

工业机器人操作与运维知识点串讲

——工业机器人认知



北京新奥时代科技有限责任公司
二〇一九年九月

01 认识工业机器人

02 工业机器人系统构成

03 ABB工业机器人系统组成

04 搬运码垛工作站的认知

北京新奥时代科技有限责任公司

北京新奥时代科技有限责任公司

认识工业机器人

知识点

初级:

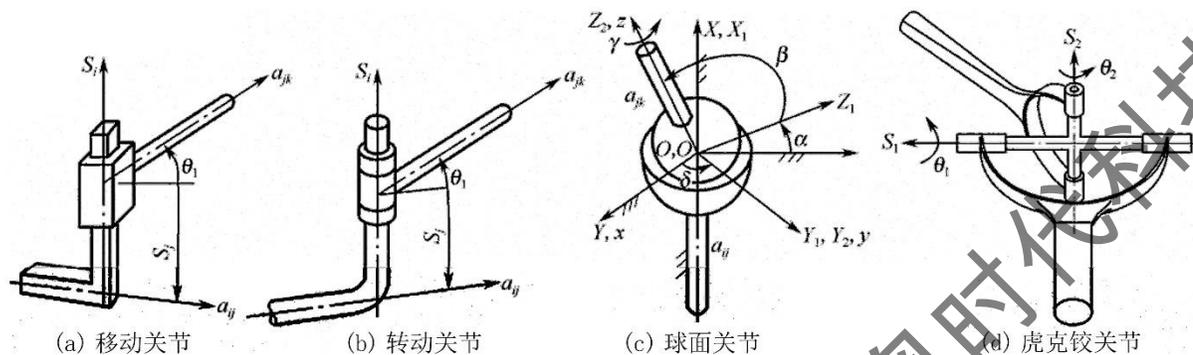
- 工业机器人关节机构
- 工业机器人性能指标
- 工业机器人分类
- 工业机器人坐标系

北京新奥时代科技有限责任公司



1、认识工业机器人

► 工业机器人关节机构



工业机器人关节：

在机器人机构中，两相邻连杆之间有一个公共的轴线，两杆之间允许沿该轴线相对移动或绕该轴线相对转动，构成一个运动副，也称为关节。机器人关节的种类决定了机器人的运动自由度，移动关节、转动关节、球面关节和虎克铰关节是机器人机构中经常使用的关节类型。

移动关节—用字母**P**表示，它允许两相邻连杆沿关节轴线相对移动，这种关节具有1个自由度，如左图（a）所示。

转动关节—用字母**R**表示，它允许两相邻连杆绕关节轴线相对转动，这种关节具有1个自由度，如左图（b）所示。

球面关节—用字母**S**表示，它允许两连杆之间有三个独立的相对转动，这种关节具有3个自由度，如左图（c）所示。

虎克铰关节—用字母**T**表示，它允许两连杆之间有两个相对转动，这种关节具有2个自由度，如左图（d）所示。

1、认识工业机器人

► 工业机器人关节机构

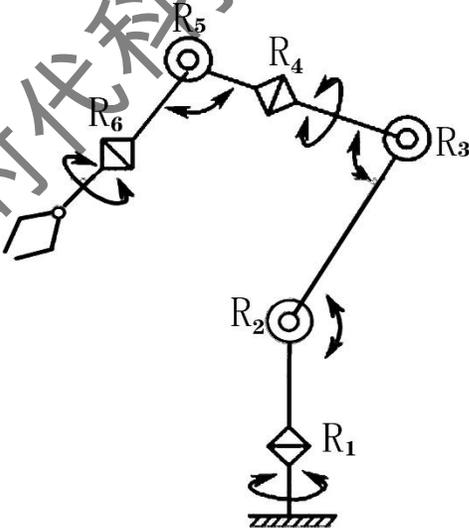
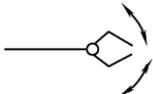
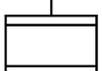
工业机器人结构运动简图：多个关节组合构成机器人的结构，机器人结构运动简图是指用结构与运动符号表示机器人手臂、手腕和手指等结构及结构间的运动形式的简易图形符号，如下表所示：

运动和结构机能	结构运动符号	图例说明	备注
移动1			
移动2			
摆动1	 (a) (b)		(a) 绕摆动轴旋转角度小于 360° ; (b) 是 (a) 的侧向图形符号。
摆动2	 (a) (b)		(a) 能绕摆动轴 360° 旋转; (b) 是 (a) 的侧向图形符号。
回转1			一般用于表示腕部回转

1、认识工业机器人

► 工业机器人关节机构

接上表：机器人结构运动简图

运动和结构机能	结构运动符号	图例说明	备注
回转2			一般用于表示机身的旋转
钳爪式手部			
磁吸式手部			
气吸式手部			
行走机构			
底座固定			

1、认识工业机器人

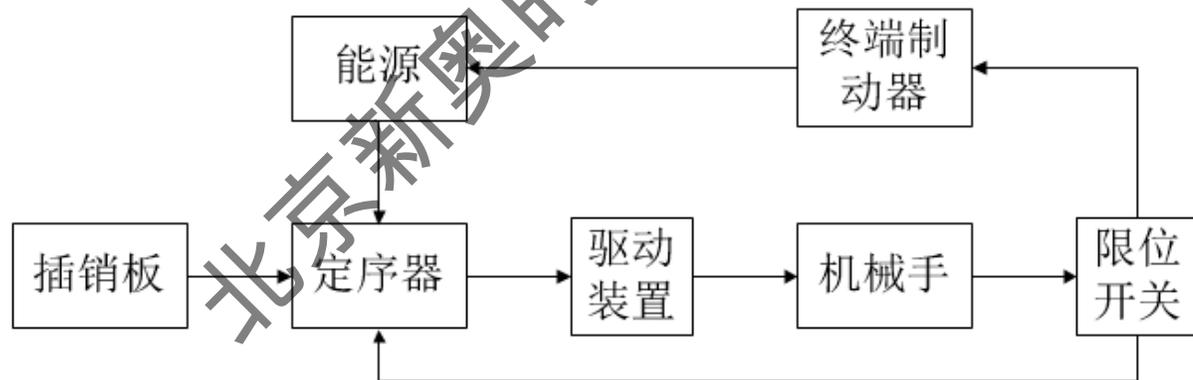
► 工业机器人分类

工业机器人的种类很多，其功能、特征、驱动方式、应用场合等不尽相同。关于机器人的分类，国际上没有制定统一的标准。从不同的角度，会有不同的分类方法。

(1) **按机器人的结构特征划分：**机器人的结构形式多种多样，典型机器人的运动特征用其坐标特性来描述。按结构特征来分，工业机器人通常可以分为直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人、多关节机器人、并联机器人、双臂机器人、AGV移动机器人等。

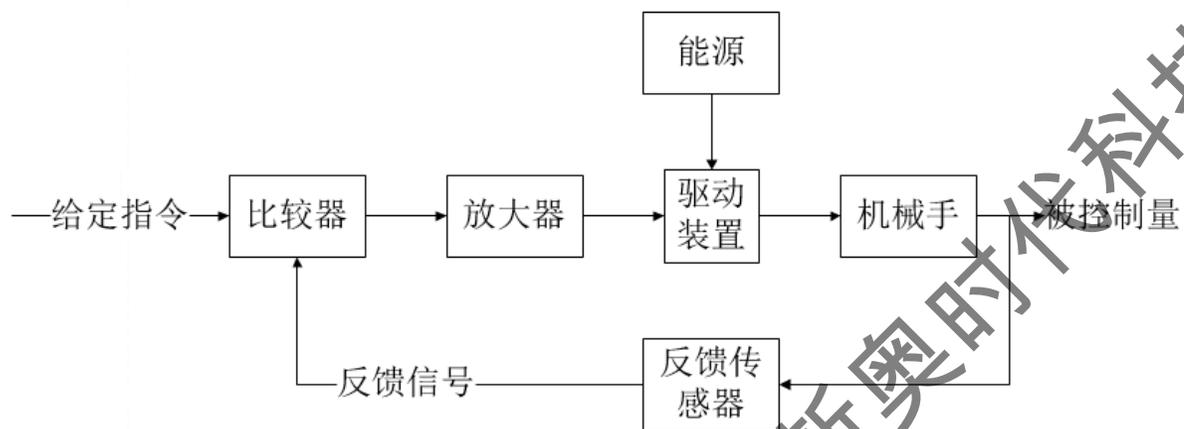
(2) **按控制方式划分：**按照机器人的控制方式可把机器人分为非伺服控制机器人和伺服控制机器人两种。

① **非伺服控制机器人：**非伺服控制机器人工作能力比较有限，它们往往涉及那些叫做“终点”、“抓放”或“开关”式机器人，尤其是“有限顺序”机器人。这种机器人按照预先编好的程序顺序进行工作，使用终端限位开关、制动器、插销板和定序器来控制机器人机械手的运动。其工作原理方块图如下图所示。



1、认识工业机器人

➤ 工业机器人分类



② 伺服控制机器人：伺服控制机器人比非伺服控制机器人有更强的工作能力，因而价格较贵，但在某些情况下不如简单的机器人可靠。左图表示伺服控制机器人的方块图。

伺服控制机器人又可细分为连续轨迹控制机器人和点位控制机器人。点位控制机器人的运动为点到点之间的直线运动，连续轨迹控制机器人的运动轨迹可以是空间的任意连续曲线。

1、认识工业机器人

► 工业机器人分类

(3) 按驱动方式划分：根据能量转换方式的不同，工业机器人驱动类型可以划分为液压驱动、气压驱动、电力驱动和新型驱动四种类型。

①液压驱动：液压驱动是使用液体油液来驱动执行机构的。与气压驱动机器人相比，液压驱动机器人具有大得多的负载能力，其结构紧凑，传动平稳，但液体容易泄露，不宜在高温或低温场合作业。

②气压驱动：气压驱动机器人是以压缩空气来驱动执行机构的。这种驱动方式的优点是：空气来源方便，动作迅速，结构简单。缺点是：工作的稳定性与定位精度不高，抓力较小，所以常用于负载较小的场合。

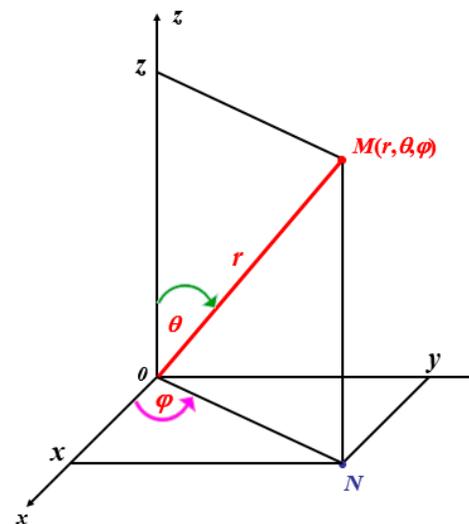
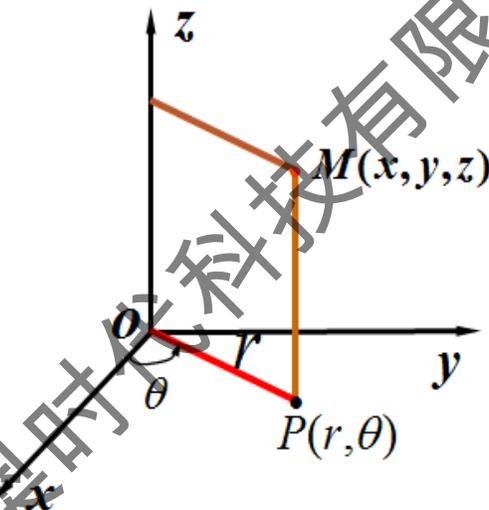
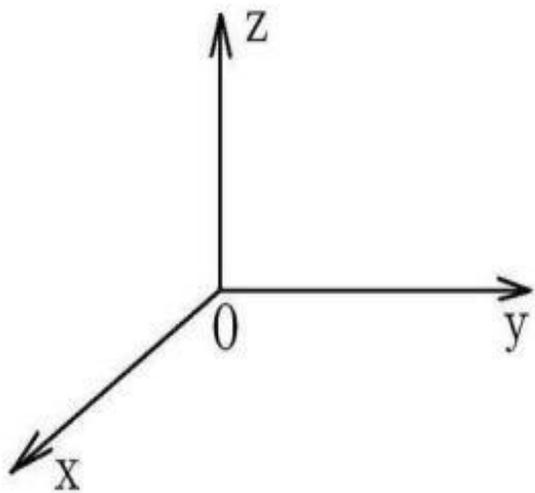
③电力驱动：电力驱动是利用电动机产生的力矩驱动执行结构的。目前，越来越多的机器人采用电力驱动方式，电力驱动易于控制，运动精度高，成本低。

④新型驱动：伴随着机器人技术的发展，出现了利用新的工作原理制造的新型驱动器，如静电驱动器、压电驱动器、形状记忆合金驱动器、人工肌肉及光驱动器等。

1、认识工业机器人

➤ 工业机器人坐标系

(1) 坐标系主要包括：直角坐标系、柱面坐标系、球面坐标系



北京新奥时代科技有限责任公司

1、认识工业机器人

➤ 工业机器人坐标系

(2) 工业机器人的坐标系主要包括：基坐标系、关节坐标系、工件坐标系、工具坐标系、大地坐标系及用户坐标系。

①基坐标系是机器人其他坐标系的参照基础，是机器人示教与编程时经常使用的坐标系之一，它的位置没有硬性的规定，一般定义在机器人安装面与第一转动轴的交点处。

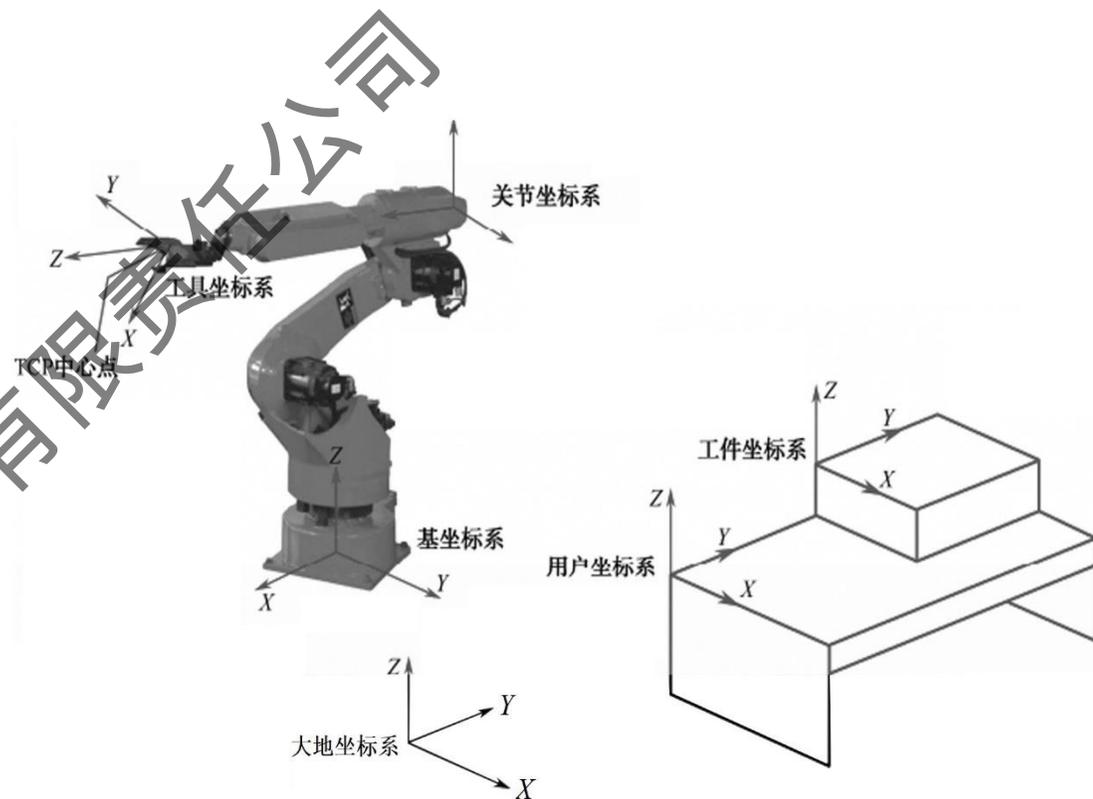
②关节坐标系的原点设置在机器人关节中心点处，反映了该关节处每个轴相对该关节坐标系原点位置的绝对角度。

③工件坐标系是用户自定义的坐标系，用户坐标系也可以定义为工件坐标系，可根据需要定义多个工件坐标系，当配备多个工作台时，选择工件坐标系操作更为简单。

④工具坐标系是原点安装在机器人末端的工具中心点（Tool Center Point, TCP）处的坐标系，原点及方向都是随着末端位置与角度不断变化的，该坐标系实际是将基坐标系通过旋转及位移变化而来的。

⑤在工作单元或工作站中的固定位置有其相应的零点。这有助于处理若干个机器人或有外轴移动的机器人。在默认情况下，大地坐标系与基坐标系是一致的。

⑥用户坐标系可用于表示固定装置、工作台等设备。这就在相关坐标系链中提供了一个额外级别，有助于处理持有工件或其它坐标系的处理设备。



随堂练习

工业机器人的种类有很多，其功能、特征、驱动方式以及应用场合等不尽相同。以下工业机器人的分类标准中，不是按照结构特征划分的是（ ）

- A. 直角坐标系型机器人
- C. AGV移动机器人

- B. 多关节机器人
- D. 连续轨迹控制机器人

北京新奥时代科技有限责任公司

北京新奥时代科技有限责任公司

工业机器人系统构成

知识点

初级:

- 工业机器人的结构
- 工业机器人驱动装置
- 工业机器人末端执行器
- 工业机器人控制系统

北京新奥时代科技有限责任公司



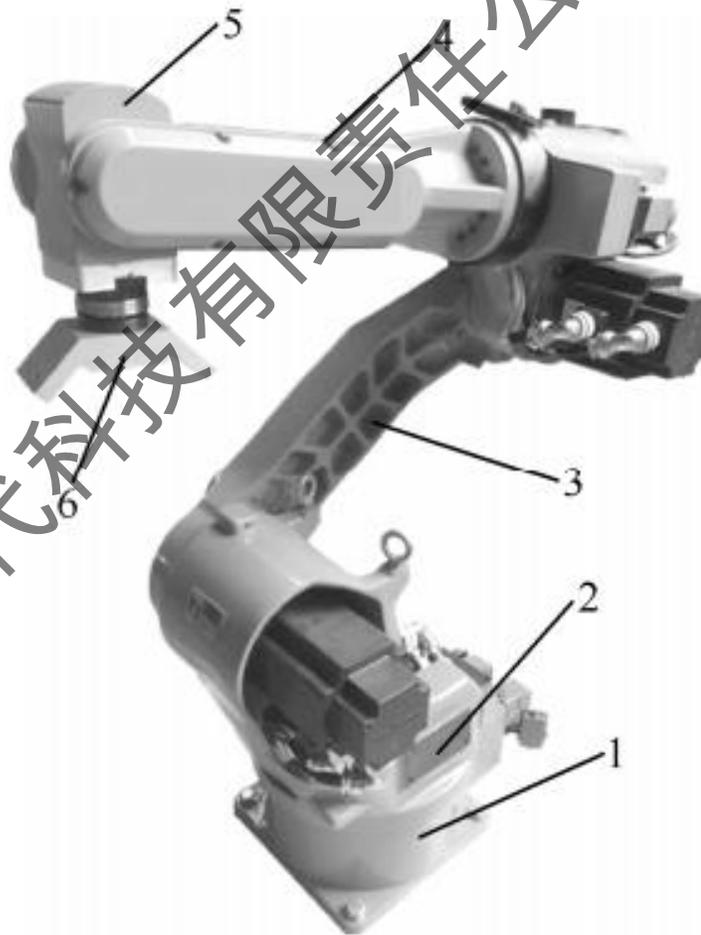
2、工业机器人系统构成

► 工业机器人的结构

1. 串联机器人结构：垂直串联结构是工业机器人最常见的结构形态，六轴工业机器人是典型的垂直串联关节机器人，由关节和连杆依次串联而成的，而每一关节都由一台伺服电机驱动，因此，如将机器人分解，它便是由若干台伺服电机经减速器减速后，驱动运动部件的机械运动机构的叠加和组合。

(1) 本体基本结构形式

常用的小规格、轻量6轴垂直串联机器人，由基座、机身、臂部（大臂、小臂）、腕部和手部构成。基座作为最底层支撑部件，负责整体的安装连接，具体可有不同的结构形式。此结构简称为前驱结构。



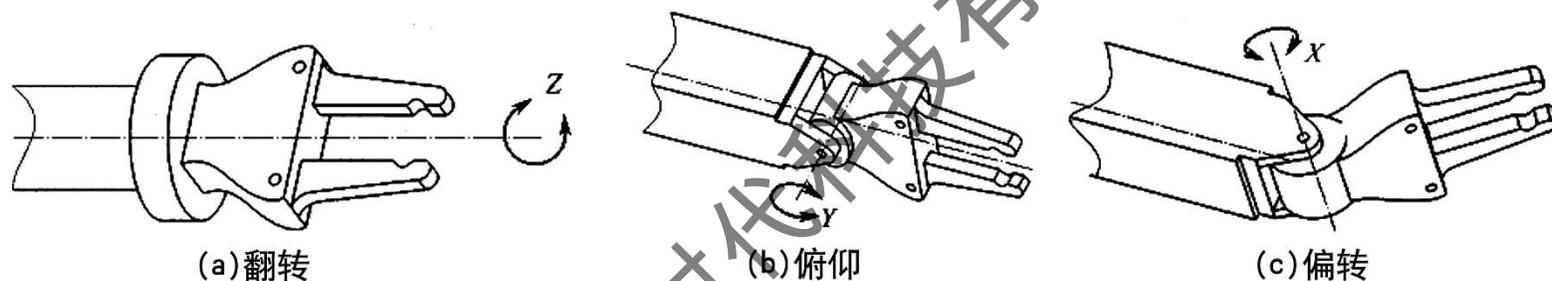
- 1-基座；
- 2-机身；
- 3-大臂；
- 4-小臂；
- 5-腕部；
- 6-手部

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人的结构

①腕部的自由度

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，这便是腕部运动的三个自由度偏转Y（Yaw）、俯仰P（Pitch）和翻转R（Roll）。



②腕部的分类

I. 按自由度分类

- a. 单自由度腕部。
- b. 二自由度腕部。
- c. 三自由度腕部。

II. 按腕部的驱动方式分类

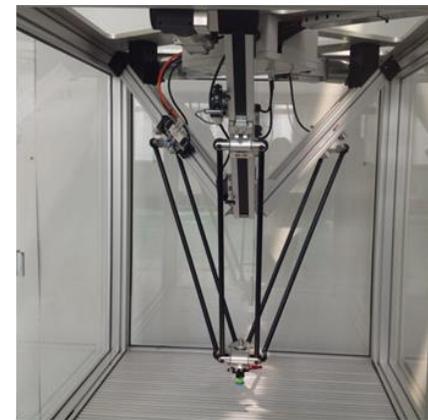
- a. 直接驱动腕部。驱动源直接装在腕部上。
- b. 远距离传动腕部。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人的结构

2. 平面关节机器人结构：从机械结构上看，SCARA机器人类似于水平放置的垂直串联机器人，其手臂轴为沿水平方向串联延伸、轴线相互平行的摆动关节；驱动摆动臂回转的伺服电机可前置在关节部位（前驱），也可统一后置在基座部位（后驱）。

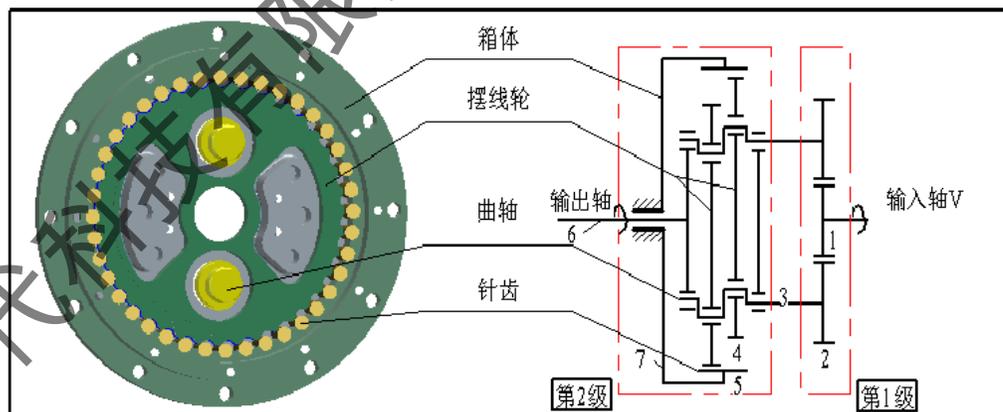
3. 并联机器人结构：从机械结构上说，当前实用型的Delta机器人，总体可分为回转驱动型（Rotary Actuated Delta）和直线驱动型（Linear Actuated Delta）两大类。



2、工业机器人系统构成

► 工业机器人驱动装置

(1) 工业机器人减速机：在工业机器人中，减速机是连接机器人动力源和执行机构的中间装置，是保证工业机器人实现到达目标位置的精确度的核心部件。目前应用于工业机器人的减速机产品主要有谐波减速器和RV减速器，是工业机器人关键的机械核心部件。



1.输入轴 2.行星轮 3.曲柄轴 4 摆线轮5 针齿 6 输出轴 7 针齿壳

序号	种类	技术特点	应用位置	缺点
1	谐波减速器	承载能力强，传动精度高，传动比大，传动平稳，安装调整方便	小臂、腕部或手部等轻负载部位	对材质要求高，制造工艺复杂，产业化生产不足
2	RV减速器	传动比大，结构刚性好，输出转矩高，弹性回差误差小，疲劳强度高	机座、大臂、肩部等重负载部位	结构复杂，维护修理困难

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人末端执行器

(1) 末端执行器定义

根据实际中的不同描述，可以具有两种定义方式：

①机器人的末端执行器是一个安装在移动设备或者机器人手臂上，使其能够拿起一个对象，并且具有处理、传输、夹持、放置和释放对象到一个准确的离散位置等功能的机构。

②末端执行器也叫机器人的手部，它是安装在工业机器人手腕上直接抓握工件或执行作业的部件。包括从气动手爪之类的工业装置到弧焊和喷涂等应用的特殊工具。



(2) 末端执行器特点

①**手部与手腕相连处可拆卸**。手部与手腕有机械接口，也可能有电、气、液接头，当工业机器人作业对象不同时，可以方便地拆卸和更换手部。

②**手部的通用性比较差**。工业机器人手部通常是专用的装置，比如：一种手爪往往只能抓握一种或几种在形状、尺寸、重量等方面相近似的工件；一种工具只能执行一种作业任务。

③**手部是一个独立的部件**。假如把手腕归属于手臂，那么工业机器人机械系统的三大件就是机身、手臂和手部（末端执行器）。手部对于整个工业机器人来说是完成作业好坏、作业柔性好坏的关键部件之一。具有复杂感知能力的智能化手爪的出现，增加了工业机器人作业的灵活性和可靠性。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人末端执行器

(3) 末端执行器分类

由于机器人的用途不同，因此要求末端执行器的结构和性能也不相同。

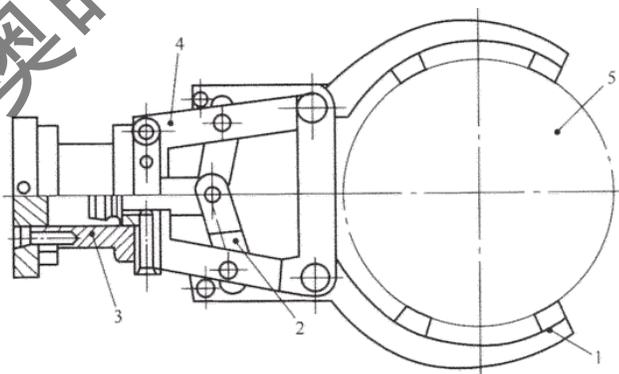
按其功能，末端执行器可分成两大类即手爪类和工具类。当机器人进行物件的搬运和零件的装配时，一般采用手爪类末端执行器，其特点是可以握持或抓取物体。

按其智能化程度分，可以分为普通式及智能化末端执行机构。普通式即不具备传感器的末端执行机构；智能化即具备一种或多种传感器。

(4) 手爪类末端执行器

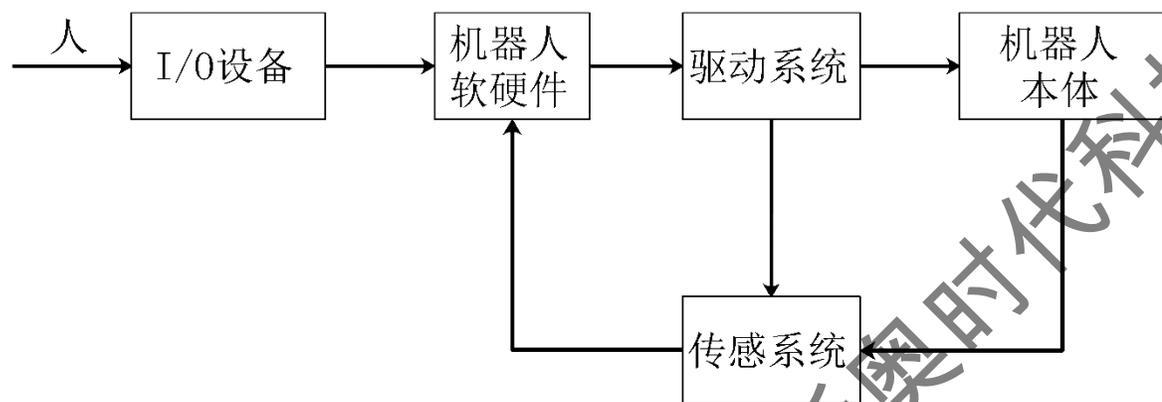
①夹持类手爪：夹持类手爪与人手相似，是工业机器人常用的一种手部形式。一般由手指（手爪）和驱动装置、传动机构和承接支架组成，如左图所示，能通过手爪的开闭动作实现对物体的夹持。

- 1-手指；
- 2-传动机构；
- 3-驱动装置；
- 4-支架；
- 5-工件。



2、工业机器人系统构成

➤ 工业机器人控制系统



(1) 控制系统特点:

工业机器人控制系统作为机器人重要组成部分之一，主要作用是根据操作人员的指令操作和控制机器人的执行机构使其完成作业任务的动作要求。一个好的控制器要有便捷、灵活的操作方式，多种形式的运动控制方式和安全可靠的运行模式。构成机器人控制系统的要素主要有计算机硬件系统及操作控制软件、输入/输出设备及装置、驱动系统、传感器系统。各要素间的关系如图所示。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人控制系统

特点	描述
复杂的运动描述	机器人的控制与机构运动学及动力学密切相关。机器人的状态可以在各种坐标下进行描述，应当根据需要，选择合适的参考坐标系，并作适当的坐标变换。经常要求正向运动学和反向运动学的解，除此之外还要考虑惯性力、外力（包括重力）及哥氏力、向心力的影响。
多自由度	一个简单的机器人也至少有3~5个自由度，比较复杂的机器人有十几个甚至几十个自由度。每个自由度一般包含一个伺服机构，它们必须协调起来，组成一个多变量系统。
计算机控制	把多个独立的伺服系统有机地协调起来，使其按照人的意志行动，甚至赋予机器人一定的“智能”，这个任务只能由计算机来完成。因此，机器人控制系统必须是一个计算机控制系统，而计算机软件担负着更艰巨的任务。
复杂的数学模型	描述机器人状态和运动的数学模型是一个非线性模型，随着状态的不同和外力的变化，其参数也在变化，各变量之间还存在耦合。因此，仅仅利用位置闭环是不够的还要利用速度甚至加速度闭环。系统中经常用到重力补偿、前馈、解耦或自适应等控制方法。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人控制系统

(2) 控制系统基本功能：工业机器人控制系统的主要任务是控制工业机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹、操作顺序及动作的时间等。其基本功能如下表所示。

基本功能	描述
示教再现功能	机器人控制系统可实现离线编程、在线示教和间接示教。在线示教包括示教器和导引示教两种。在示教过程中，可储存作业顺序、运动路径、运动方式、运动速度和与生产工艺有关的信息。再现过程中，机器人按照示教好的加工信息执行特定的作业。
坐标设置功能	一般的工业机器人控制器设置有关节坐标系、绝对坐标系、工具坐标系、用户自定义坐标系四种。
与外围设备联系功能	机器人控制器设置有输入和输出接口、通信接口、网络接口和同步接口，并具有示教盒、操作面板以及显示屏等人机接口。此外，还具有其他多种传感器的接口，如视觉、触觉、听觉、力觉（或力矩）传感器等多种传感器接口。
位置伺服功能	包括机器人多轴联动、运动控制、速度和加速度控制、动态补偿等。还可以实现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。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人控制系统

(3) 控制方式：工业机器人控制方式到现在为止还没有一个统一的标准，一般有如下表所示的几种分类：

按运动坐标控制方式分类	关节空间运动控制
	直角坐标空间运动控制
按控制系统对工作环境变化的适应程度分类	程序控制系统
	适应性控制系统
	人工智能控制系统
按控制的机器人数量分类	单控系统
	群控系统
按运动控制方式的控制对象不同分类	位置控制
	速度控制
	力控制

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人控制系统

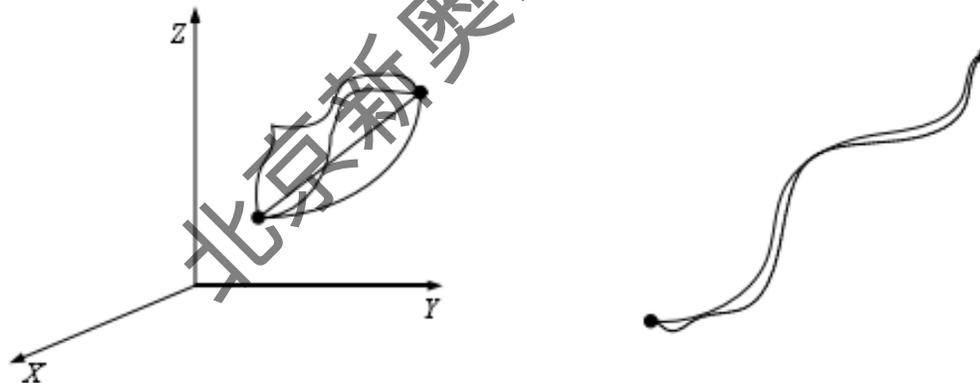
2) 按运动控制方式的被控对象分类

运动控制按被控对象的不同可分为位置控制、速度控制、加速度控制、力控制、力矩控制、力和位置混合控制等，而实现机器人的位置控制是工业机器人的基本控制任务。

① 位置控制

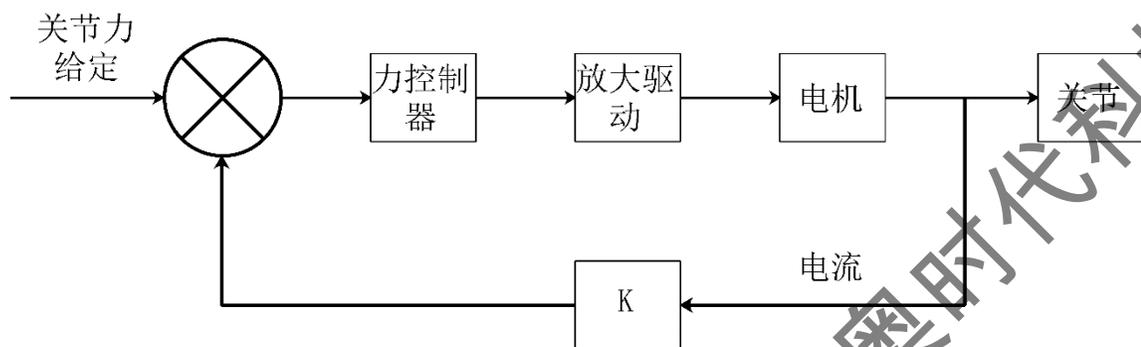
工业机器人的很多作业的实质是控制机器人末端执行器的位姿，以实现对其运动轨迹的控制，主要分为点到点 (point to point, PTP) 运动和连续轨迹运动 (continuous-path, CP)。

机器人连续路径运动的实现是以点位运动为基础，通过在相邻两点之间采用满足精度要求的直线或圆弧轨迹插补运算，即可实现轨迹的连续化。机器人再现时，主控制器（上位机）从存储器中逐点取出各示教点空间位姿坐标值，通过对其进行直线或圆弧插补运算，生成相应路径规划，然后把各插补点的位姿坐标值通过运动学逆解运算转换成关节角度值，分送机器人各关节或关节控制器（下位机）。



2、工业机器人系统构成

➤ 工业机器人控制系统



② 力/力矩控制

力/力矩控制应用于机器人末端执行器与环境或作业对象的表面有接触的情况，如应用于装配、加工、抛光等作业的机器人，工作过程中要求机器人手爪与作业对象接触的同时保持一定的压力。力/力矩控制是对位置控制的补充，这种方式的控制原理与位置伺服控制原理也基本相同，不过输入量和反馈量不是位置信号，而是力/力矩信号。左图给出了关节的力/力矩控制框图。

③ 智能控制方式

实现智能控制的机器人可通过传感器获得周围环境的信息，并根据自身内部的知识库做出相应的决策。采用智能控制技术，可使机器人具有较强的环境适应性及自学习能力。智能控制技术的发展有赖于近年来神经网络、基因算法、遗传算法、专家系统等人工智能技术的迅速发展。

2、工业机器人系统构成

► 工业机器人控制系统

(4) 控制系统结构:

工业机器人控制系统有集中控制、主从控制和分布控制3种结构。

1) 集中控制方式

集中控制方式用一台计算机实现全部控制功能，结构简单、成本低，但实时性差、难以扩展。在早期的机器人中常采用这种结构。

2) 主从控制方式

主从控制方式采用主、从两级处理器实现系统的全部控制功能。主CPU实现管理、坐标变换、轨迹生成和系统自诊断等；从CPU实现所有关节的动作控制。主从控制方式系统实时性较好，适于高精度、高速度控制，但其系统扩展性较差，维修困难。

3) 分布控制方式

分布控制方式按系统的性质和方式将系统控制分成几个模块，每一个模块各有不同的控制任务和控制策略，各模式之间可以是主从关系，也可以是平等关系。这种方式实时性好，易于实现高速、高精度控制，易于扩展，可实现智能控制，是目前流行的方式。其主要思想是“分散控制，集中管理”。

随堂练习

1. () 通常作为工业机器人的技术指标，反映工业机器人动作的灵活性，可用轴的直线移动、摆动或旋转动作的数目来表示。

- A. 速度 B. 灵敏度 C. 自由度 D. 摆动弧度

2. 驱动系统相当于“人体的肌肉”按照能量转换方式的不同，工业机器人的驱动类型可以分为多种，下列驱动方式中，相对负载能力较为突出的是 ()

- A. 电力驱动 B. 人工肌肉 C. 液压驱动 D. 气压驱动

北京新奥时代科技有限责任公司

北京新奥时代科技有限责任公司

搬运码垛工作站的认知

知识点

初级：

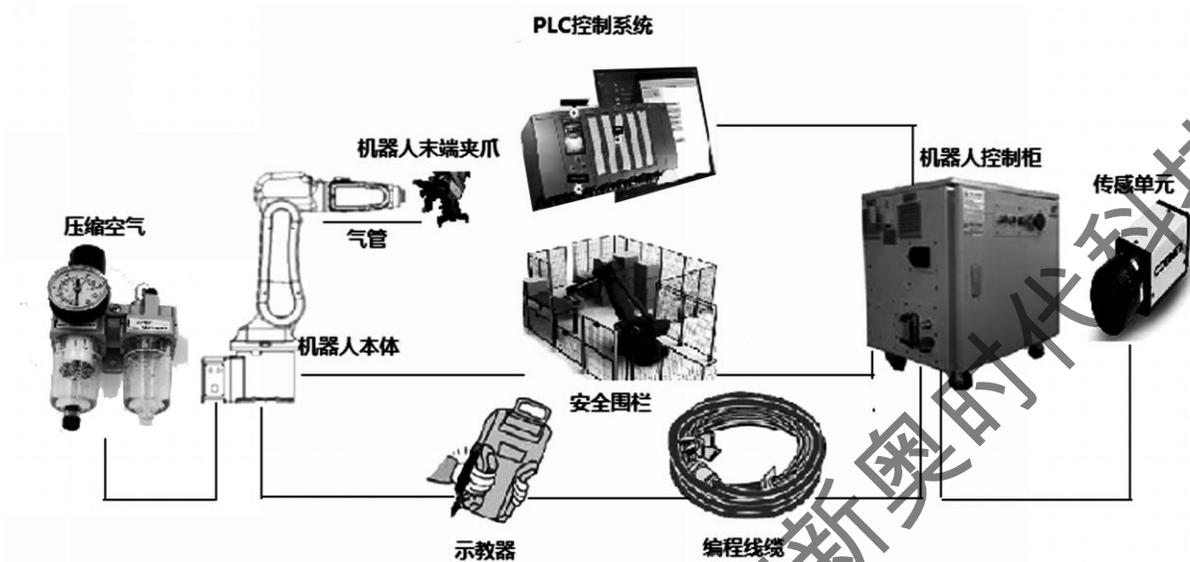
- 搬运码垛工作站的构成
- ABB IRB120工业机器人工作空间
- ABB IRB120本体认知（关节转动方向）
- ABB工业机器人控制柜认知
- 搬运码垛工作站的应用场景

北京新奥时代科技有限责任公司



3、搬运码垛工作站的认知

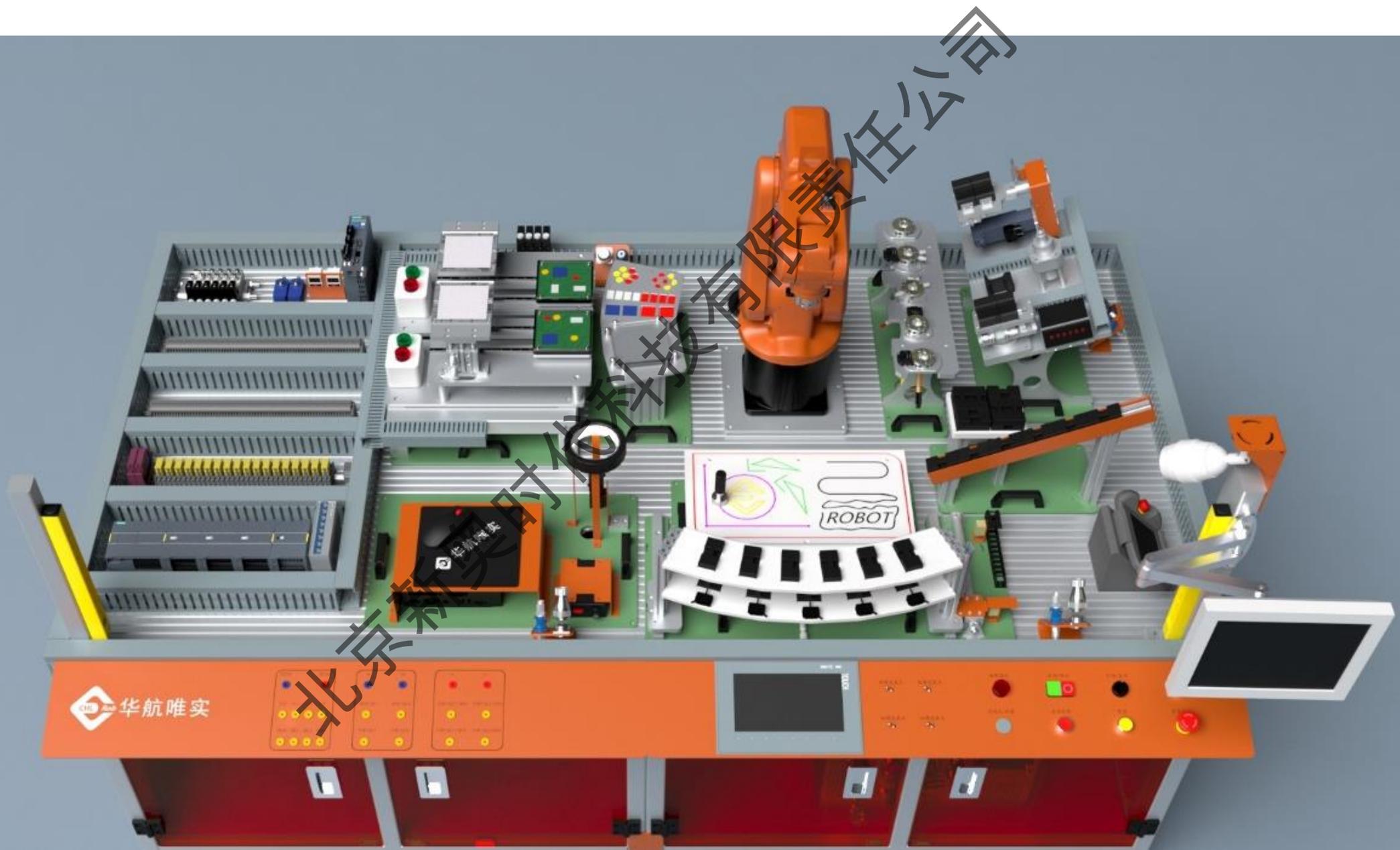
➤ 搬运码垛工作站的构成



搬运作业是指用一种设备握持工件，从一个加工位置移动到另一个加工位置的过程。如果采用工业机器人来完成这个任务，通过给搬运机器人安装不同的末端执行器，可以完成不同形态和状态的工件搬运工作。搬运工作站不仅要求工业机器人能够完成工艺要求，同时还要保证安全、快速以及易于操作和便于生产等要求。

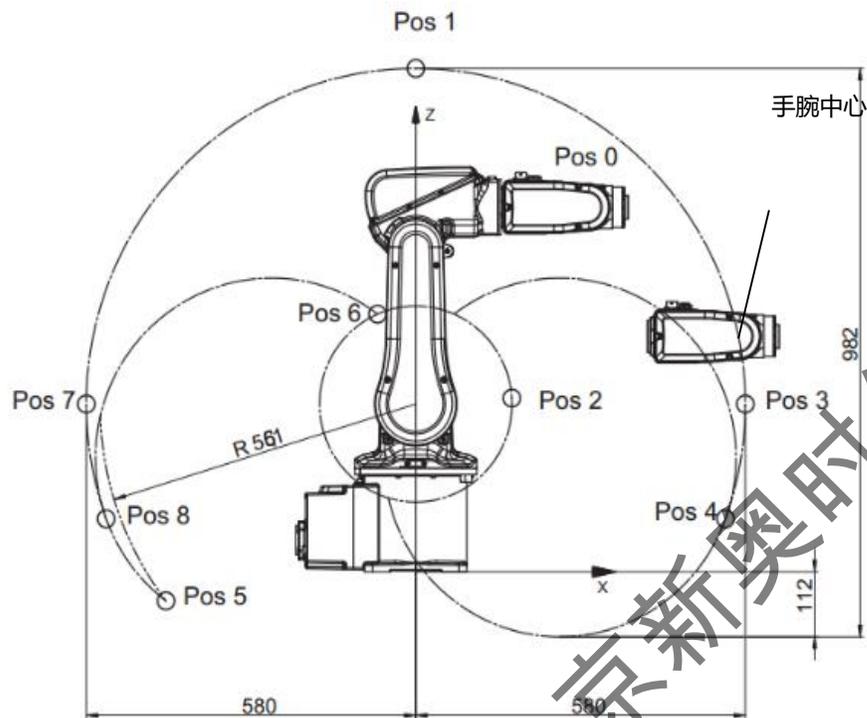
典型搬运工作站除具有机器人本体以外，还要有外围控制单元、传感系统、气动系统和安全系统等，搬运工作站系统构成如左图所示。

3、搬运码垛工作站的认知



3、搬运码垛工作站的认知

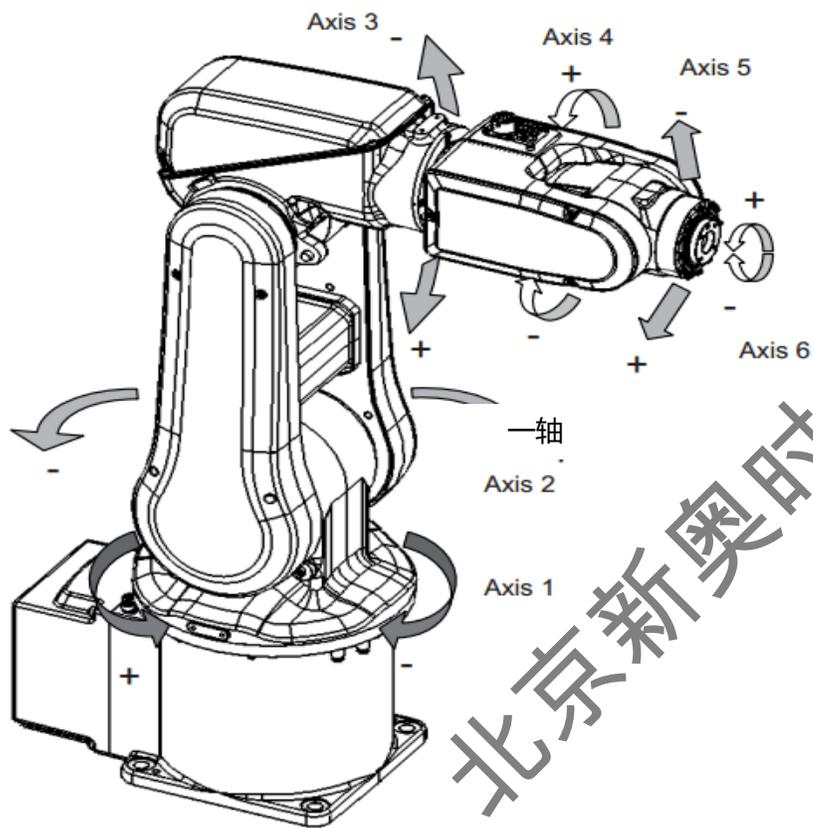
➤ ABB IRB120工业机器人工作空间



工业机器人的工作空间指的是工业机器人手腕中心在作业范围内所能达到的极限位置，IRB120工业机器人的工作半径可达580mm，底座下方拾取距离为112mm，如左图所示。

3、搬运码垛工作站的认知

➤ ABB IRB120本体认知（关节转动方向）



工业机器人各个轴的正负转动方向如左图所示。

3、搬运码垛工作站的认知

➤ ABB工业机器人控制柜认知



紧凑型控制柜



标准型控制柜

控制柜的不同类型

工业机器人控制柜是工业机器人的控制中心，集成了工业机器人整个控制系统，能进行数据处理、存储及执行程序。

根据功率和用途的不同，ABB工业机器人的控制柜分为不同的类型。一般ABB中大型的工业机器人（10kg以上）使用标准控制柜，小型工业机器人（10kg及以下）使用紧凑型控制柜，如左图所示。标准型控制柜的防护等级为IP54，紧凑型控制柜的防护等级为IP30；紧凑型控制柜的体积小，重量轻，所以它占地小，易于运输，但它的功能单一，没有空间额外添加模块。选择控制柜时一般会根据使用现场环境以及防护等级的要求来选择标准型或紧凑型控制柜。

3、搬运码垛工作站的认知

➤ 搬运码垛工作站的应用场景

搬运码垛机器人应用范围非常广泛，适应于化工、饮料、食品、啤酒、塑料、空调等生产企业对纸箱、袋装、罐装、盒装、瓶装等各种形状的成品进行搬运和码垛。

1) 编织袋搬运码垛场景

高速码垛机器人在对编织袋高速搬运过程中，使用了高速编织袋手爪，码垛系统中的高速码垛机器人具有4个自由度，本体较小、手臂细长且灵活。

2) 轻型纸箱搬运码垛场景

在较轻纸箱包装产品的情景下，高速码垛机器人搬运过程中则配合海绵式吸盘手爪进行，海绵吸盘中，海绵适配性强，结实耐用，而海绵吸盘吸取各种不同箱子时则不需要调整，粗糙或者不平整的表面同样适用，海绵吸盘的自动感应开关，使其不管是抓取整层或者部分、单个物件，都可以自动关闭未接触到的单向阀，这样一来，实现了同一套吸具的通用。

3) 重型纸箱搬运码垛场景

在纸箱产品比较重的情况下，纸箱码垛系统机器人配合的吸盘手爪自带底托，纸箱物件被吸取后，能够由底托支撑住，搬运码垛的安全性与可靠性得到了有效保障。

谢谢聆听

北京新奥时代科技有限责任公司

二〇一九年九月

北京新奥时代科技有限责任公司