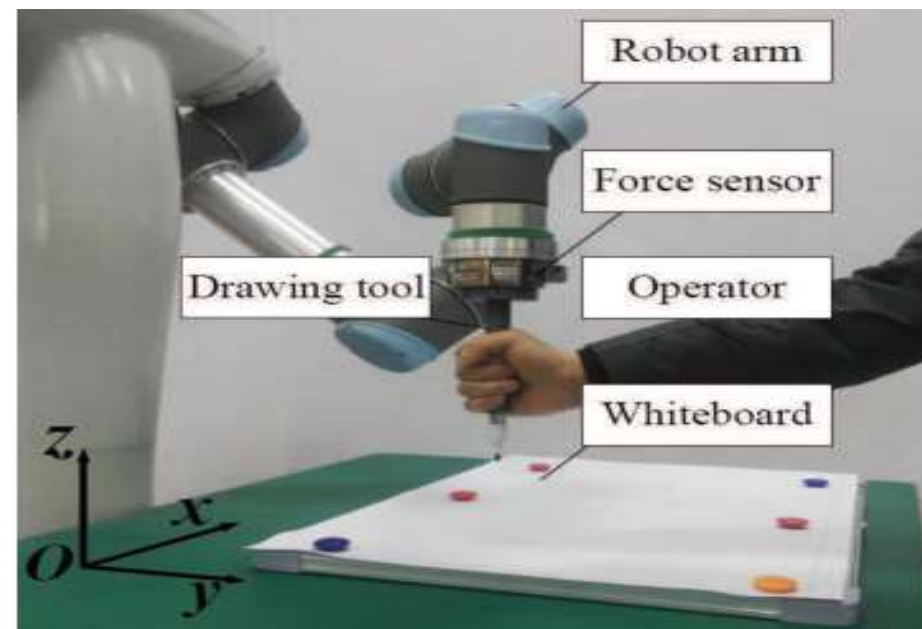
- ① 阻抗控制算法的引入，让机器人获得一定的顺应性，将阻抗控制与运动控制结合，可使机器人获得刚柔并济的特性。
- ② 在拖动的过程中，可以感受到阻抗控制让机器人简化为一个二阶系统时赋予机器人的惯性、阻尼和刚度。

6.4.2 变阻抗控制实验

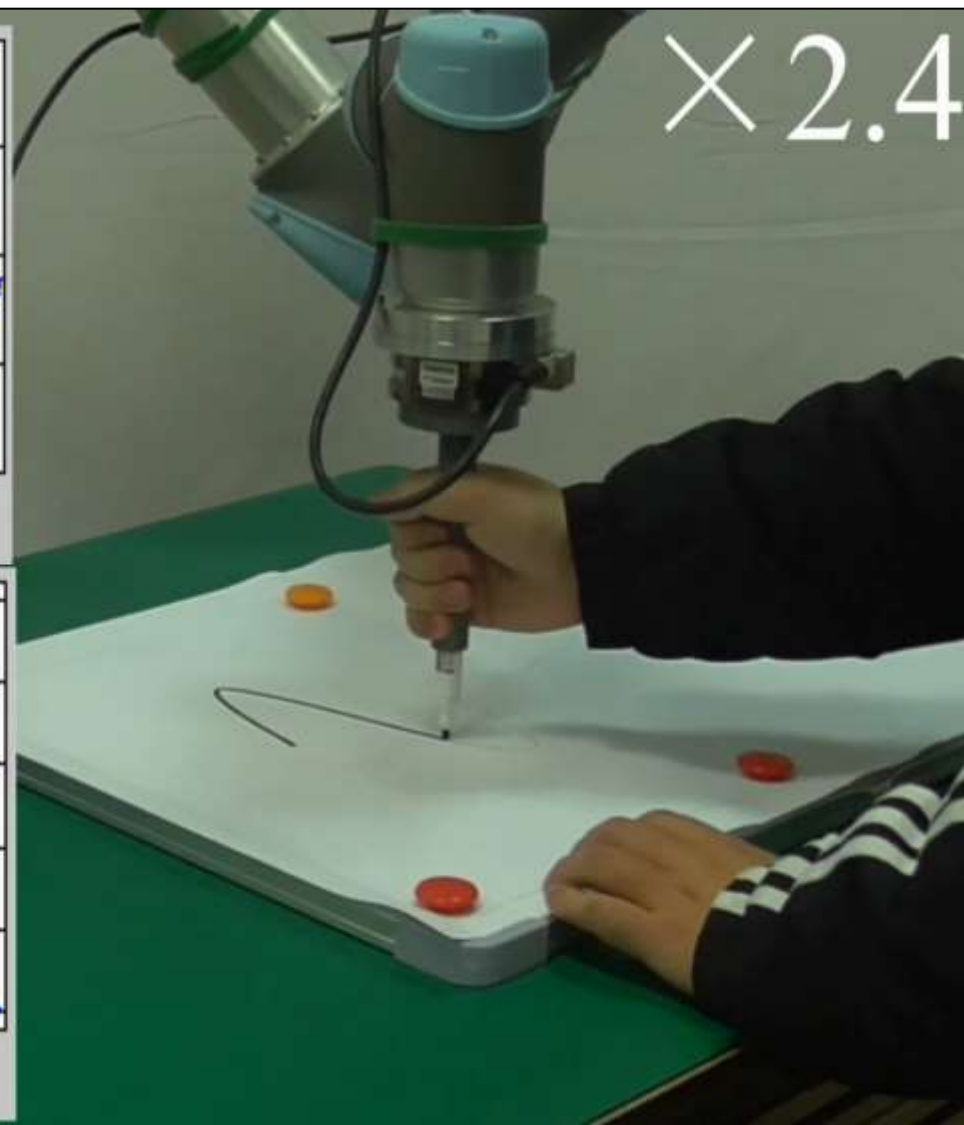
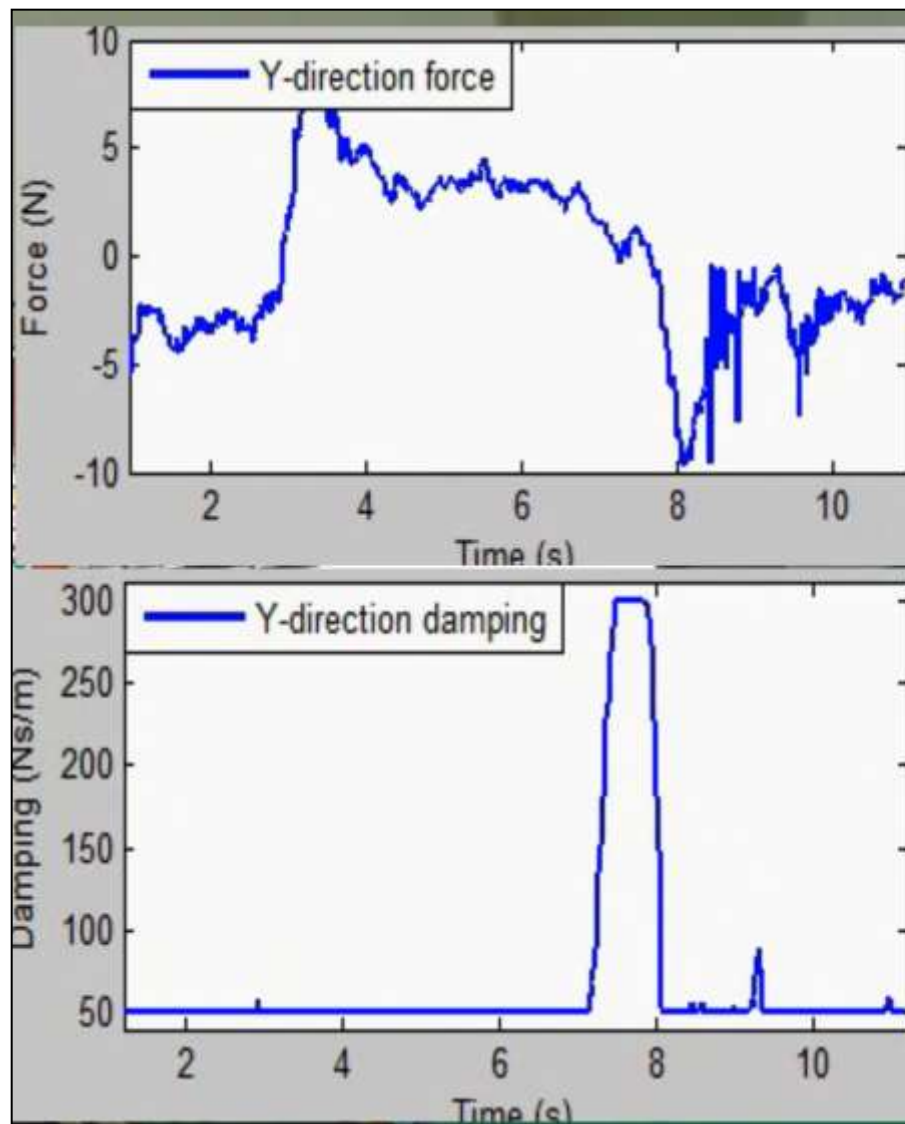
□ 大多数情况下，阻抗参数需要根据具体要求进行修调，所以需要实施阻抗参数自适应整定算法。



变阻抗控制实验



6.4.2 变阻抗控制实验



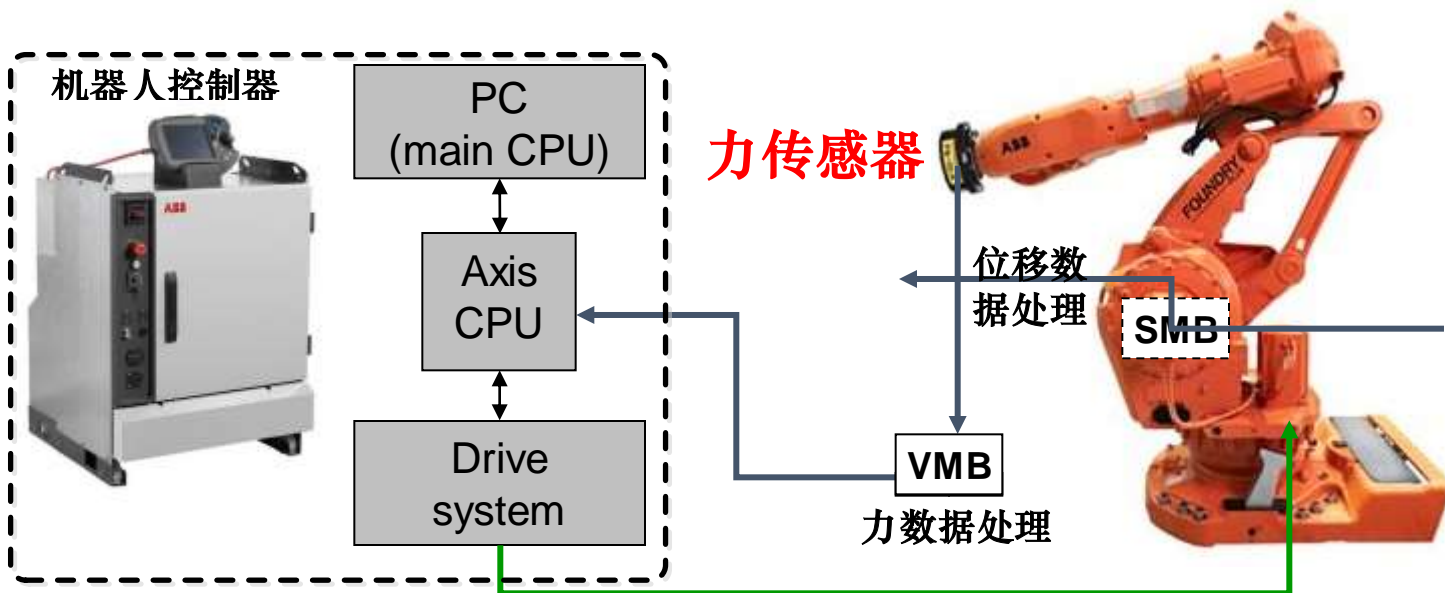
概述

□ **力控制原理**：机器人通过**力传感器**检测与**外部环境**的接触力，并借助运动控制实现对力的控制，实现对不确定环境的顺应性；或直接对接触力进行控制，使得接触力达到期望值。

□ **间接力控制**：通过运动控制来实现对力的控制，并不需要力反馈闭环。

顺应控制、阻抗控制

□ **直接力控制**：通过**力反馈闭环**来控制接触力达到期望数值。力位混合控制



6.4.3 力/位混合控制 – 环境约束

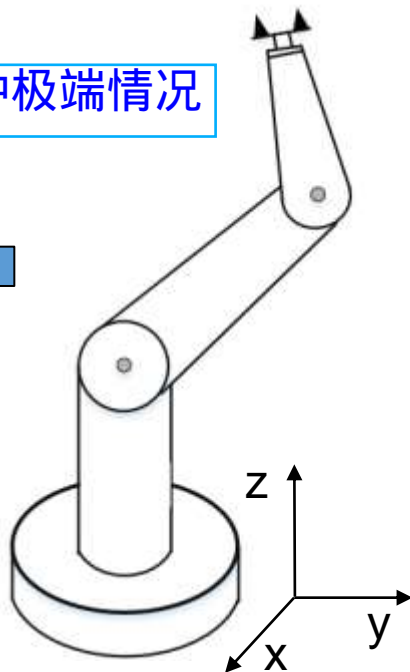
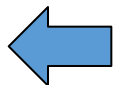
□ 机器人末端件与外界接触有两种极端状态：全自由与全约束

□ 无约束的全自由状态：机器人末端没有受到外界环境的约束作用，在空间中可以自由运动，在位置的6个自由度上可以运动。

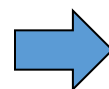
□ 全约束状态：机器人末端被固定不动，这时末端不能自由改变位置，即机器人末端受到位置约束。

力位混合控制要排除的两种极端情况

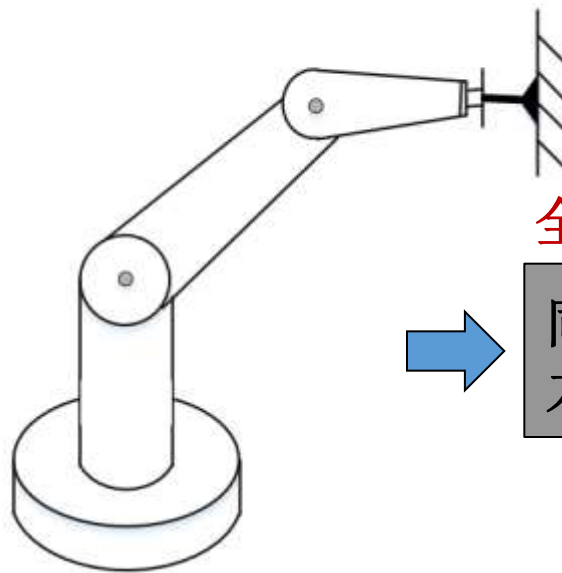
全自由：



全约束：



同时受到作用力和力矩约束



6.4.3 力/位混合控制

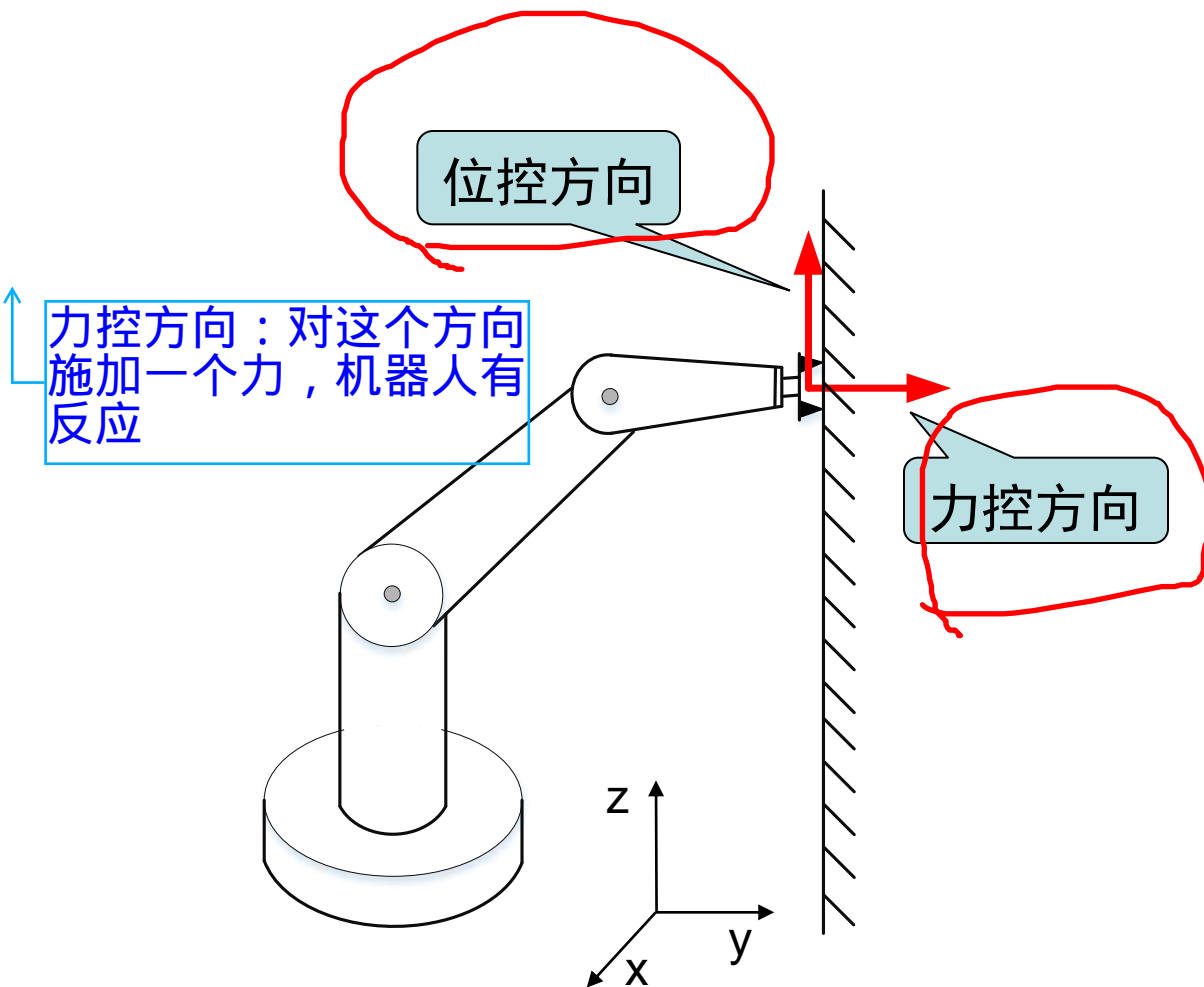
- 全自由状态属于单纯的位置控制问题；全约束状态在实际中很少出现；实际中多数是部分约束问题，即部分自由度服从位置控制，其余自由度服从力控制。



根据具体需要将机器人的位置约束与力约束分解为位控子空间与力控子空间，这样就需要采用一种力/位混合控制的方式。

6.4.3 力/位混合控制 – 问题分析

□ 力-位混合控制须解决的问题：



平行于墙的方向：位置控制；
垂直于墙的方向：力控制

□ 存在有力自然约束的方向
施加位置控制； $F = 0$

□ 存在有位置自然约束的方向
施加力控制：

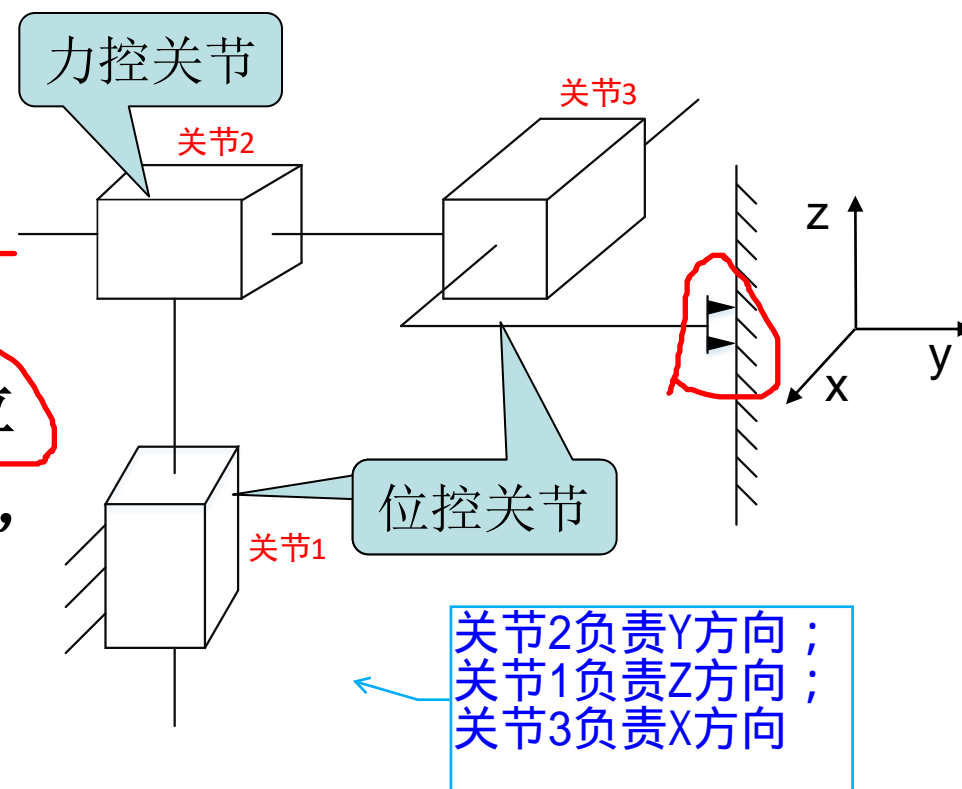
□ 在任意约束坐标系的正交
自由度上施加力/位混合控制。

6.4.3 力/位混合控制 – 实例

笛卡尔空间直角坐标系机械手臂的力-位混合控制方案：

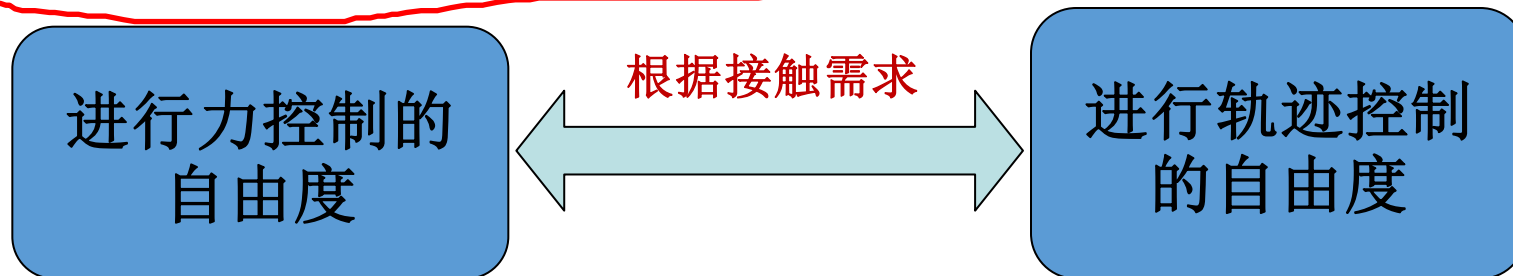
三个自由度都是移动关节的机械手。关节1、2、3轴线方向与约束坐标系 x 、 y 和 z 方向完全一致。

控制分解：手臂在 y 方向与环境接触，需进行力控制，在 x 和 z 为无约束状态，可进行位置控制。则根据环境约束特点，关节2进行力控制，关节1、3进行位置控制。

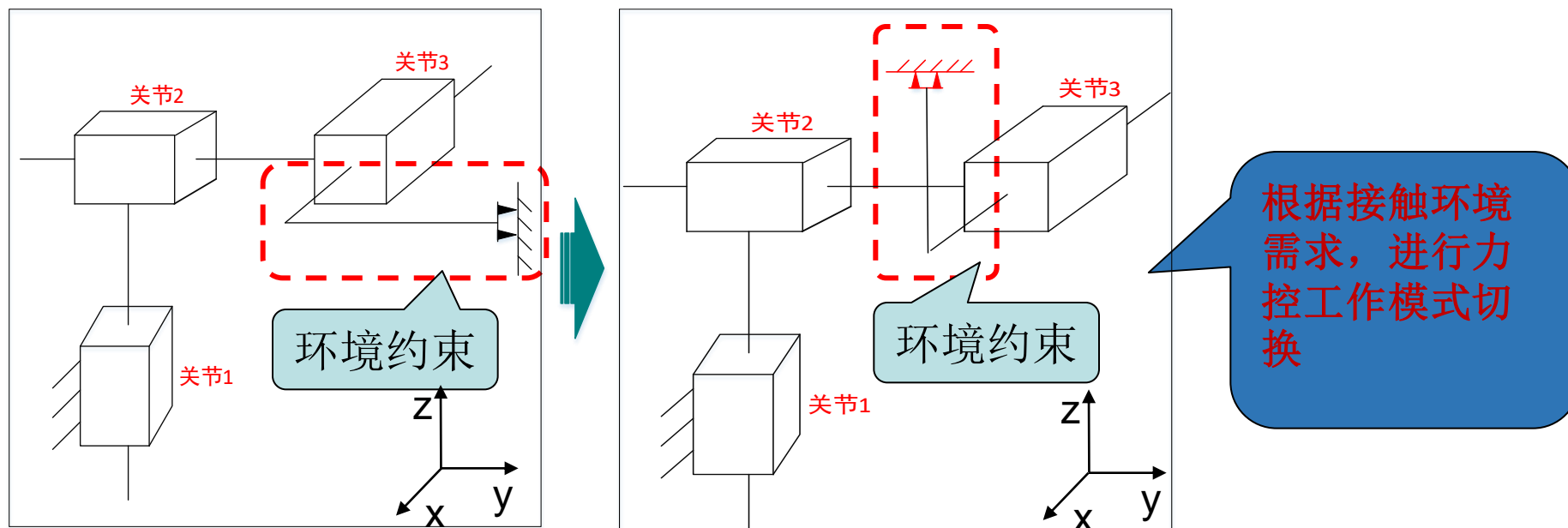


6.4.3 力/位混合控制 – 工作模式切换

- 实际工作环境中，机器人与环境接触属于动态变化过程，机器人的控制规则会随着外界环境变化而变化。



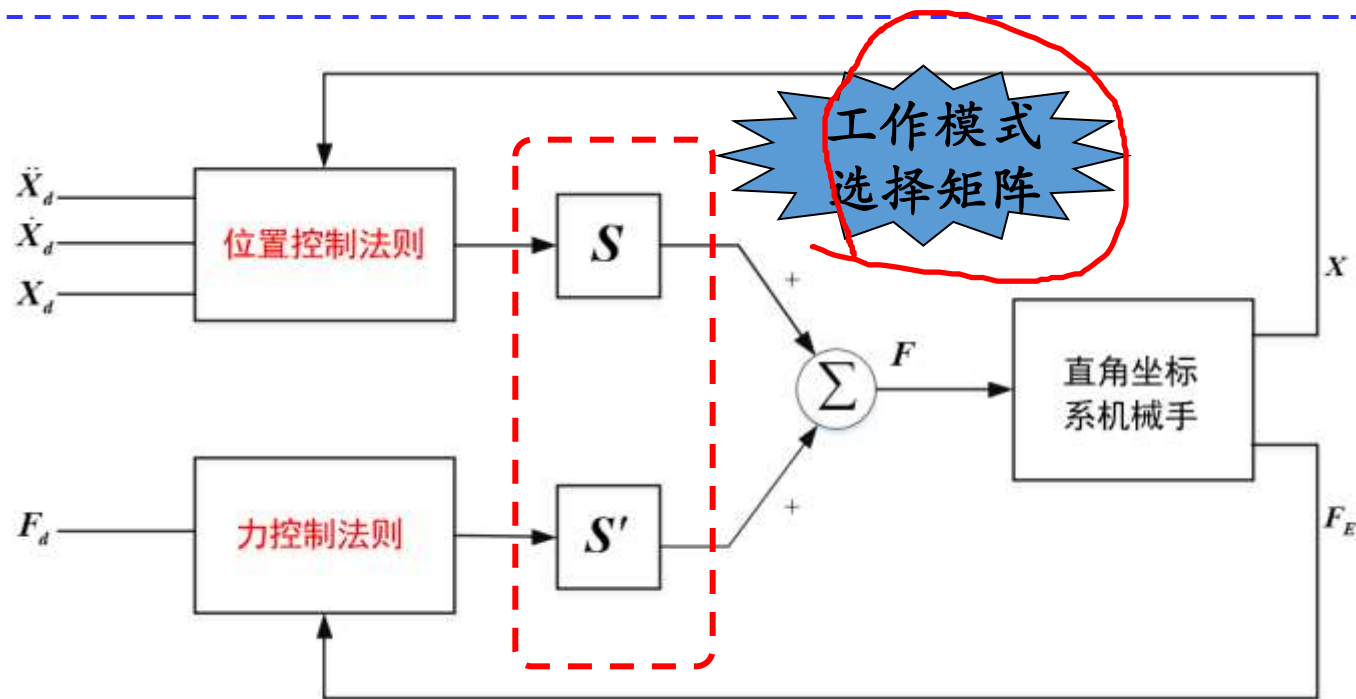
- 要求每个自由度既能进行轨迹控制，又能进行力控制。



6.4.3 力/位混合控制框架

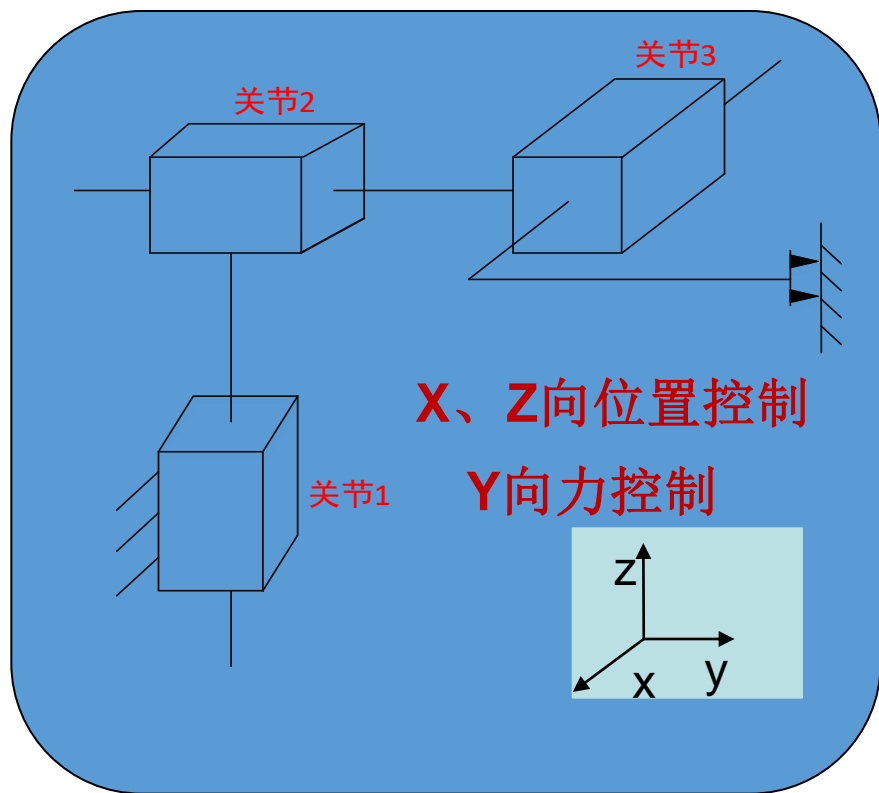
力-位混合控制特点：同一自由度，既要能进行位置控制，又要能进行力控制。但是，不需要同一时刻同时进行位置和力两种控制。

解决办法：增加S与S'为工作模式选择矩阵。根据手臂与外界接触情况，进行力控制与位置控制的选择。



6.4.3 工作模式选择矩阵

□ **三自由度**直角坐标系机械手工作模式选择矩阵 S 和 S' ：根据约束条件选择每个自由度所要求的工作模式



如关节 i 进行**位置控制**，则 S 矩阵对角线上第 i 个元素为1；如需进行**力控制**，则矩阵 S' 对角线上第 i 元素为1。

位控选择

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

力控选择

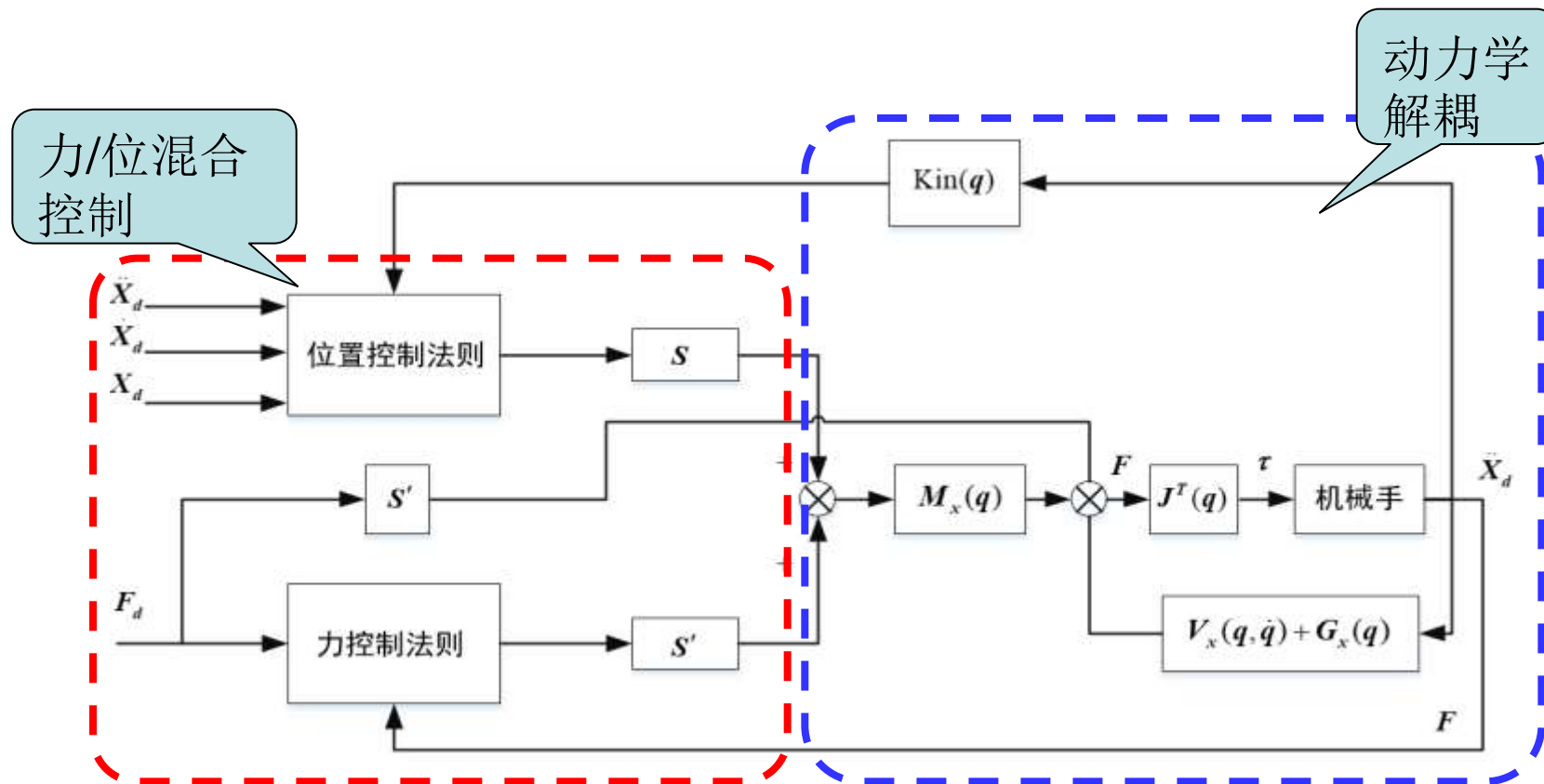
$$S' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

S 与 S' 为互锁的力/位控选择矩阵

当系统某个关节以**位置（或力）**控制模式工作时，这个关节的**力或（位置）**的误差信息就被忽略。

6.4.3 约束坐标系力/位混合控制器

□直角坐标系机械臂推广到一般机械手的思想：进行动力学解耦，将动力学模型转化为没有耦合的单位质量系统。

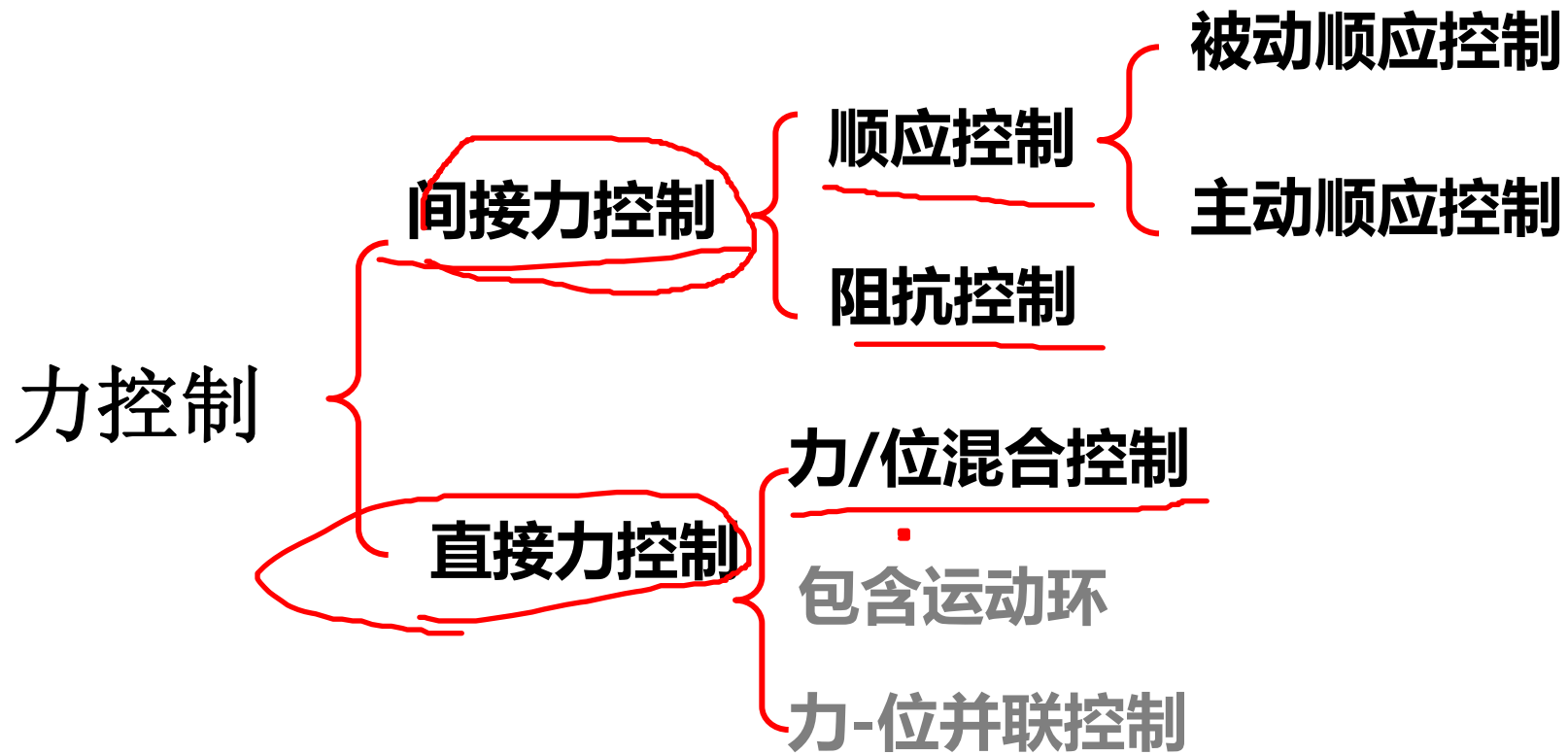


动力学各项、雅各比矩阵及动力学方程和伺服误差均在坐标系{C}中描述，另外还需对 S 、 S' 作适当取值。

6.4.3 机器人力-位混合控制实例



机器人力控制方法总结

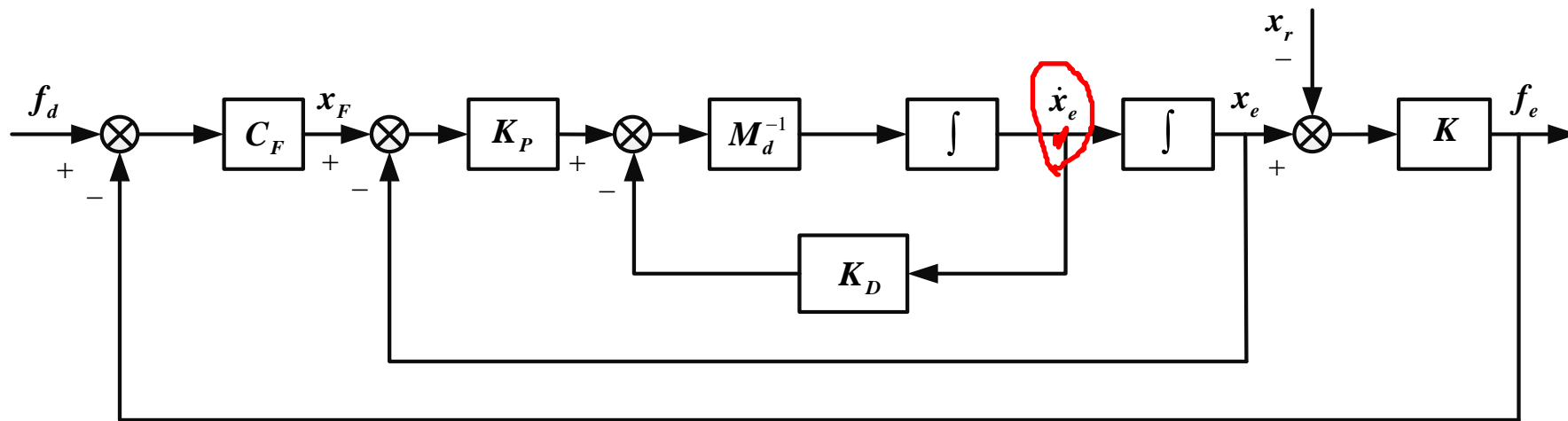


1. 期望接触力不容易得到。
2. 同一方向上，本质上不可能实现位置和力同时精准控制。
3. 大都只能某一特定场景下能实现力控。

学术研究方向：

- 非结构化场景（非固定）下力控；
- 阻抗控制中阻抗参数自适应调整策略；
- 无传感器的力控；
- 基于强化学习的技能学习；
- 人机协作装配

6.6.4 包含运动环的力控制



力环包含运动环控制框图

有三环：力环、位置环、速度环

类似电机控制：电流环、位置环、速度环

令 f_d 表示接触力的期望值， f_e 表示接触力的实际值。

参考位置指令 $\underline{x_F} = C_F(f_d - f_e)$ ，实际位置 x_e 。

参考速度指令 $K_P(x_F - x_e)$ ，实际速度 $K_D \dot{x}_e$ 。

控制律中相关项

$$-K_D \dot{x}_e + K_P(x_F - x_e)$$

包含三环信息。

6.6.4 包含运动环的力控制

□ 由机器人的力雅克比与动力学模型，得到**机器人关节空间的状态模型**(10-33) (τ 由控制变量 u 替换)。

系统模型
$$u - J^T(q) F = D(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + F_v(q, \dot{q}) + G(q) \quad (10-33)$$

对上式选择逆动力学线性控制模型：

控制律
$$u = D(q) y + h(q, \dot{q}) + F_v(q, \dot{q}) + G(q) + J^T(q) F \quad (10-34)$$

其中 y 选取：

$$y = J_A^{-1}(q) M_d^{-1} \left(-K_D \dot{x}_e + K_P(x_F - x_e) - 2M_d \dot{J}(q, \dot{q}) \dot{q} - M_d \ddot{J}(q, \dot{q}) q \right) \quad (10-35)$$

式中 x_F 为与力误差相关的基准参数

□ 注意：在机器人操作空间中，仅定义位置变量，其解析雅克比矩阵与几何雅克比矩阵是一致的，即： $J_A(q) = J(q)$

6.6.4 包含运动环的力控制

□ 将式(10-34)与式(10-36)带入式(10-33)：

$$\left. \begin{aligned} (10-34) \quad & u = D(q)y + h(q, \dot{q}) + F_v(q, \dot{q}) + G(q) + J^T(q)F \\ (10-36) \quad & y = J_A^{-1}(q)M_d^{-1}(-K_D\dot{x}_e + K_P(x_F - x_e) - 2M_d\dot{J}(q, \dot{q})\dot{q} - M_d\ddot{J}(q, \dot{q})q) \end{aligned} \right\}$$



$$(10-33) \quad u - J^T(q)F = D(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) + F_v(q, \dot{q}) + G(q)$$

式10-34与10-36表明力控制是在之前所述的位置控制回路的基础上延伸得到的。



$$M_d\ddot{x}_e + K_D\dot{x}_e + K_Px_e = K_Px_F \quad (10-37)$$

闭环系统

□ 令 f_d 表示期望值, x_F 与力误差的关系表示为: $x_F = C_F(f_d - f_e)$ (10-38)

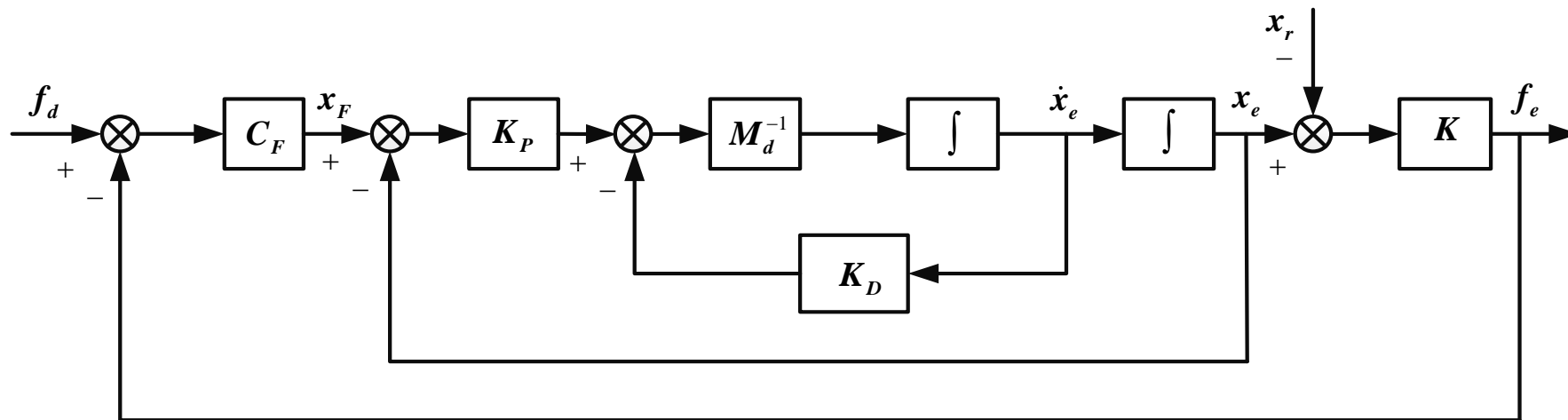
□ C_F 是具有柔度含义的对角矩阵, 其对角线元素指定操作空间中期望方向上的控制作用。

表明为实现从 x_e 到 x_F 的位置控制, 思考如何选择动力学参数矩阵 M_d K_D K_P 的。

6.6.4 包含运动环的力控制

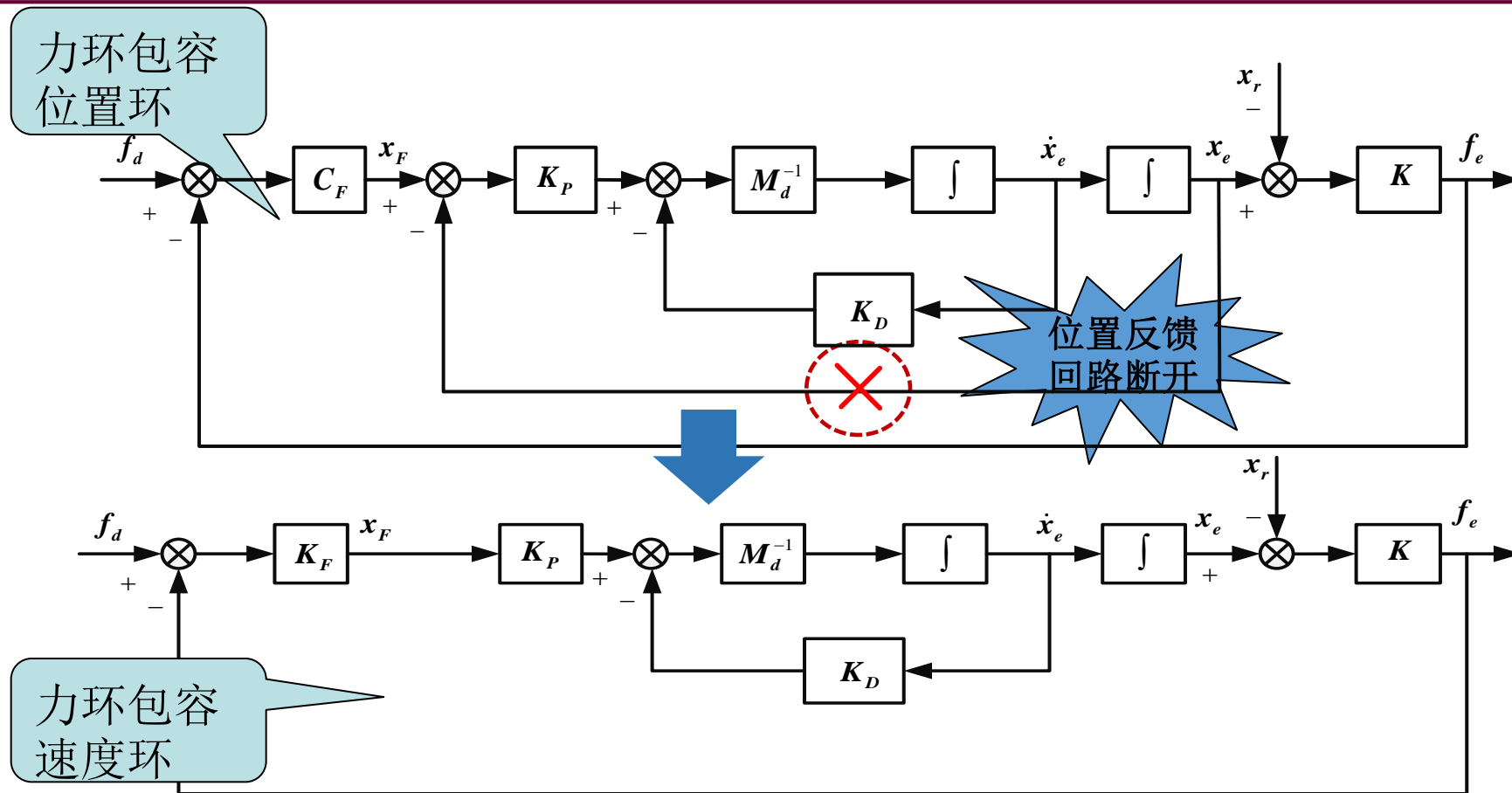
□ 对于一般环境弹性模型为 $f_e = K(x_e - x_r)$ (弹簧模型) 的假设下, 由式 (10-38) 可知, 式 (10-37) 可写作:

$$M_d \ddot{x}_e + K_D \dot{x}_e + K_P (I_3 + C_F K) x_e = K_P C_F (K x_r + f_d) \quad (10-39)$$



若环境接触力 f_d 无法测量, 可结合刚度系数进行估计。

6.6.4 力环包容速度环

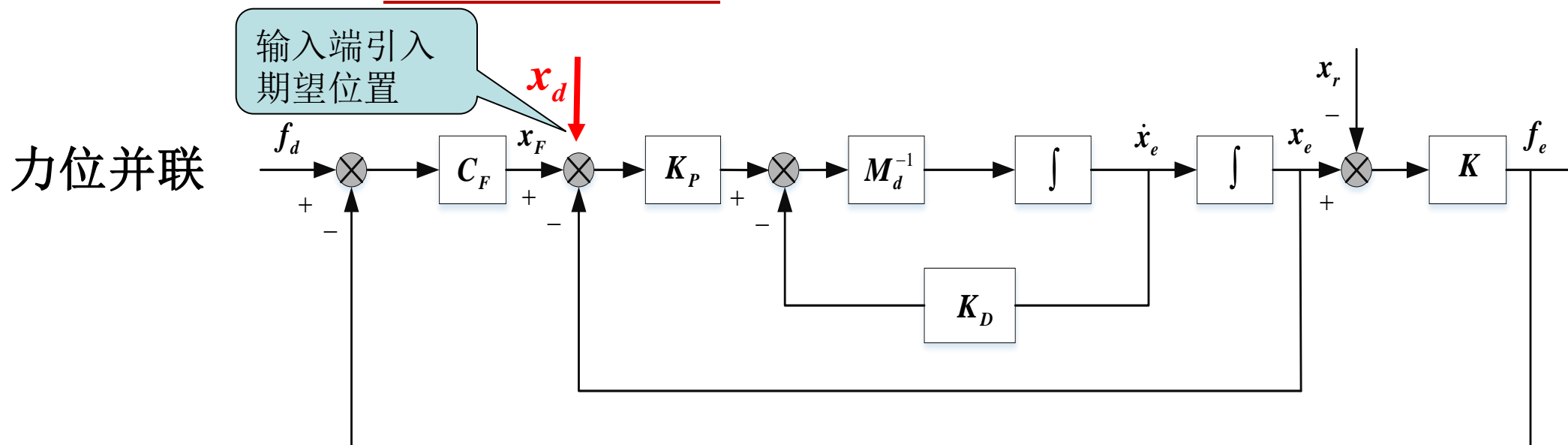


$$y = J_A^{-1}(q) M_d^{-1} \left(-K_D \dot{x}_e + K_p x_F - 2M_d \dot{J}(q, \dot{q}) \dot{q} - M_d \ddot{J}(q, \dot{q}) q \right) \quad (10-42)$$

选择上述控制率，即使采用比例力控制器，**稳态时，与环境的相互作用力将与期望值一致**

6.6.4 力-位并联控制

□ 在纯位置控制方案中，如果期望指定末端执行器的位置 x_d ，可对力环包容位置环的控制框图进行修正：



对上述位置量进行求和计算，并选择控制律为：

$$y = J_A^{-1}(q) M_d^{-1} \left(K_D \dot{x}_e + K_p (\tilde{x} - x_F) - 2M_d \dot{J}(q, \dot{q}) \dot{q} - M_d \ddot{J}(q, \dot{q}) q \right) \quad (10-44)$$

其中：

$$\tilde{x} = x_d - x_e$$

习题

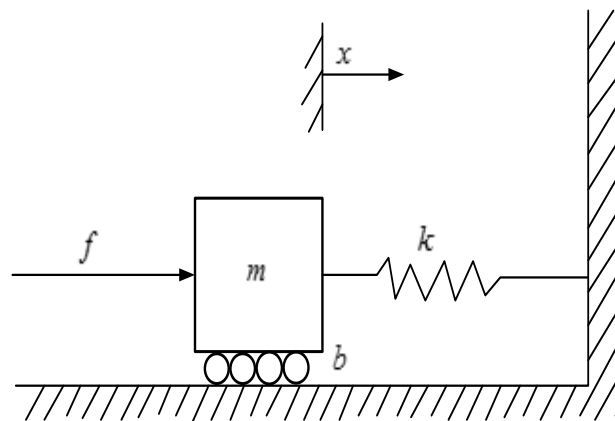
1. 如果操作臂负载惯性矩 J_L 在 $2 \sim 8 \text{kg} \cdot \text{m}^2$ 之间变化, 电机轴惯性矩

$J_m = 0.01 \text{kg} \cdot \text{m}^2$, 减速比 $n = \frac{1}{40}$, 求等效惯性矩的最大值和最小值。20页

2. 对于如下图所示的质量-弹簧阻尼系统, 系统参数 $m = 1, b = 1, k = 1$, 驱动力为 f 。

(1) 写出系统的动态方程表达式。

(2) 按PD控制器的形式设置驱动力 f , 并选择合适的控制增益 k_p 和 k_v , 使系统变成临界阻尼系统, 且满足闭环系统刚度为16。



带驱动控制的质量、弹簧、阻尼系统

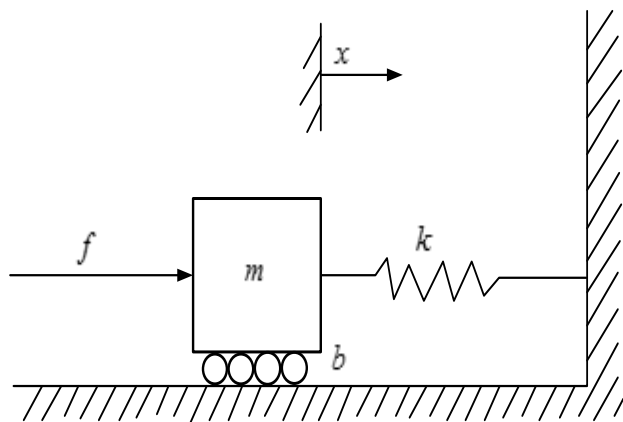
习题

3. 对于如下图所示的质量-弹簧阻尼系统，系统参数 $m = 1, b = 1, k = 1$ ，驱动力为 f 。

(1) 写出系统的动态方程表达式。

(2) 按控制规律分解的形式设计驱动力 $f = \alpha f' + \beta$ ，使闭环系统简化为单位质量系统，其中 α 、 β 为模型控制部分， f' 为伺服控制部分。写出具体 α 、 β 、 f 的表达式。

(3) 设计 f' 中比例控制增益 k_p 和微分控制增益 k_v ，使闭环系统满足临界阻尼的性质，且刚度为16。



带驱动控制的质量、弹簧、阻尼系统

习题

4. 直接力控制方法和间接力控制方法的区别？常见的间接力控制方法有哪些？
5. 画出阻抗控制的原理图，并说明设计步骤。
6. 阻抗参数选取原则？
7. 下图场景使用力位混合控制方法，回答哪些方向力控制，哪些方向位置控制，对应的位控模式矩阵 S 和力控模式矩阵如何选择？

