

第一章 机器人组成及机构

本章知识点：

1. 机器人结构类型
2. 机器人机构
 - ① 机身及臂部结构
 - ② 腕部及手部结构
 - ③ 行走机构
 - ④ 传动机构
3. 机器人轴系及坐标系
4. 机器人驱动系统

机器人系统组成

机器人主要由以下几部分组成：**机器人本体、电机与驱动器、控制器、人机交互接口（示教器）、传感器等。**



机器人系统组成

主要技术参数

1. 自由度

机器人的自由度多，机构运动的灵活性大，通用性强，但机构的结构也更复杂，刚性变差。设置冗余自由度使操作机具有一定的避障能力，在进行运动逆解时，使各关节的运动具有优选的条件。

2. 工作速度

机器人中心点在单位时间内所移动的距离或转动的角度。

3. 工作载荷及负重比

4. 控制方式

连续轨迹、点位

5. 精度

精度、重复精度、分辨率

1. 机器人结构分类

机器人按本体机构分类

机器人结构形式

直角坐标机器人

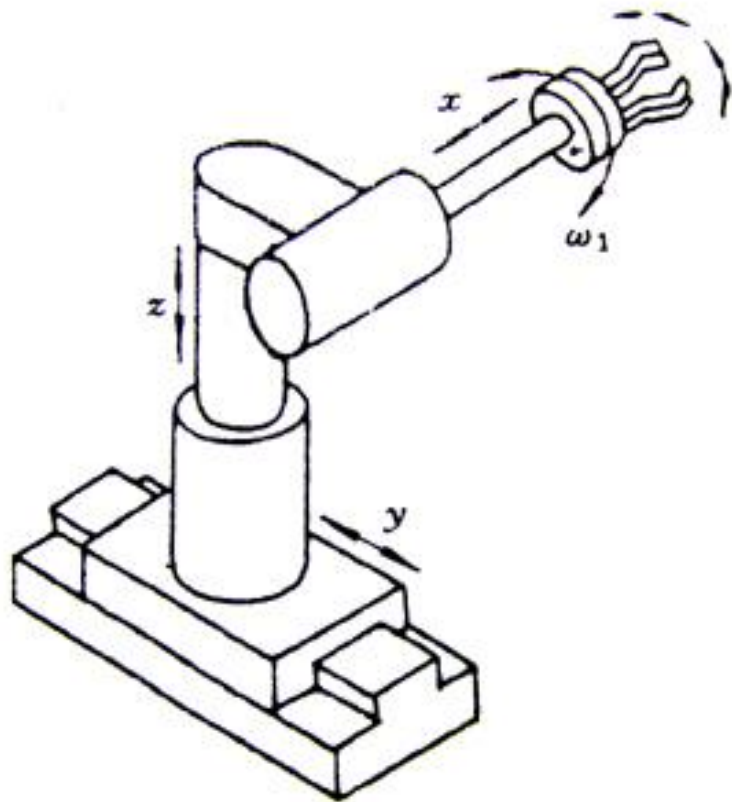
柱面坐标机器人

球面坐标机器人

多关节坐标机器人

并联机器人

• 直角坐标机器人

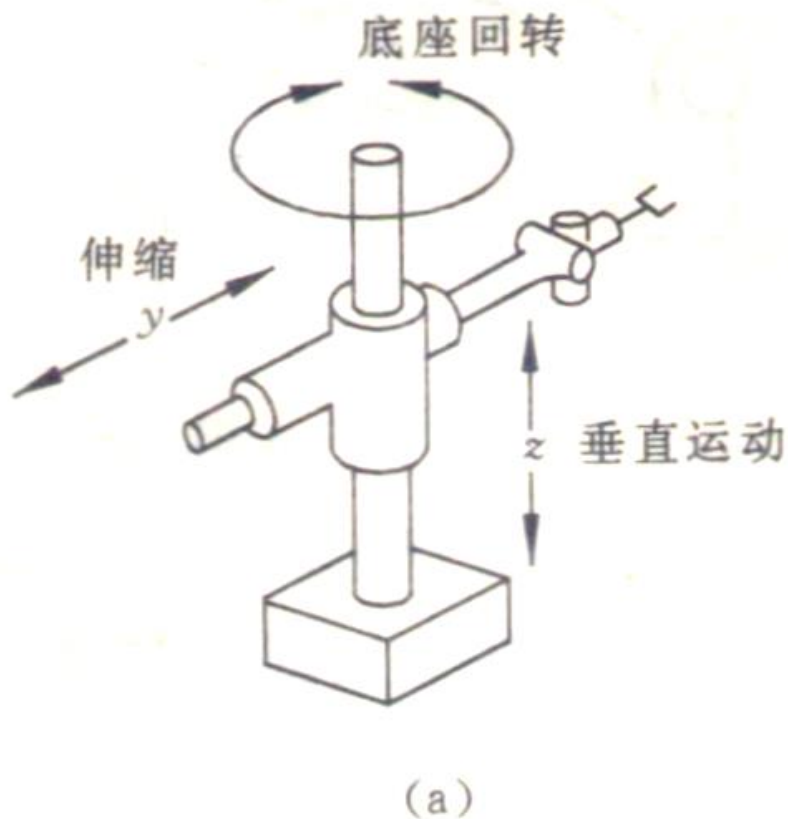


直角坐标型

**控制简单；
刚性最大（龙门式）；
容易达到高精度；**

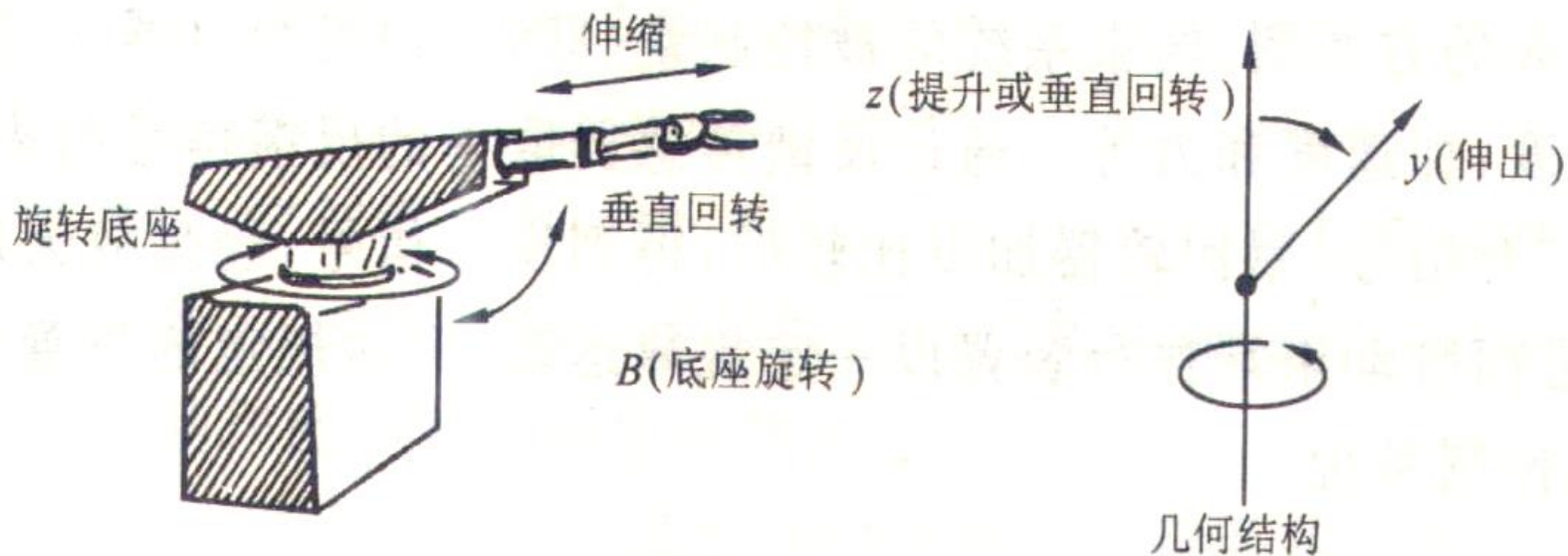
**操作范围小；
占地面积大；
运动速度低；
密封性差**

• 柱面坐标机器人



优点：工作范围可以扩大；计算简单；动力输出较大；
缺点：手臂可达空间受到限制；直线驱动部分难以密封；
安全性差

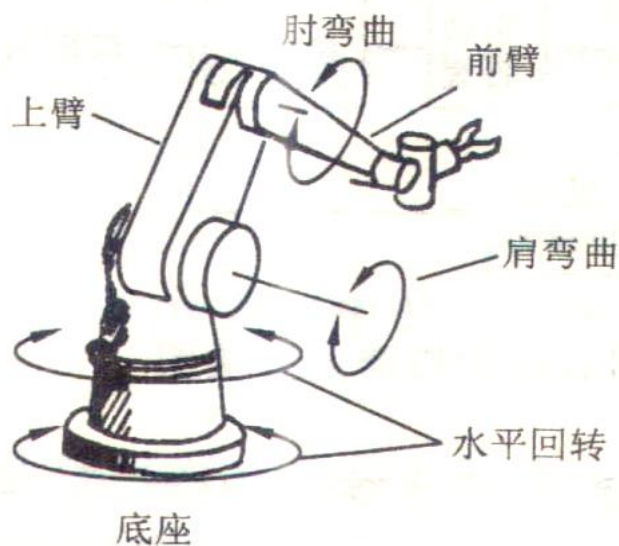
- 球面坐标机器人



这种结构占地面积较小，结构紧凑，位置精度尚可。但避障性能较差，存在平衡问题。

串联关节机器人

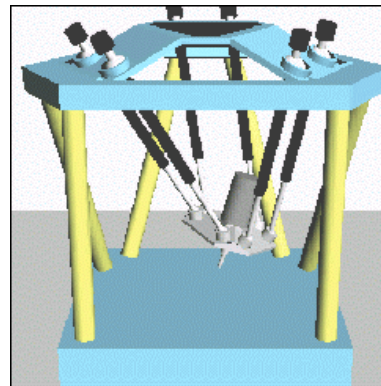
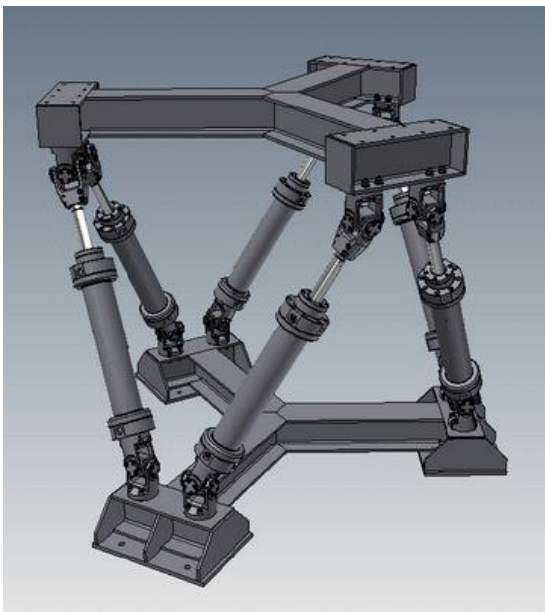
结构特点： 一个轴的运动改变另一个轴的坐标原点。



这种机器人可以自由地实现三维空间的各种姿势，生成各种复杂形状的轨迹。这种机器人动作范围很宽，但结构刚度较低，动作的绝对位置精度较低。

并联机器人

结构特点：由动平台、静平台以及至少两个机械臂构成。



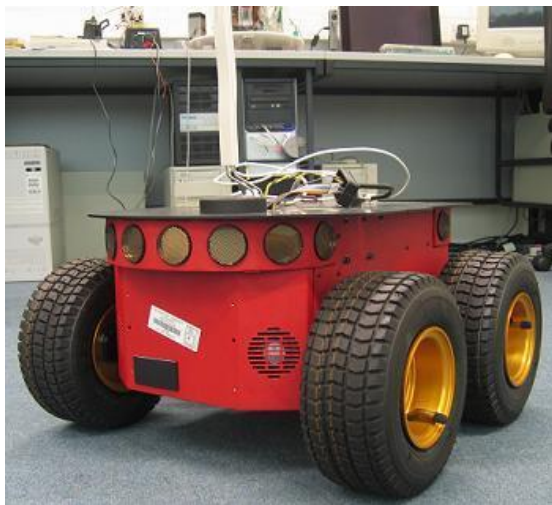
具有刚度高、质量轻、结构简单、制造方便等特点。但需要的安装空间较大，其定位精度相对较低。

按移动性的机器人分类

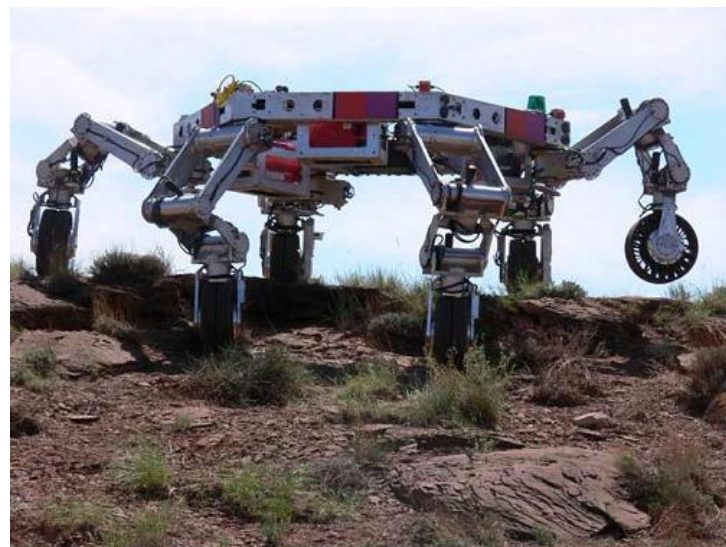
- 固定式机器人(Fixed Robot)
- 移动机器人 (Mobile Robot)



固定式



轮式



足式
Foot robot



履带式
Pedrail robot

2. 机器人机构

本体是机器人的机械主体，是用来完成各种动作的执行机构。

2.1 机身与臂部结构

关节型机器人的机身是由关节连在一起的许多机械连杆的集合体。实质上是一个拟人手臂的空间开链式机构。

一端固定在基座上，另一端可自由运动，

由关节 - 连杆结构所构成的机械臂大体可分为基座、腰部、臂部（大臂和小臂）和手腕 4 部分。

- 1) **基座** 基座是机器人的基础部分，起支撑作用。
- 2) **腰部** 腰部是机器人手臂的支承部分。
- 3) **手臂** 手臂是连接机身和手腕的部分，是执行结构中的主要运动部件，亦称主轴，主要用于改变手腕和末端执行器的空间位置。
- 4) **手腕** 连接末端执行器和手臂的部分，亦称次轴，主要用于改变末端执行器的空间姿态。

▲ 想象一下，机器人各关节的动作效果？

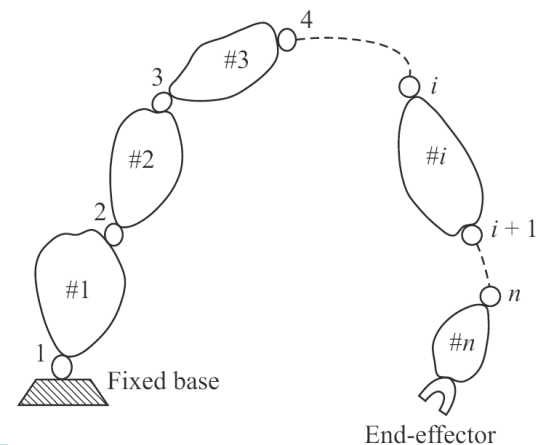
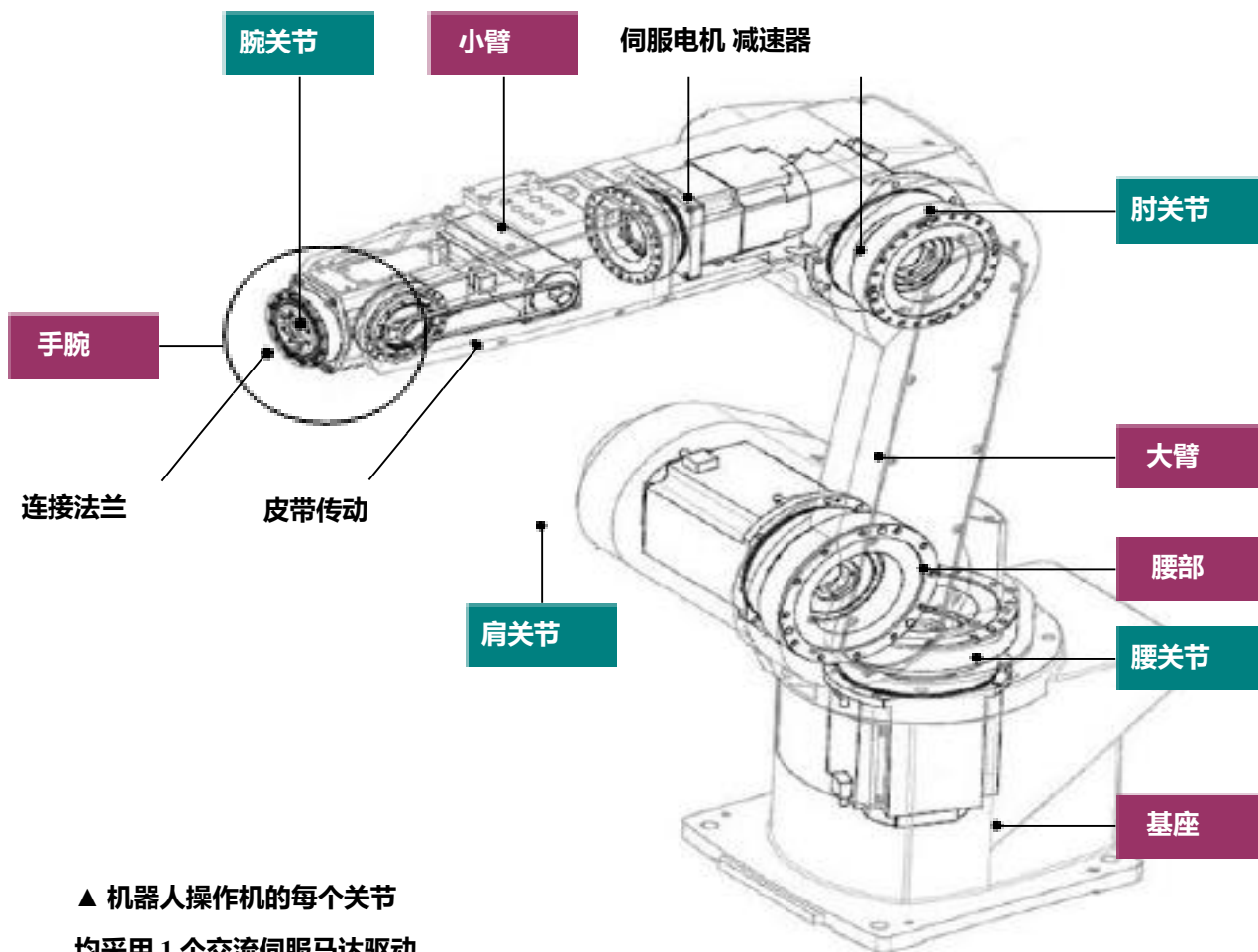
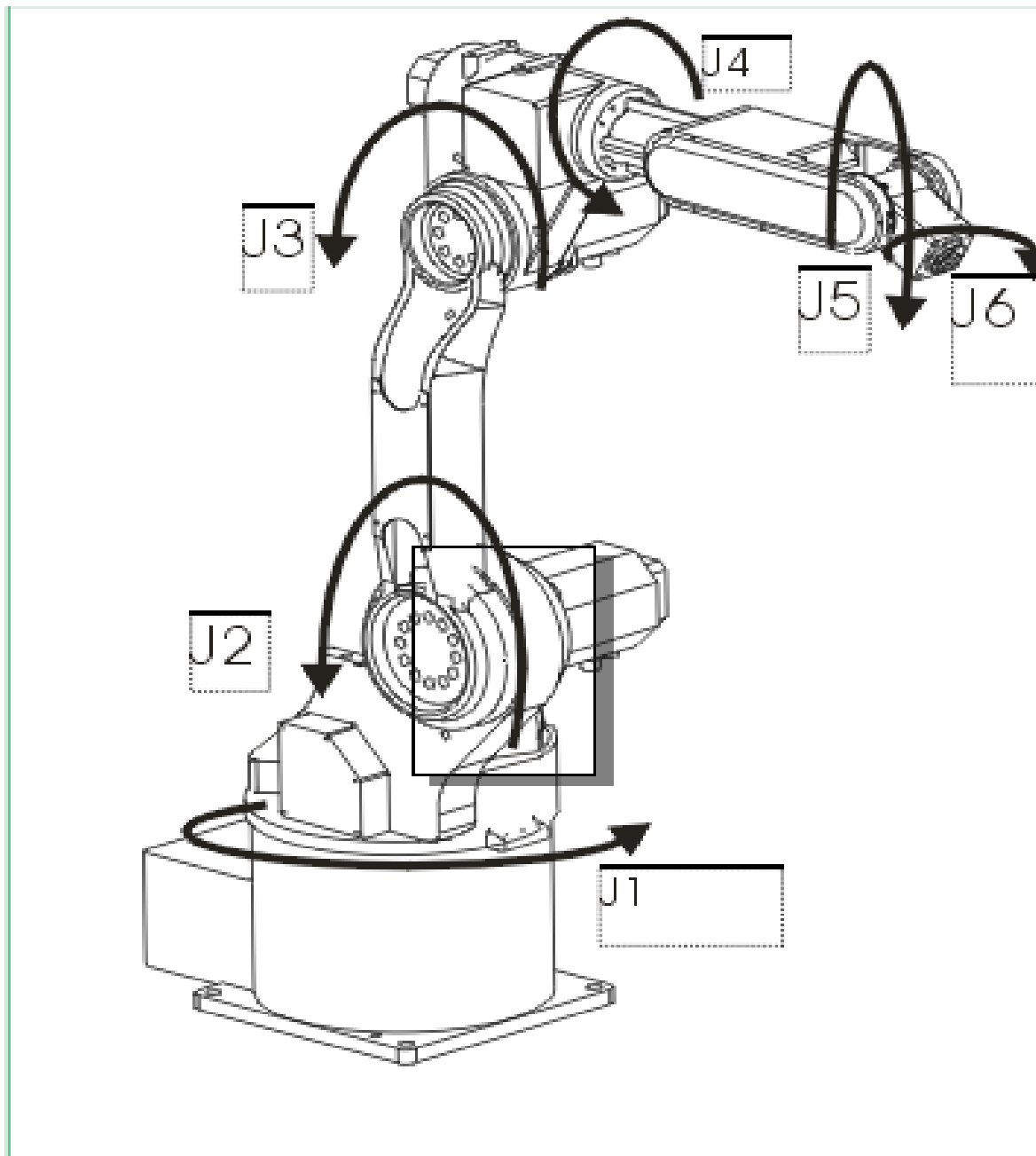
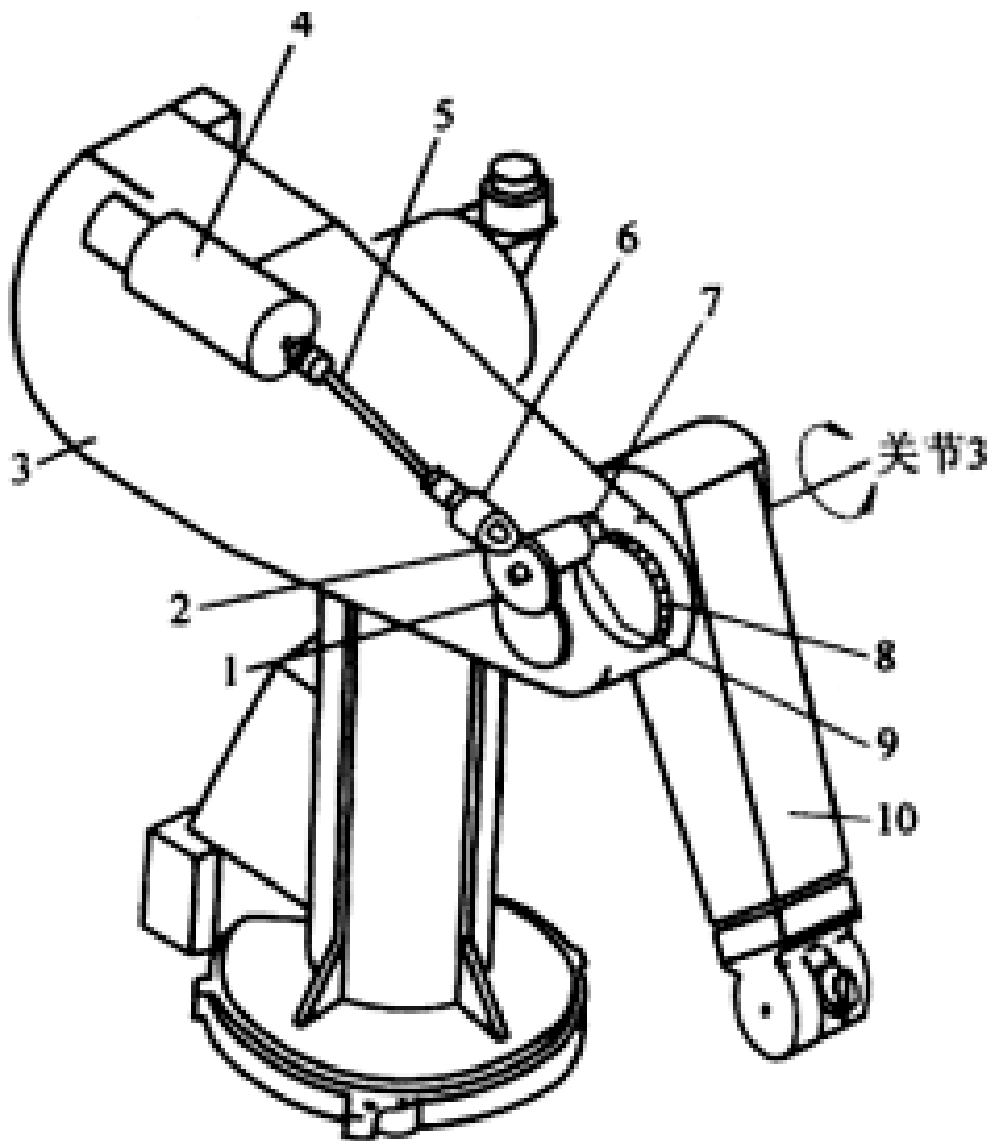


Fig. 5.22 Serial manipulator

关节型机器人操作机机身及臂部结构



关节型机器人操作机各关节的运动



- 1——大锥齿轮
2——小锥齿轮
3——大臂
4——小臂电动机
5——驱动轴
6——偏心套
7——小齿轮
8——大齿轮
9——偏心套
10——小臂

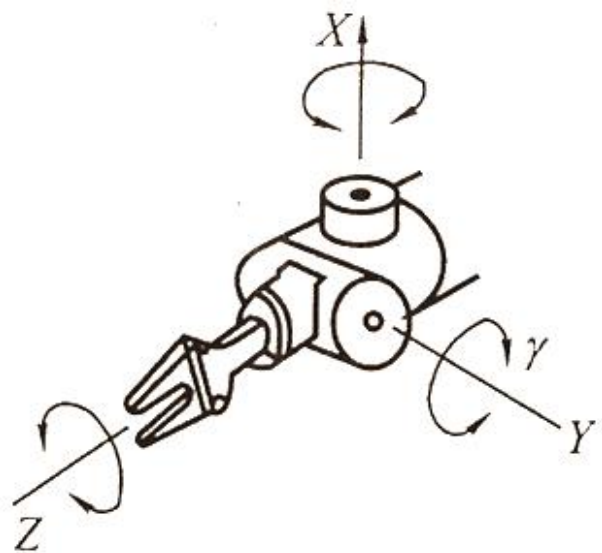
图 2 PUMA560 机器人小臂传动图

2.2 机器人手腕结构-----自由度

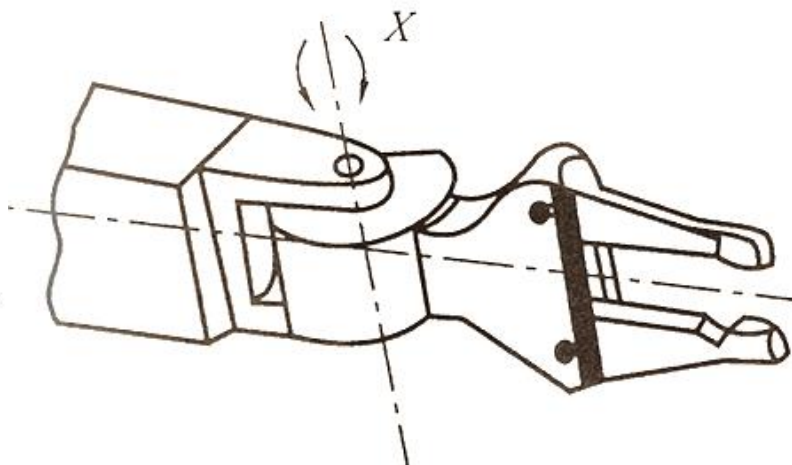
- 为了使手部能处于空间任意方向，要求腕部能实现对空间三个坐标轴X、Y、Z的旋转运动。

腕部运动的三个自由度，分别称为偏转B(Roll)、俯仰P(Pitch)和回转R(Yaw)。

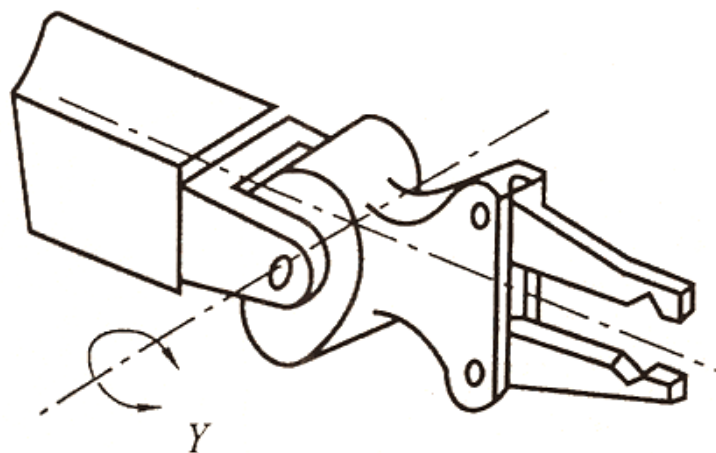
- 并不是所有的手腕都必须具备三个自由度，而是根据实际使用的工作性能要求来确定。



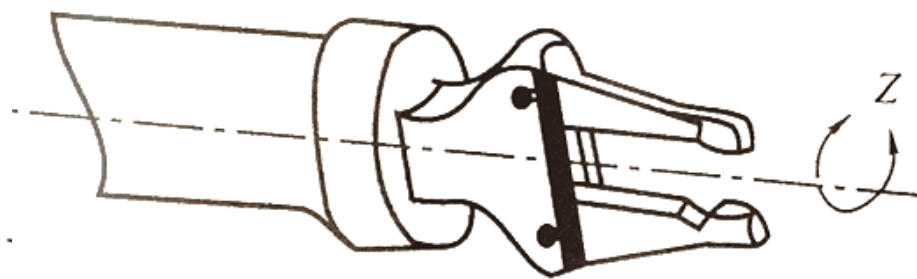
腕部坐标系



手腕的偏转 (B)



手腕的俯仰 (P)

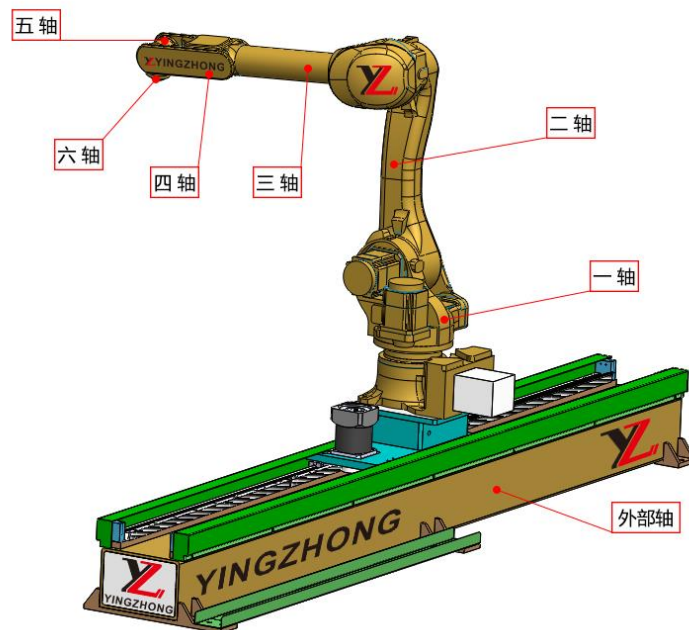


手腕的回转 (R)

2.3 机器人行走机构

安装在固定基座上的机器人有其使用的局限性，不能够移动。对于一些大件的、尺寸超过一定范围的，就需要多次或者多台机器人进行作业；对于一些工作周期比较长的，这样做会降低效率，造成资源浪费。

增加机器人外部轴，扩展机器人作业半径，降低生产使用成本；管理多个工位，提高效率。机器人第七轴应用情况，主要应用于焊接、铸造、智能仓储、汽车、航天等行业领域。



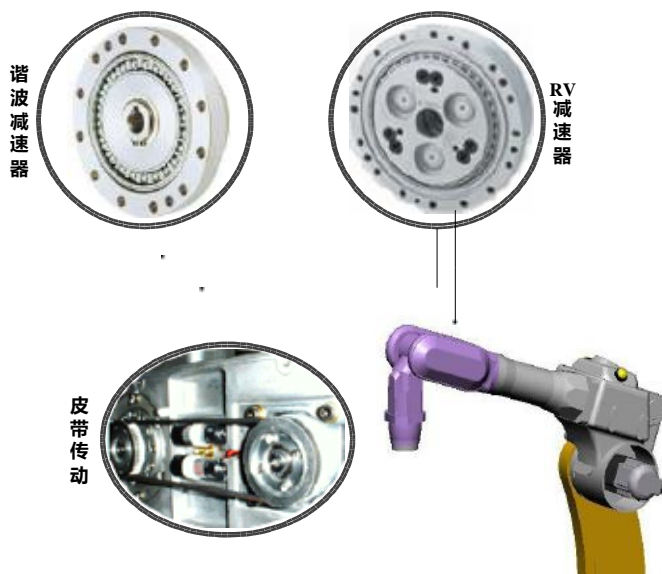
2.4 机器人传动机构

目前机器人广泛采用的机械传动单元是**减速器**，应用在关节型机器人

减速器主要两类：**RV 减速器**和**谐波减速器**。一般将 RV 减速器放置在基座、腰部、大臂等重负载的位置（**用于 20kg 以上的机器人关节**）；

将谐波减速器放置在小臂、腕部或手部等轻负载的位置（**主要用于 20kg 以下的机器关节**）。

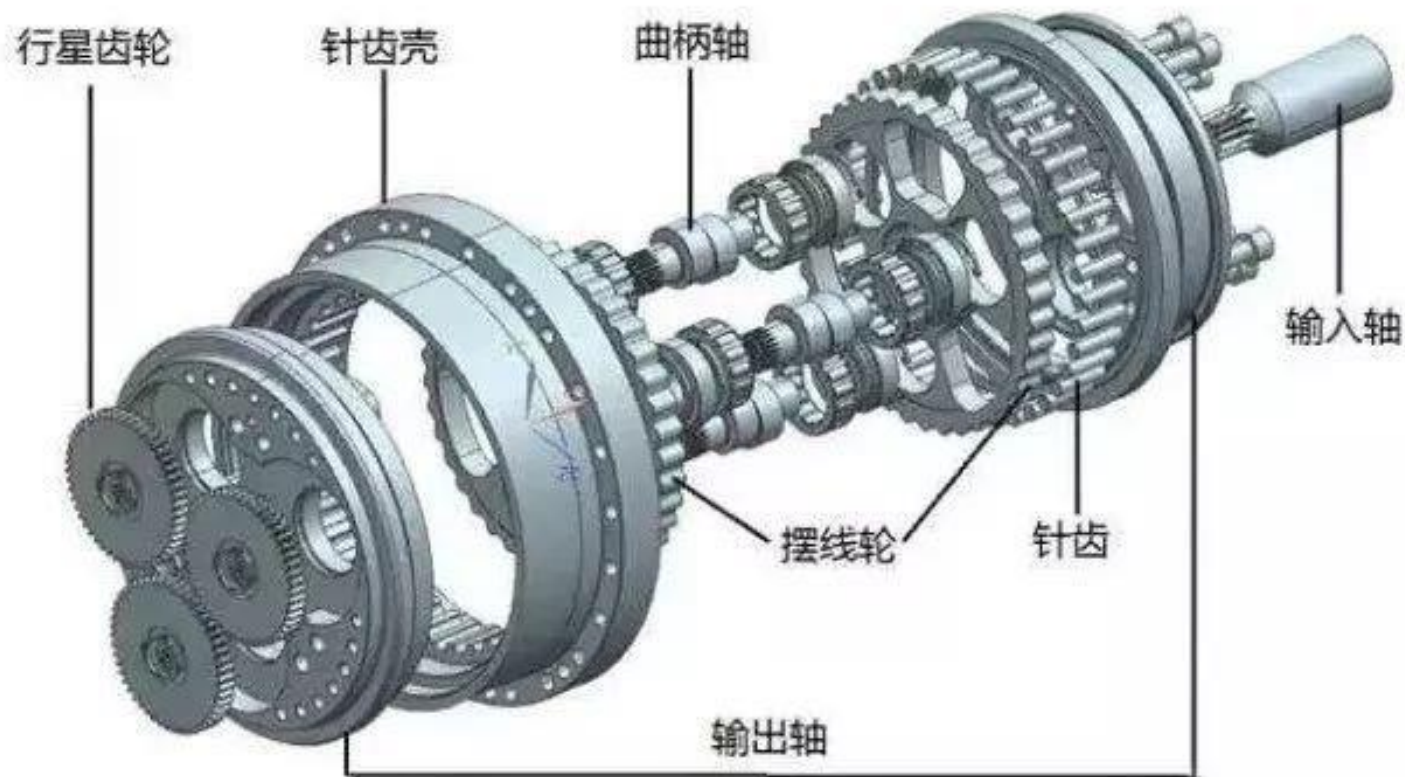
此外，机器人还采用齿轮传动、链条（带）传动、直线运动单元等。

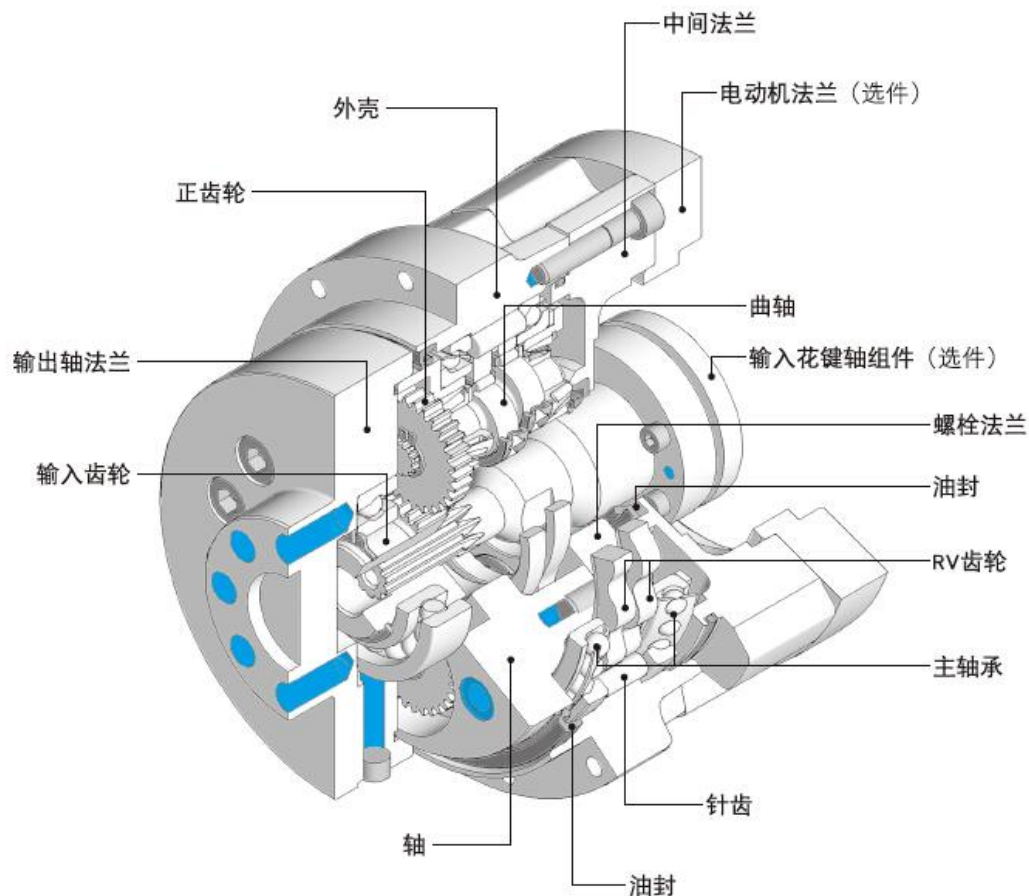


机器人关节传动单元

1) RV减速机

RV传动原理：在传统针摆行星传动的基础上发展出来的，而且因为具有体积小、重量轻、传动比范围大、寿命长、精度保持稳定、效率高、传动平稳等一系列优点。





- **输入齿轮轴：** 输入齿轮轴用来传递输入功率，且与渐开线行星轮互相啮合。
- **行星轮（正齿轮）：** 它与曲轴固联，两个或三个行星轮均匀分布在一个圆周上，起功率分流作用，即将输入功率分成几路传递给摆线针轮机构。
- **RV齿轮：** 为了实现径向力的平衡，一般采用两个完全相同的摆线针轮。
- **针齿：** 针齿与机架固联在一起成为针轮壳体。
- **刚性盘与输出盘：** 输出盘是RV减速机与外界从动机相连接的构件，输出盘和刚性盘相连接成为一个整体，输出运动或动力。

垂直多关节机器人 (关节轴)



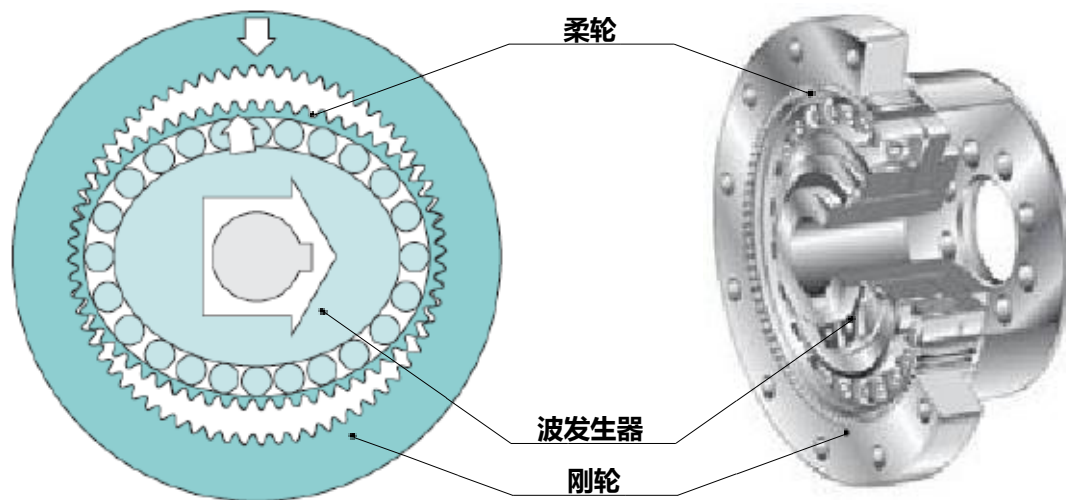
SCARA 机器人



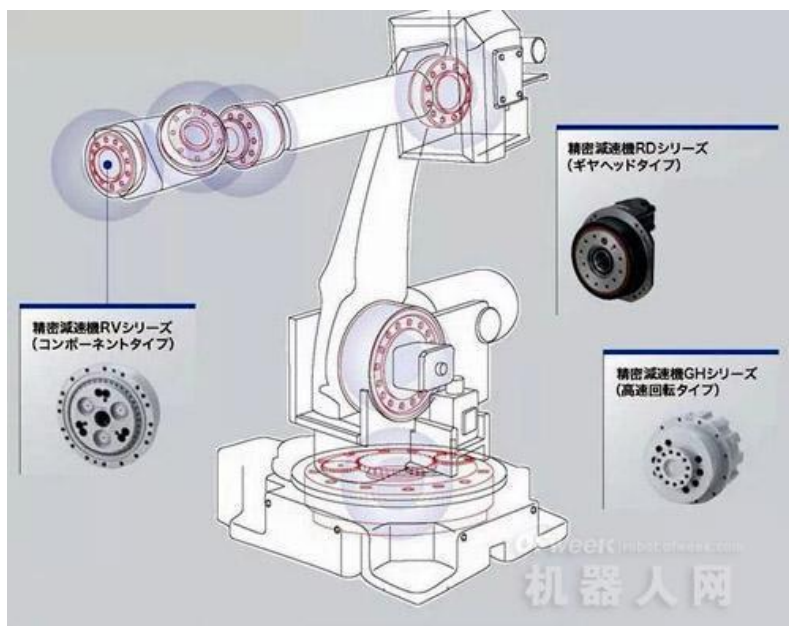
应用： 通用应用于机器人的第1、2、3轴

2) 谐波减速器

通常由 3 个基本构件组成，包括一个有内齿的**刚轮**，一个工作时可产生径向弹性变形并带有外齿的**柔轮**和一个装在柔轮内部、呈椭圆形、外圈带有柔性滚动轴承的**波发生器**，在这 3 个基本结构中可任意固定一个，其余一个为主动件一个从动件。



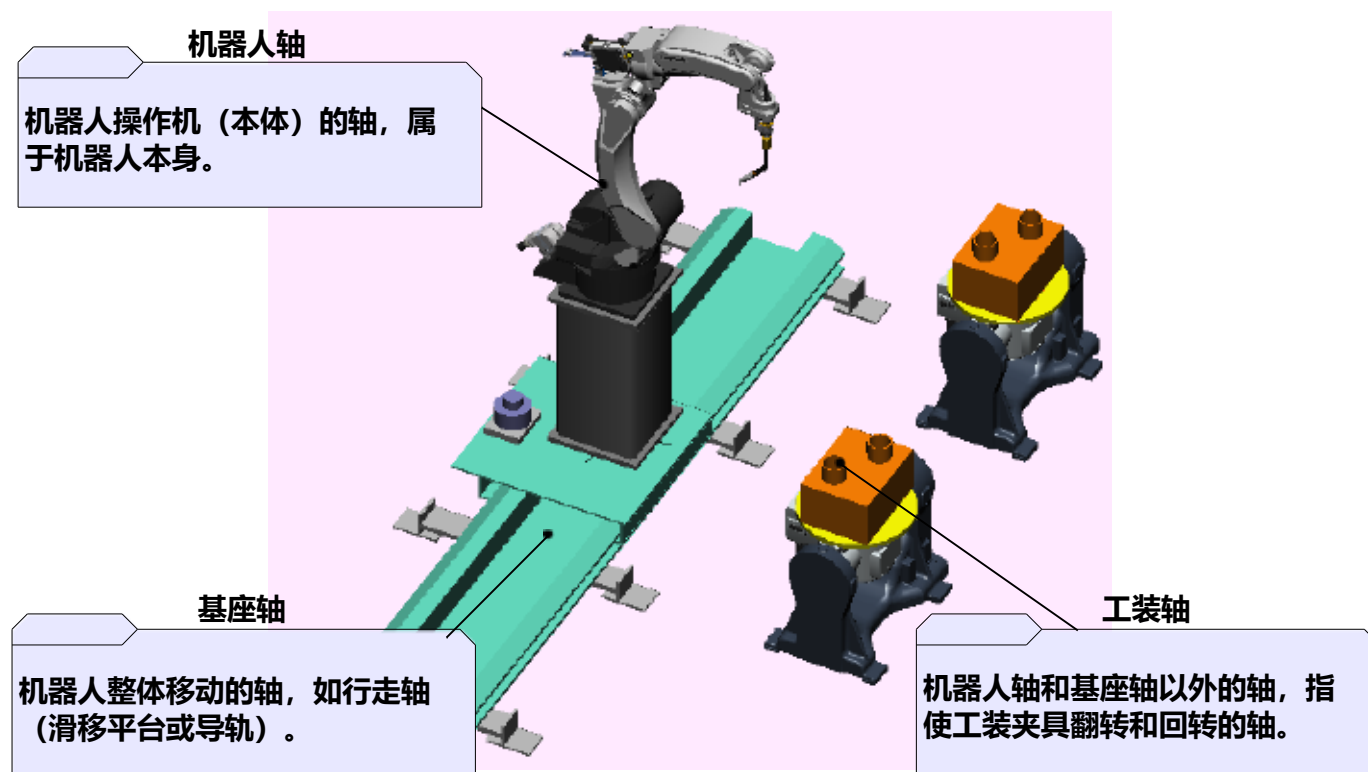
谐波减速器原理图



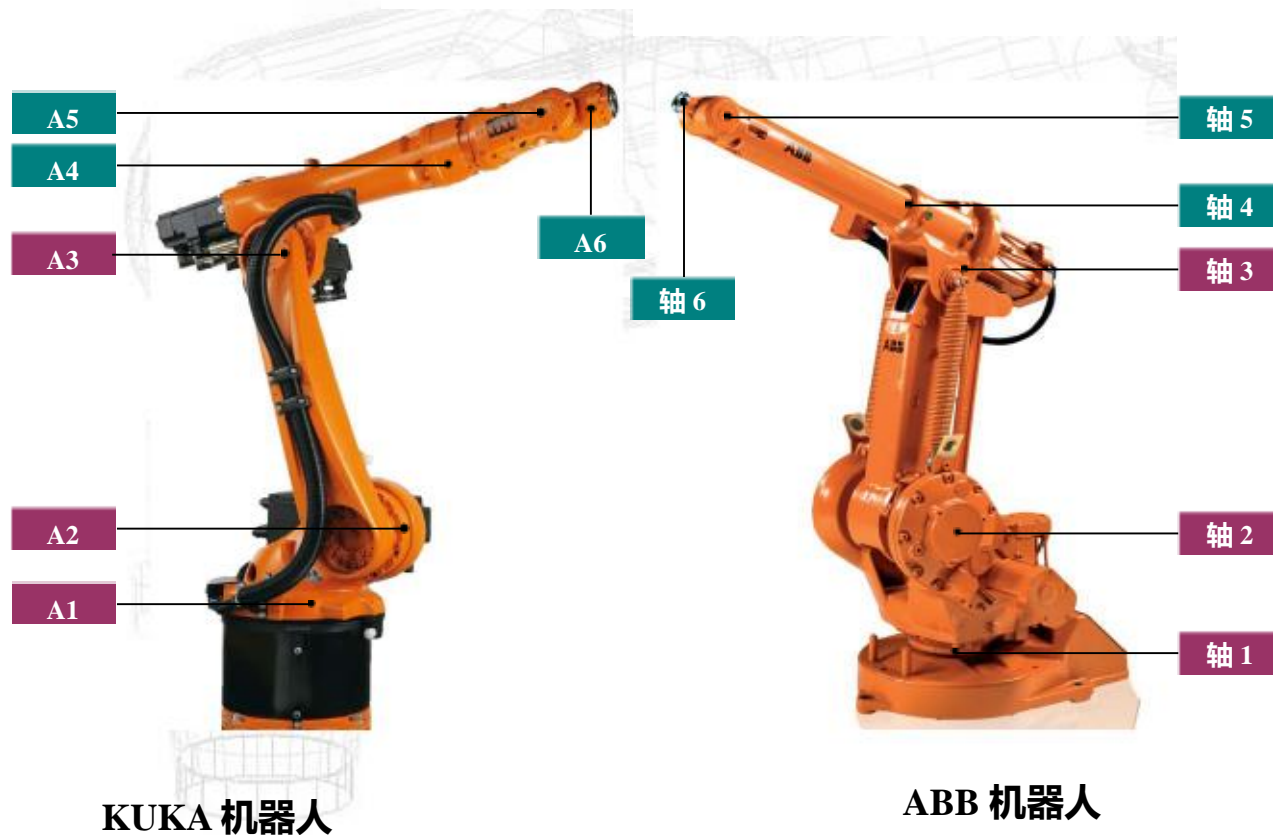
3. 机器人运动轴与坐标系

1) 机器人运动轴的名称

通常机器人运动轴按其功能可划分为机器人轴、基座轴和工装轴，基座轴和工装轴统称外部轴。



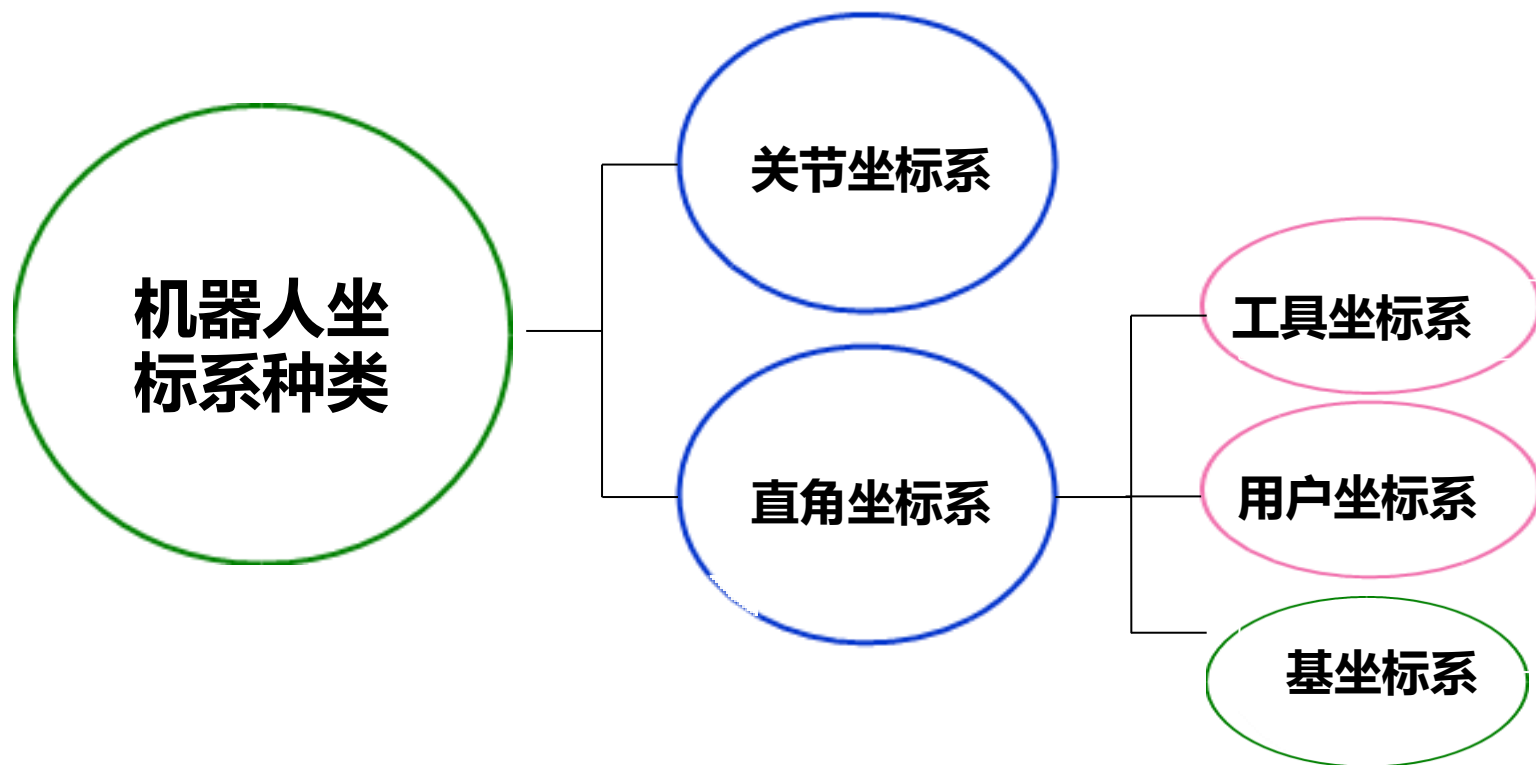
机器人系统中个运动轴的定义



A1、A2 和 A3 三轴（轴 1、轴 2 和轴 3）称为基本轴或主轴，用以保证末端执行器达到工作空间的任意位置。

A4、A5 和 A6 三轴（轴 4、轴 5 和轴 6）称为腕部轴或次轴，用以实现末端执行器的任意空间姿态。

机器人系统中可使用**关节坐标系, 直角坐标系（基本体 坐标系、工具坐标系和用户坐标系）**。



(1) 关节坐标系

在关节坐标系下，机器人各轴均可实现**单独正向或反向运动**。

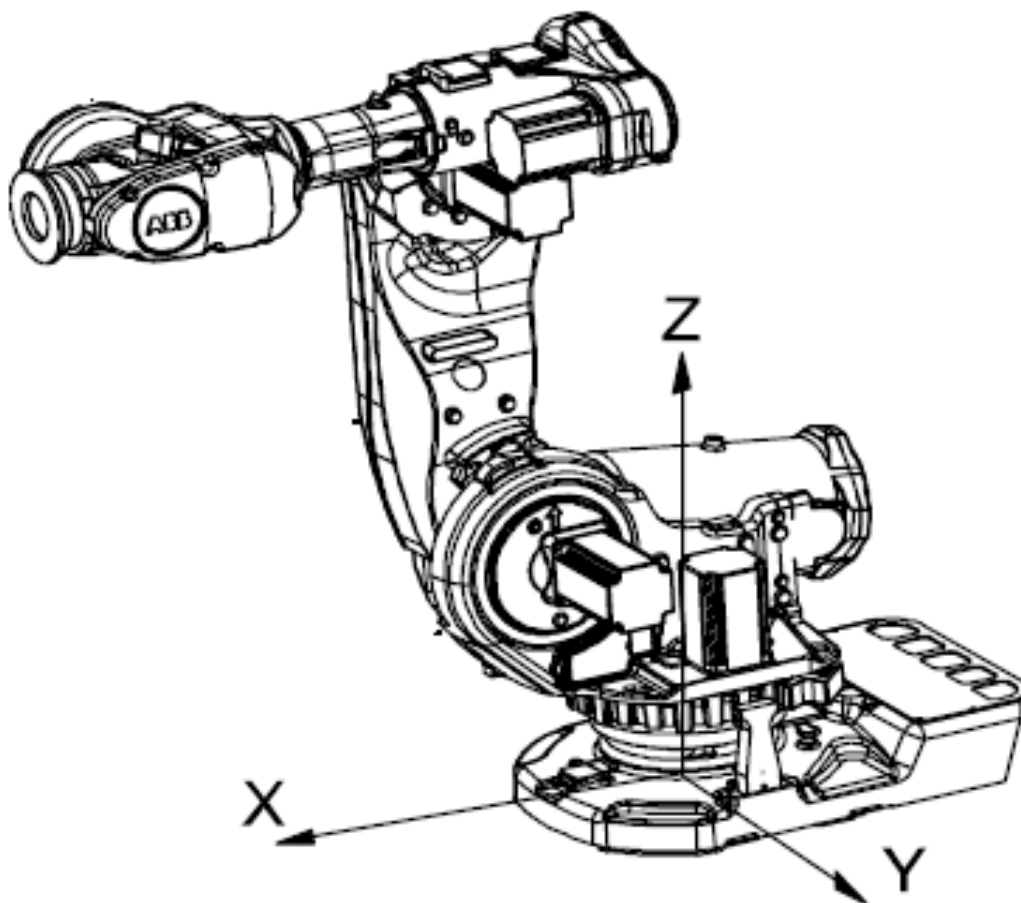
对大范围运动，且不要求确定的姿态，可选择关节坐标系。

轴类型	轴名称				动作说明	
	ABB	FANUC	YASKAWA	KUKA		
主轴 (基本轴)	轴 1	J1	S 轴	A1	本体 左右回转	
	轴 2	J2	L 轴	A2	大臂 上下运动	
	轴 3	J3	U 轴	A3	小臂 前后运动	
次轴 (腕部轴)	轴 4	J4	R 轴	A4	手腕 回旋运动	
	轴 5	J5	B 轴	A5	手腕 弯曲运动	
	轴 6	J6	T 轴	A6	手腕 扭曲运动	

(2) 机器人基坐标系

机器人示教与编程时经常使用

原点定义在机器人安装面与第一转动轴的交点处，X轴向前，Z轴向上，Y轴按右手法则确定。



(3) 工具坐标系

A. 机器人工具坐标系是由工具中心点 **TCP** 与座标方位组成。

B. 机器人联动运行时，**TCP** 是必需的。

运动指令：

1) **Reorient** 重定位运动（姿态运动）

机器人 **TCP** 位置不变，机器人工具沿座标轴转动，改变姿态。

2) **Linear** 线性运动

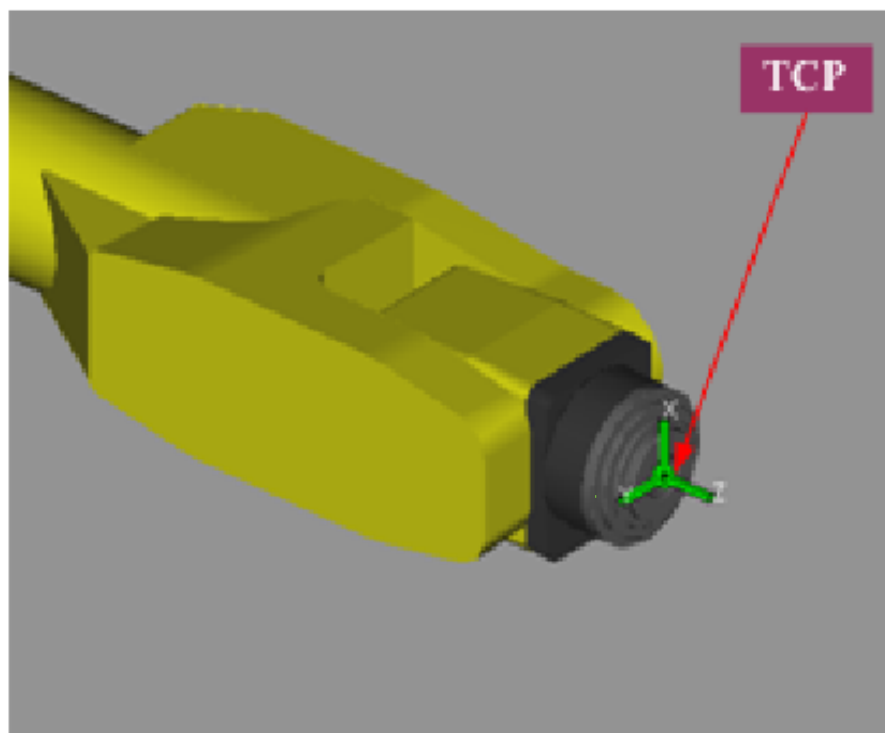
机器人工具姿态不变，机器人 **TCP** 沿座标轴线性移动。

C. 机器人程序支持多个 **TCP**，可以根据当前工作状态进行变换。

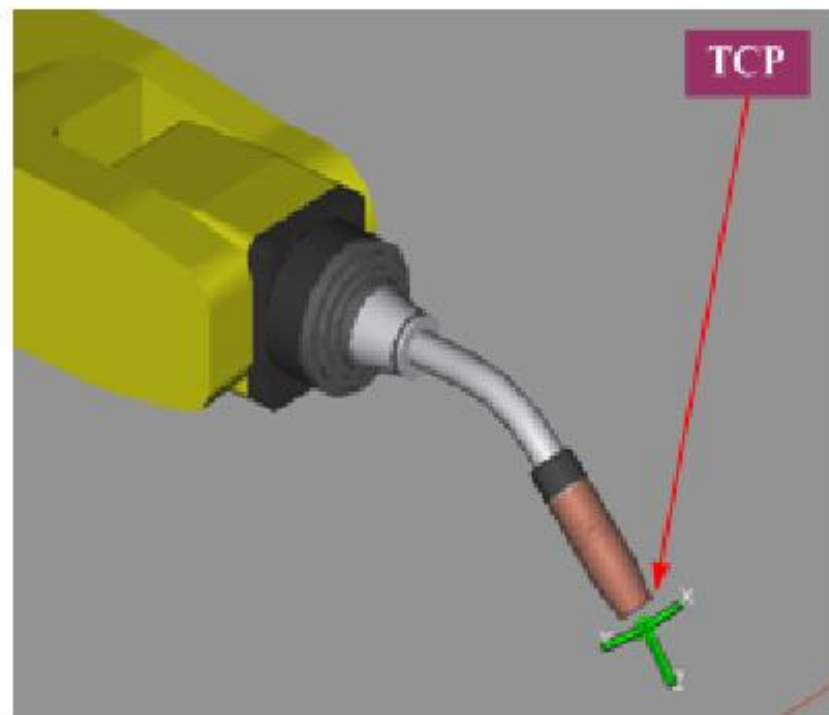
D. 机器人工具被更换，重新定义 **TCP** 后，可以不更改程序，直接运行。

机器人工具坐标系

工具坐标系的准确度直接影响机器人的轨迹精度。默认工具坐标系的原点位于机器人安装法兰的中心，当接装不同的工具（如焊枪）时，工具需获得一个用户定义的直角坐标系。

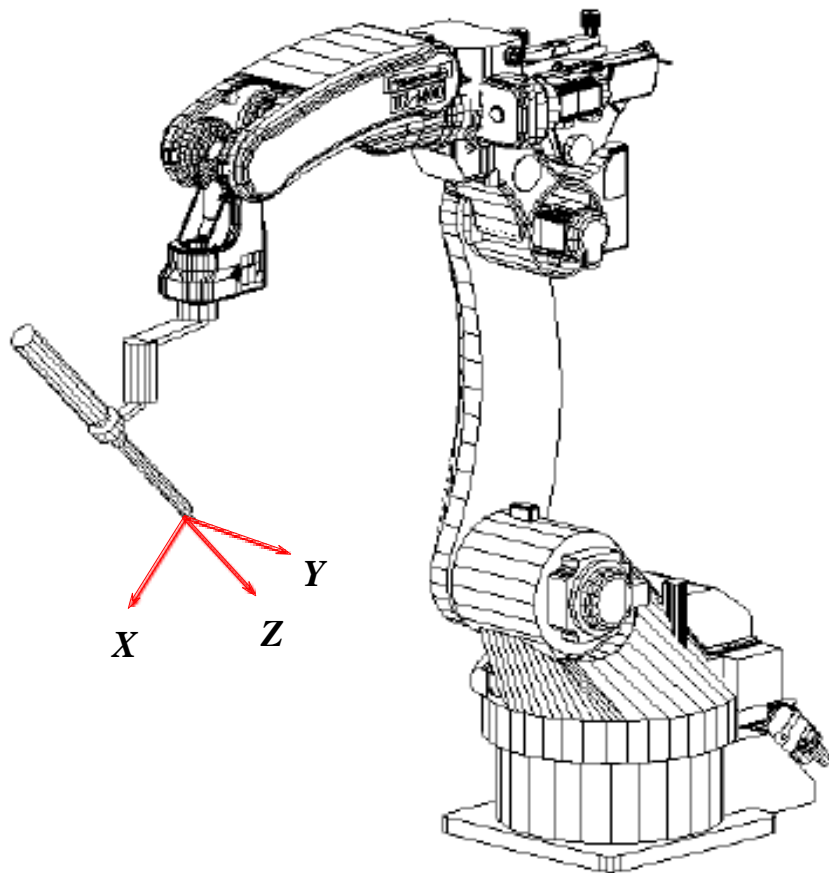


a)



b)

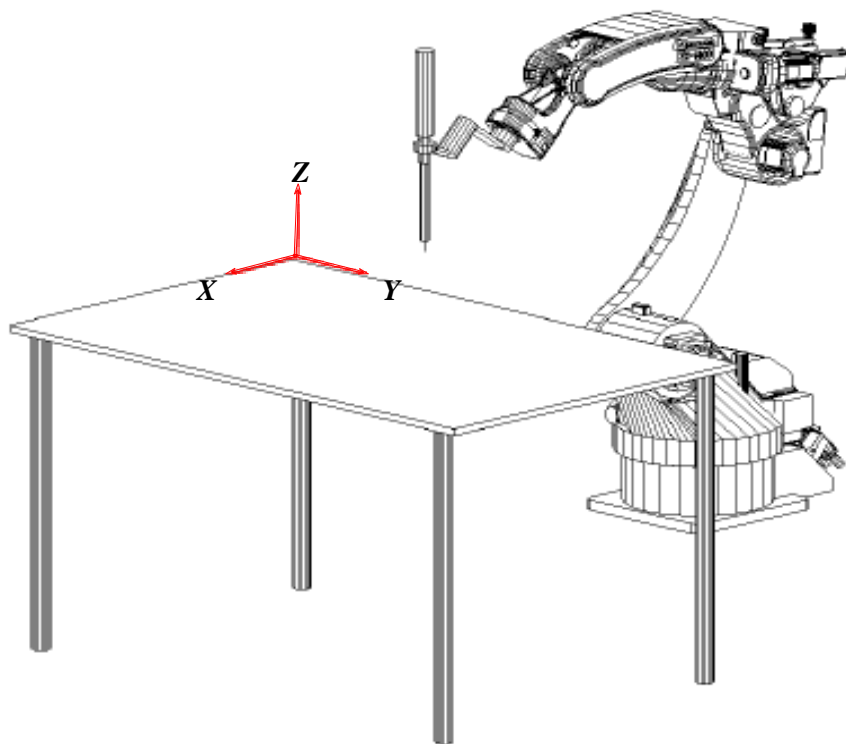
工具坐标系 原点定义在 TCP 点，并且假定工具的有效方向为 X 轴（有些机器人厂商将工具的有效方向定义为 Z 轴），而 Y 轴、Z 轴由右手法则确定。在进行相对于工件不改变工具姿态的平移操作时选用该坐标系最为适宜。



工具坐标系原点

(4) 用户坐标系

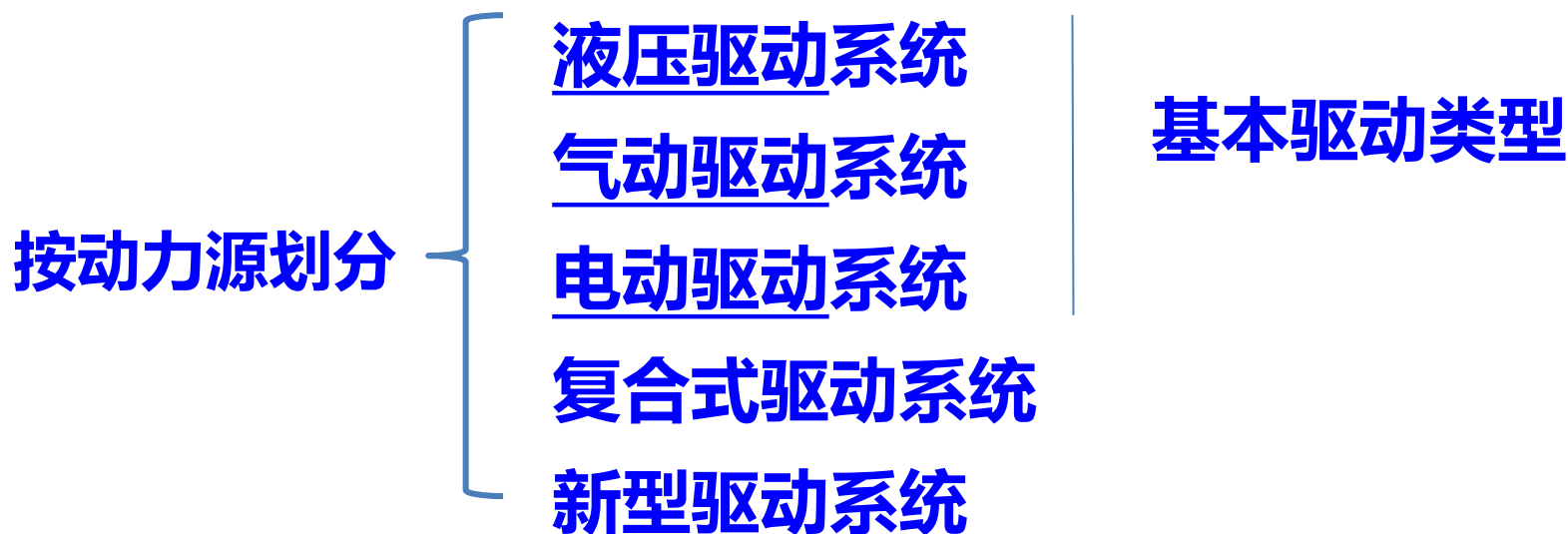
可根据需要定义用户坐标系。当机器人配备多个工作台时，选用户坐标系可使操作更为简单。



用户坐标系原点

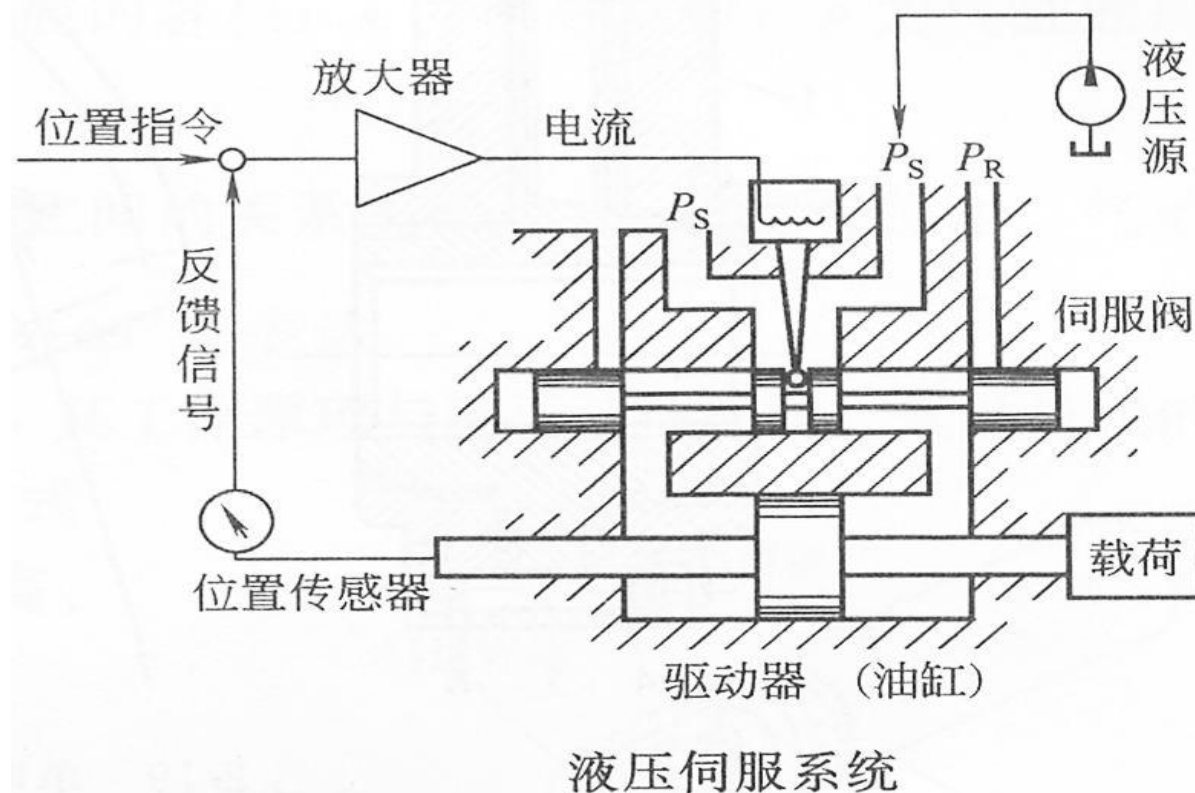
4. 工业机器人驱动系统

4.1 驱动系统分类



液压驱动系统:

由一般电动机带动液压泵，液压泵转动形成高压液流（也就是动力），液压管路将高压液体（一般是液压油）接到液压马达（阀），由液压马达转动形成驱动力。



具有输出功率大、控制简单特点，在机器人系统中得到广泛应用。

- 电液伺服驱动的机器人所采用的电液转换和功率放大元件有：**电液伺服阀、电液比例阀**等。
- 电液伺服动力机构：**电液伺服马达**、电液伺服液压缸、电液步进马达、电液步进液压缸、液压回转伺服执行器等。

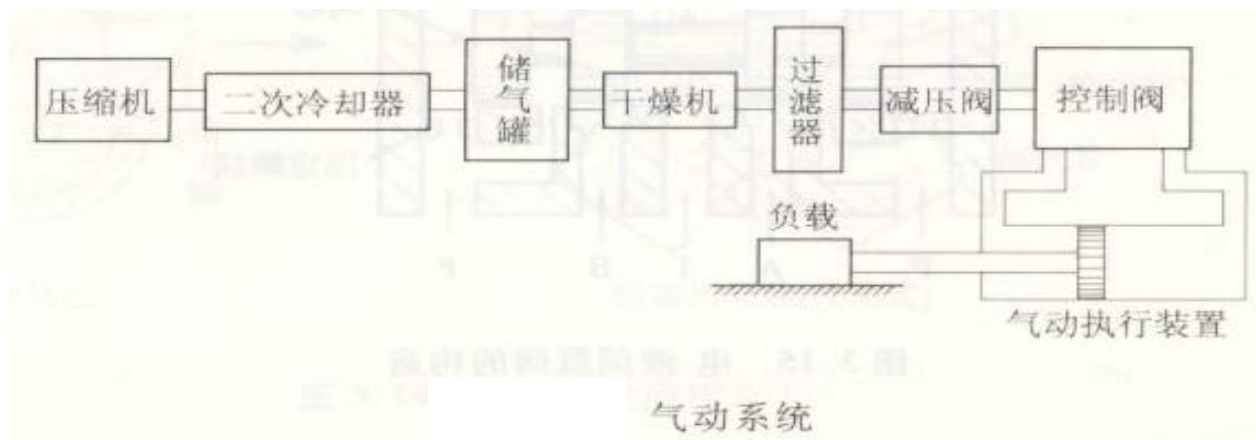
采用电液伺服驱动的机器人系统设计中，应注意：

伺服阀的布置，以使伺服阀与驱动器之间连接的管线距离最短，以提高系统的动态响应。

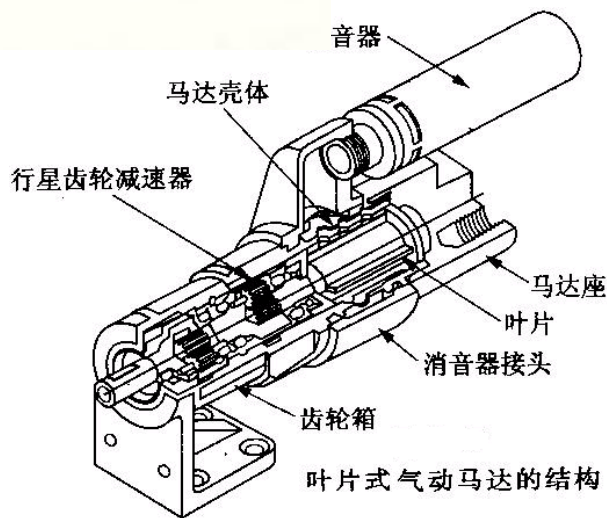
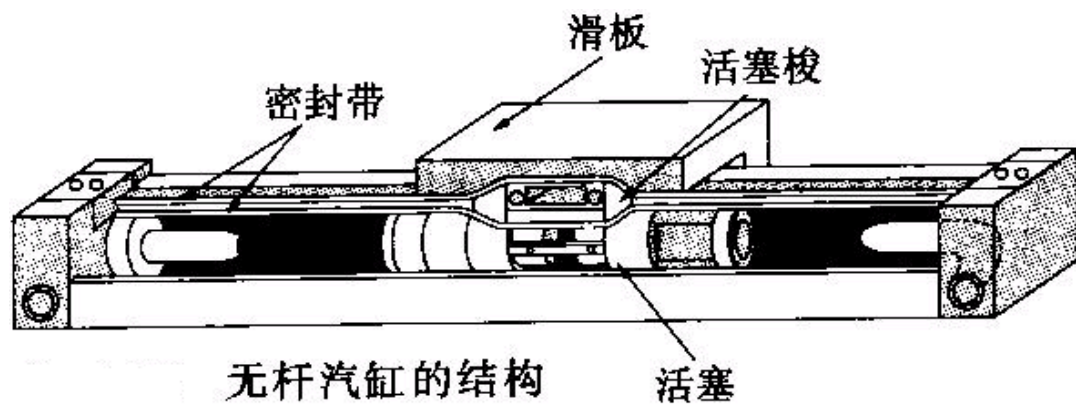
系统动力源压力以适中为宜[689~1379kPa]，回油管以及油冷却器必须按一定的尺寸制造，以利热量散发，保护回路中的部件。

气动驱动系统:

利用气体的**抗挤压力**来实现力的传递。



气动执行装置的种类: **气缸、气动马达。**



气动驱动

电机驱动系统:

电动驱动将电信号转换成角位移或线位移，包括：步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等。

机器人应用对电机要求:

(1) 有较大功率质量比和扭矩惯量比、高起动转矩、低惯量和较宽广且平滑的调速范围;

(2) 必须具有**较高的可靠性和稳定性**，并且具有较大的短时过载能力。

(3) 机器人末端执行器(手爪)应采用体积、质量尽可能小的电动机。

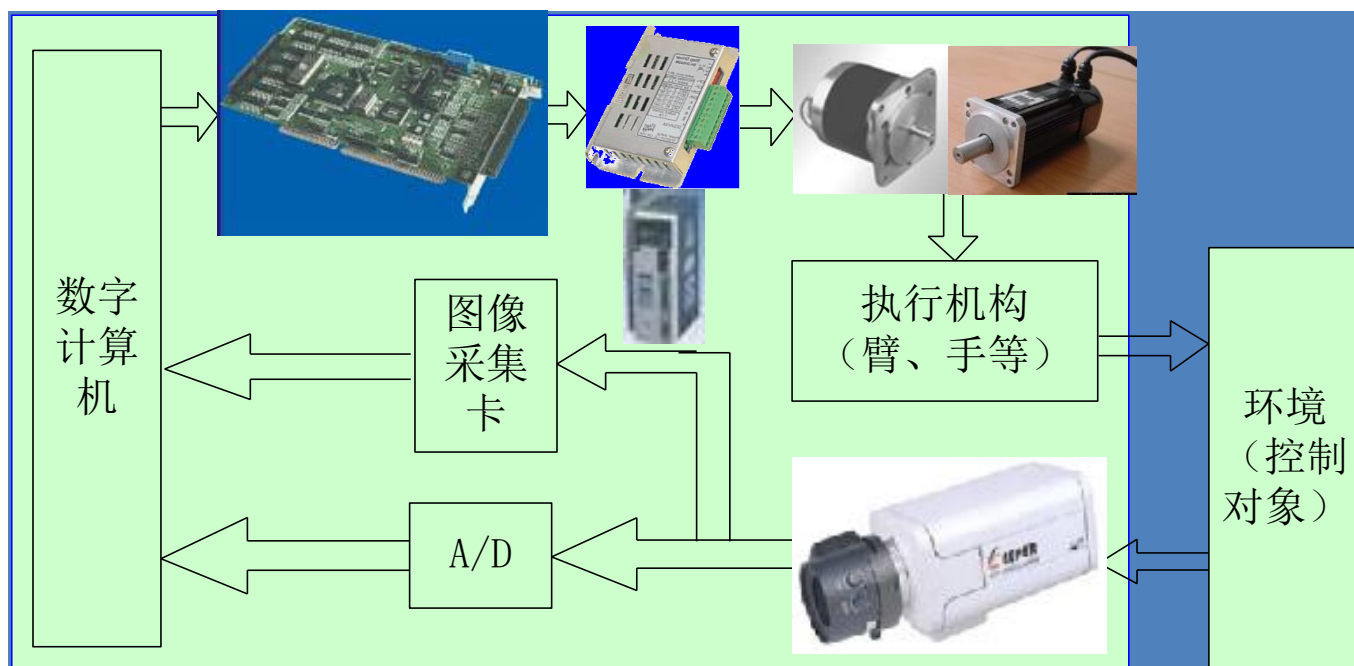
一般负载1000N以下的工业机器人大多采用**电伺服驱动系统**。**交流伺服电动机**由于采用电子换向，无换向火花，在易燃易爆环境中得到了广泛使用。

步进电动机主要适于开环控制系统，一般用于位置和速度精度要求不高的环境。机器人关节驱动电动机的功率范围一般为0.1~10kW。

新型执行装置：

压电执行装置：利用在压电陶瓷等材料上施加电压，而产生变形的压电效应。

形状记忆合金执行装置：利用镍钛合金等材料具有的形状随温度变化，温度恢复时形状也恢复的形状记忆性质。



三种基本驱动系统的主要性能特点

内容	液压驱动	气动驱动	电动驱动
输出功率	很大， 压力范围为： $50\sim1400\text{N}/\text{cm}^2$ ， 液体的不可压缩性	大 压力范围为 $40\sim60\text{N}/\text{cm}^2$ ， 最大可达 $100\text{N}/\text{cm}^2$	较大
控制性能	控制精度较高， 可无级调速， 可实现连续轨迹控制 但响应慢、体积大、 容易漏油。	气体压缩性大， 精度低， 阻尼效果差， 低速不易控制， 难以实现伺服控制	控制精度高，能精 确定位，反应灵敏 可实现高速、高精 度的连续轨迹控制 伺服特性好，控制 系统复杂

三种基本驱动系统的主要性能特点

内容	液压驱动	气动驱动	电动驱动
响应速度	快	较快	很快
结构性能及体积	功率 / 质量比大，体积小，结构紧凑，密封问题较大	功率 / 质量比较大，体积小，结构紧凑，密封问题较小	性能好，噪声低。电动机一般需配置减速装置。结构紧凑，无密封问题。
安全性	防爆性能较好，用液压油作传动介质，在一定条件下有火灾危险	防爆性能好，高于1000kPa(10个大气压)时应注意设备的抗压性	设备自身无爆炸和火灾危险。直流有刷电动机换向时有火花，对环境的防爆性能较差
对环境的影响	泄漏对环境有污染	排气时有噪声	很小

三种基本驱动系统的主要性能特点

内容	液压驱动	气动驱动	电动驱动
效率与成本	效率中等(0.3~0.6), 液压元件成本较高	效率低(0.15~0.2) 气源方便、结构简单, 成本低	效率为 0.5 左右, 成本高
维修及使用	方便, 但油液对环境 温度有一定要求	方便	较复杂
在工业机器人中 应用范围	适用于重载、低速驱动, 电液伺服系统适用于喷涂机器人、重载点焊机器人和搬运机器人	适用于中小负载, 快速驱动, 精度要求较低的有限点位程序控制机器人。如冲压机器人、机器人本体的气动平衡及装配机器人气动夹具	适用于中小负载, 要求具有较高的位置控制精度, 速度较高的机器人。如 AC 伺服喷涂机器人、点焊机器人、弧焊机器人、装配机器人等

4.2 驱动系统设计选用原则

一般情况下，各种机器人驱动系统的设计选用原则：

1) 考虑负载

2) 作业环境要求

3) 操作运行速度

重负载低速时可用液压驱动；
轻负载、高速时可用电动驱动系统；
轻负载、速度慢时可选用气动驱动系统

从事喷涂作业的工业机器人，由于工作环境需要防爆，考虑到其防爆性能，多采用电液伺服驱动系统和具有本征防爆的交流电动伺服驱动系统。

选用原则：

- 1) 考虑负载
- 2) 作业环境要求
- 3) 操作运行速度

在腐蚀性、易燃易爆气体、放射性物质环境中工作的移动机器人，一般采用交流伺服驱动。

如要求在洁净环境中使用，则多要求采用直接驱动的电动机驱动系统。

要求其有较高的**点位重复精度**和较高的**运行速度**，通常在速度相对较低($\leq 4.5\text{m/s}$)情况下，可采用AC、DC或步进电动机伺服驱动系统；

在**速度、精度要求均很高**的条件下，多采用直接驱动(DD)的电动机驱动系统。

本章小结：

机构研究是机器人非常重要的问题

- 1.介绍了机器人组成；**
- 2.基本机械机构及部件**
- 3. 坐标系定义；**
- 4.介绍了主要驱动方式**