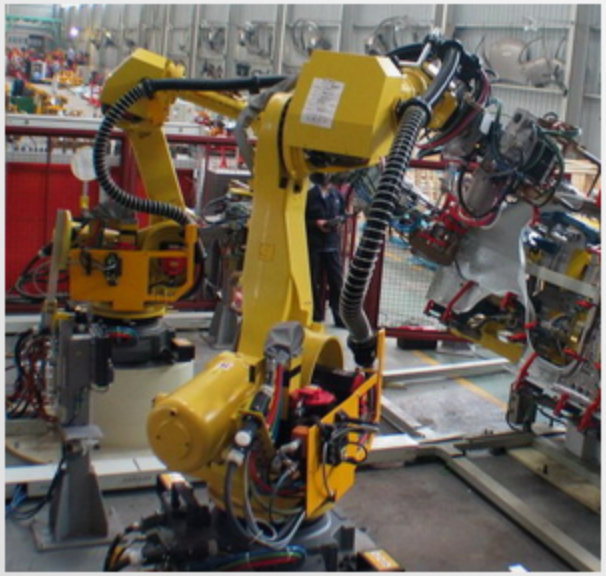
机器人前沿技术与创新发展



提纲

1. 工业机器人简介
2. 国内外工业机器人发展概况
3. 工业机器人关键技术
4. 其他工业机器人

1920年，捷克剧作家卡里洛·奇别克在其科幻剧本《罗萨姆万能机器人制造公司》(Rossum's Universal Robots)首次使用了ROBOT这个名词，意思是"人造的人"。现在已被人们作为机器人的专用名词。

美国机器人协会（RIA）的机器人定义："机器人是用以搬运材料、零件、工具的可编程序的多功能操作器或是通过可改变程序动作来完成各种作业的特殊机械装置。"

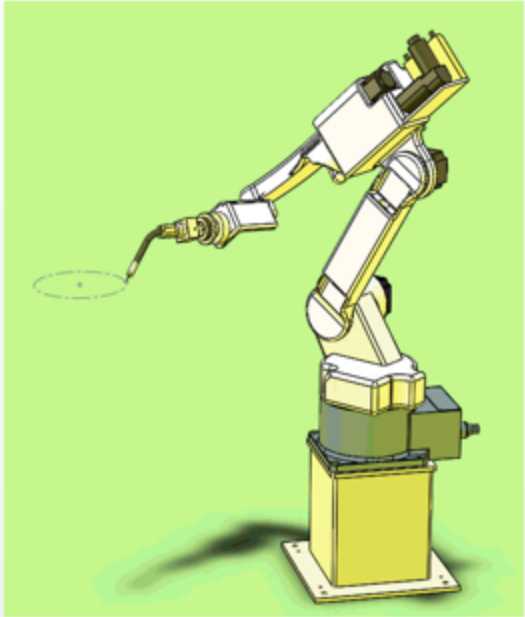
日本工业机器人协会（JIRA）的定义："工业机器人是一种装备有记忆装置和末端执行器（end effector）的，能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器。"

国际标准化组织(ISO)的定义："机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务。"

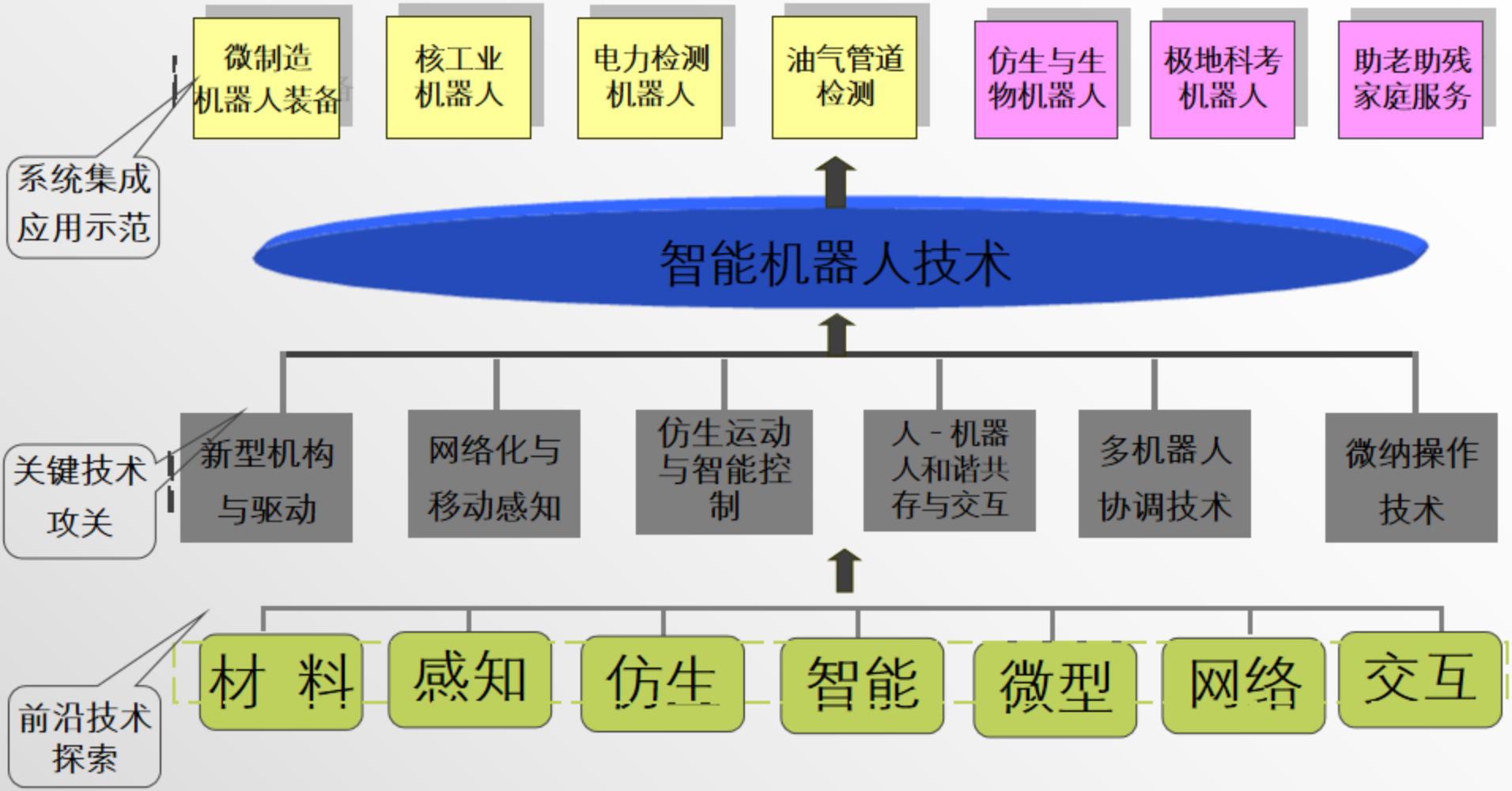
一般认为机器人应具有的共同点为：

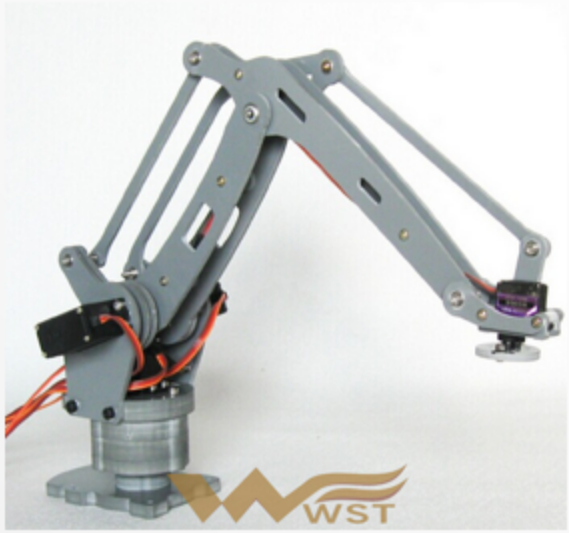
- 机器人的动作机构具有类似与人或其它生物的某些器官的功能。
- 是一种自动机械装置，可以在无人参与下（独立性），自动完成多种操作或动作功能，即具有通用性。可以再编程，程序流程可变，即具有柔性(适应性）。
- 具有不同程度的智能性，如记忆、感知、推理、决策、学习。


EarlyBird



我国机器人当前主要研究方向





h

涂胶机器人

SCARA型装配机器人

龙门式喷漆机器人

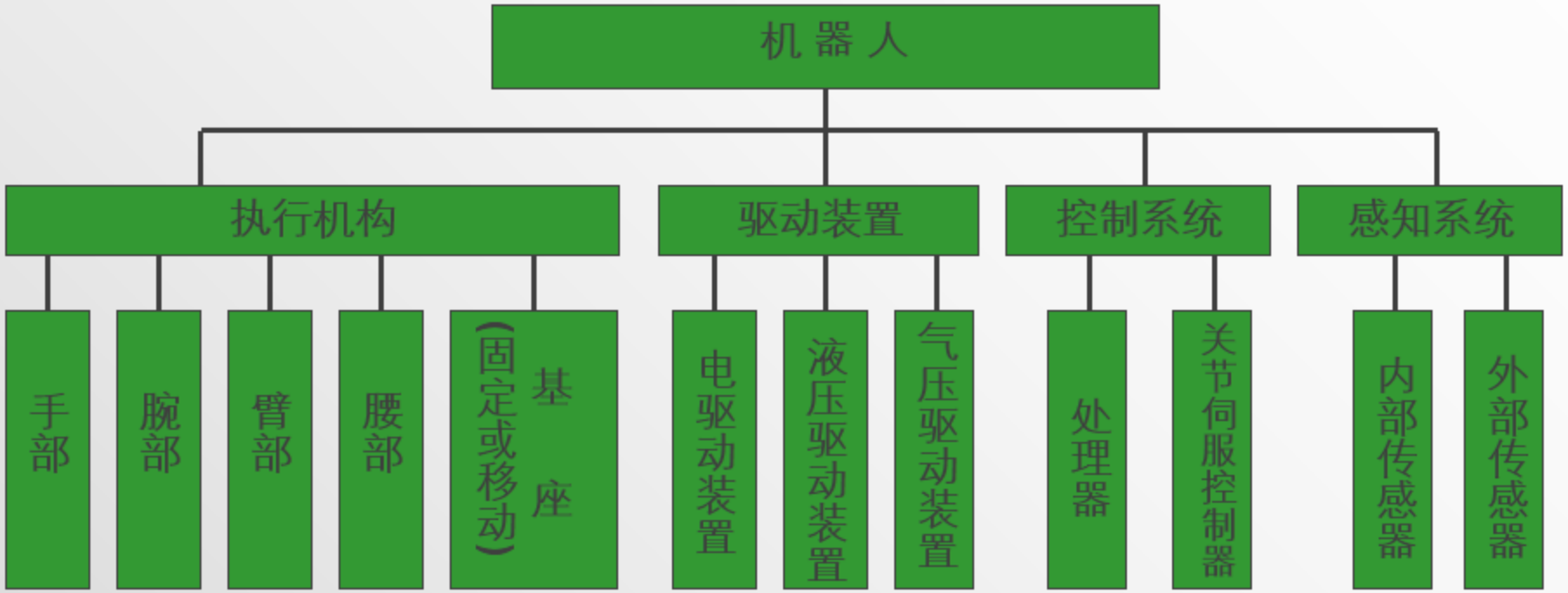
搬运机器人

码垛机器人

喷漆机器人

机器人的组成、分类

机器人是一个机电一体化的设备。从控制观点来看，机器人系统可以分成四大部分：机器人执行机构、驱动装置、控制系统、感知反馈系统。



一、执行机构

包括：手部、腕部、臂部、腰部和基座等。相当于人的肢体。

二、驱动装置

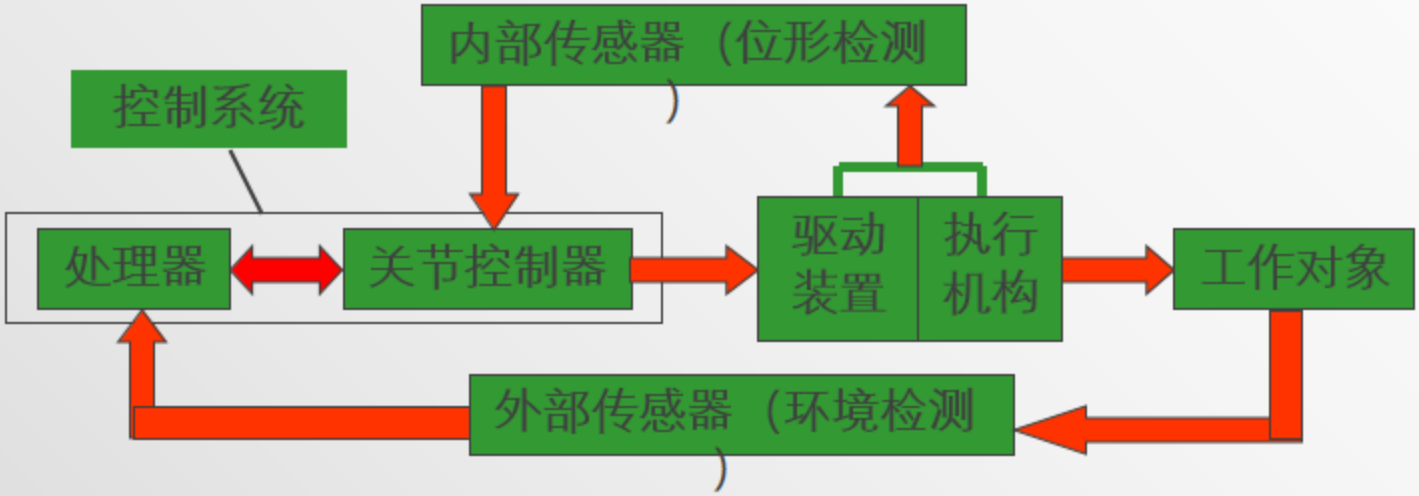
包括：驱动源、传动机构等。相当于人的肌肉、筋络。

三、感知反馈系统

包括：内部信息传感器，检测位置、速度等信息；外部信息传感器，检测机器人所处的环境信息。相当于人的感官和神经。

四、控制系统

包括：处理器及关节伺服控制器等，进行任务及信息处理，并给出控制信号。相当于人的大脑和小脑。



机器人的分类

1、按照结构形态，负载能力和动作空间划分可分为

超大型机器人：负载能力 1000 kg 以上

大型机器人：100-1000 kg / 10 m^2 以上

中型机器人：10-100 kg / 1 - 10 m^2

小型机器人：0.1-10 kg / 0.1-1 m^2

超小型机器人：0.1 kg 以下 /

2、按机器人结构坐标系特点方式分类

1）直角坐标型机器人

通过沿三个互相垂直的轴线的移动来实现机器人手部空间位置的改变

2）圆柱坐标型机器人

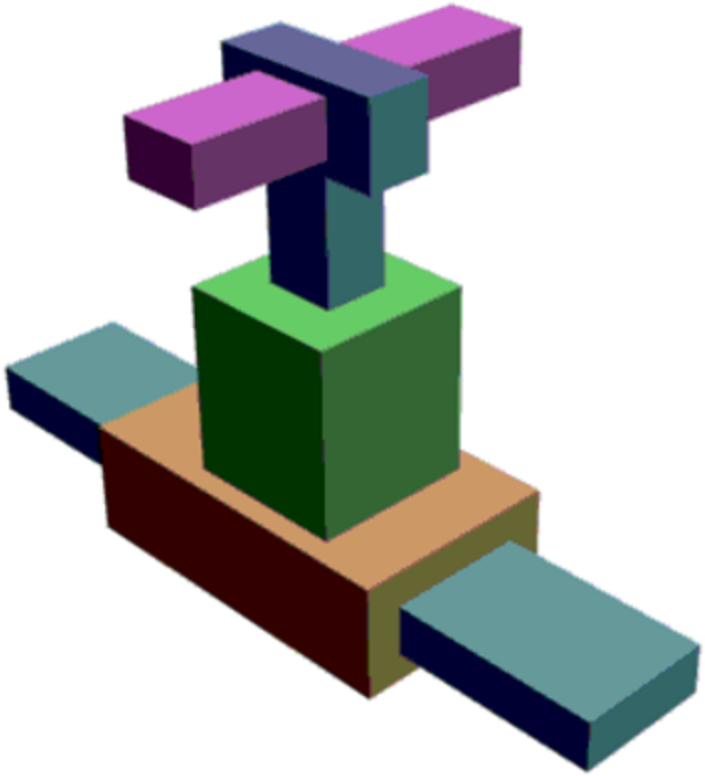
通过两个移动和一个转动实现位置的改变

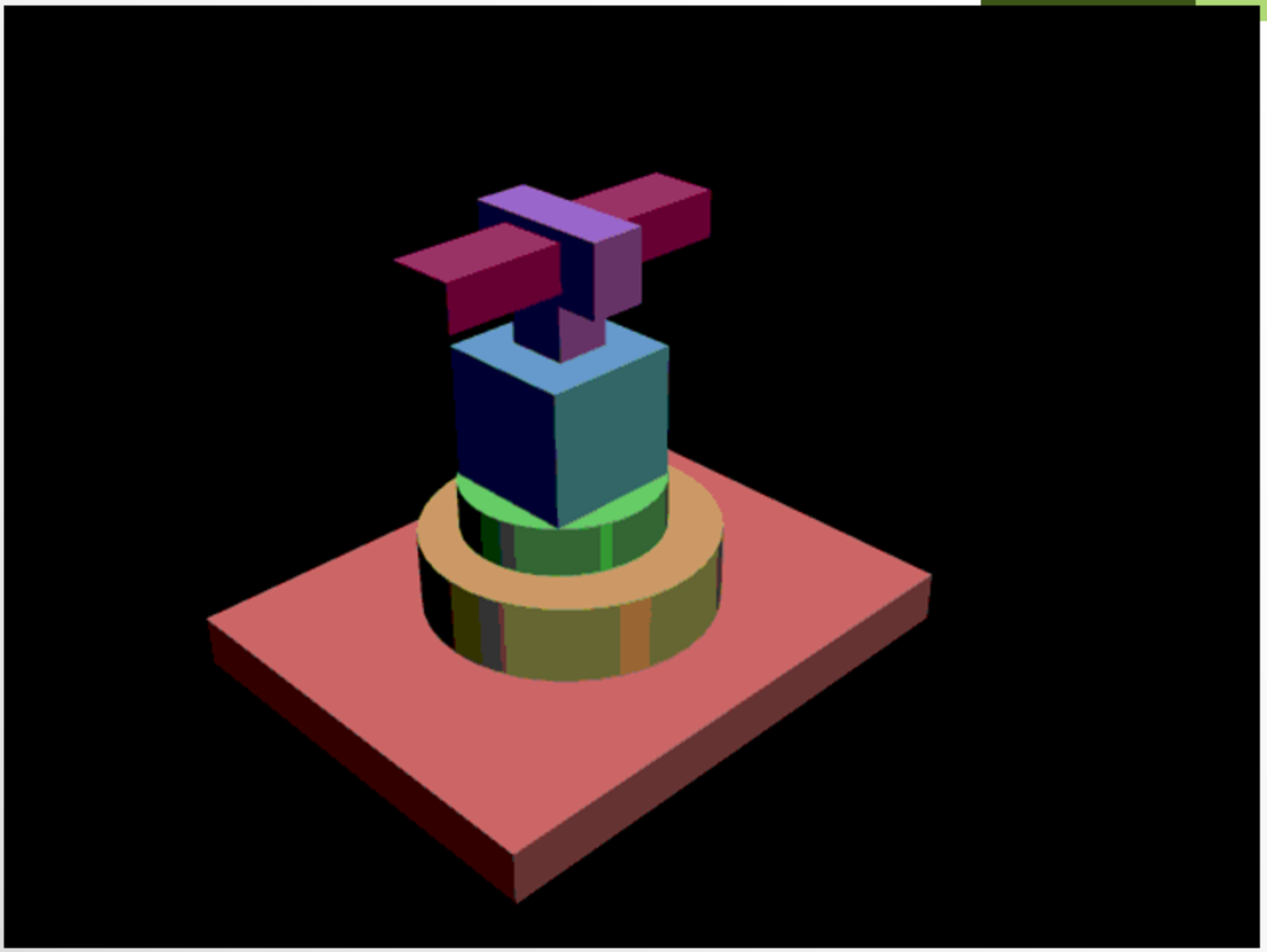
3）极坐标型机器人

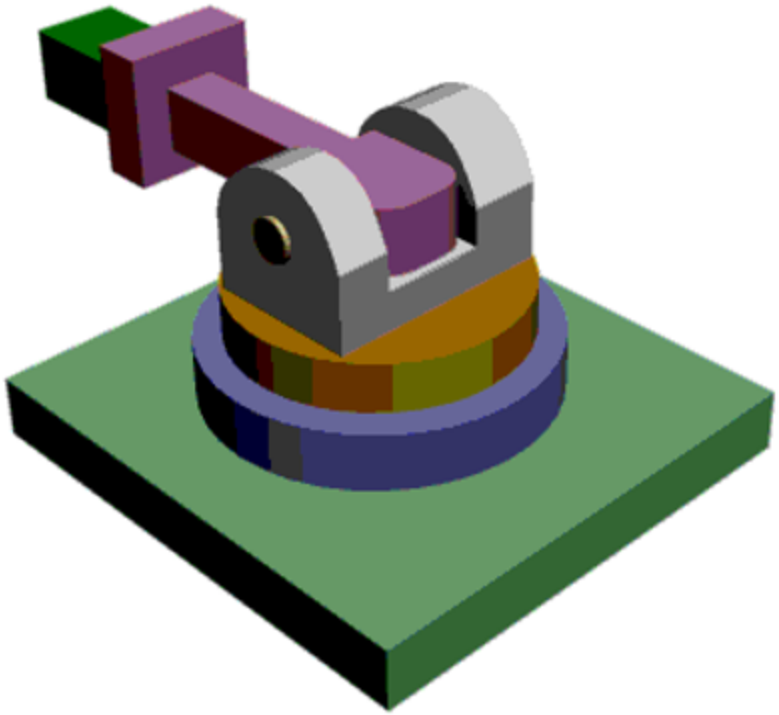
运动由一个直线运动和两个转动组成

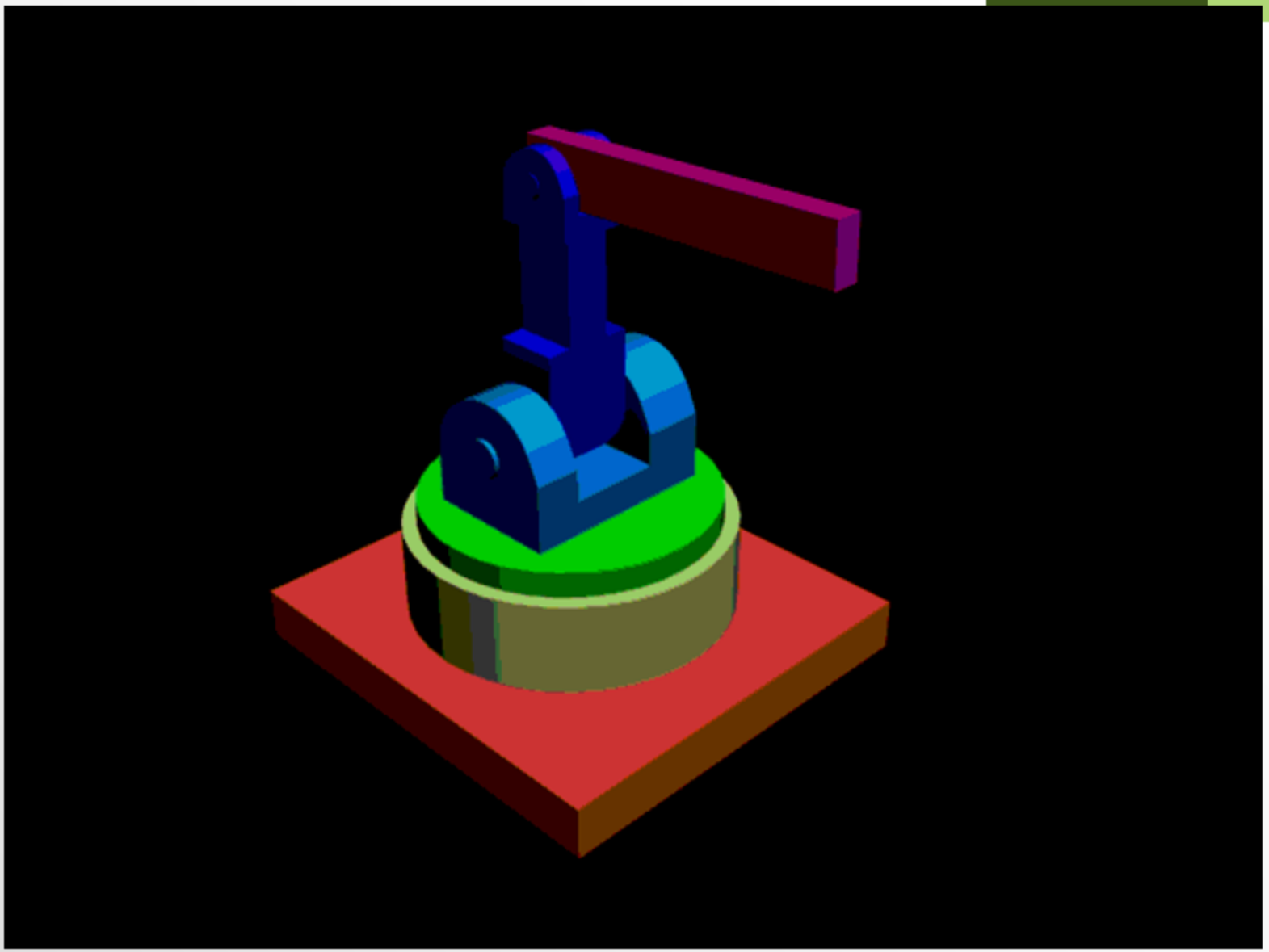
4）关节型机器人

运动由前后的俯仰及立柱的回转组成





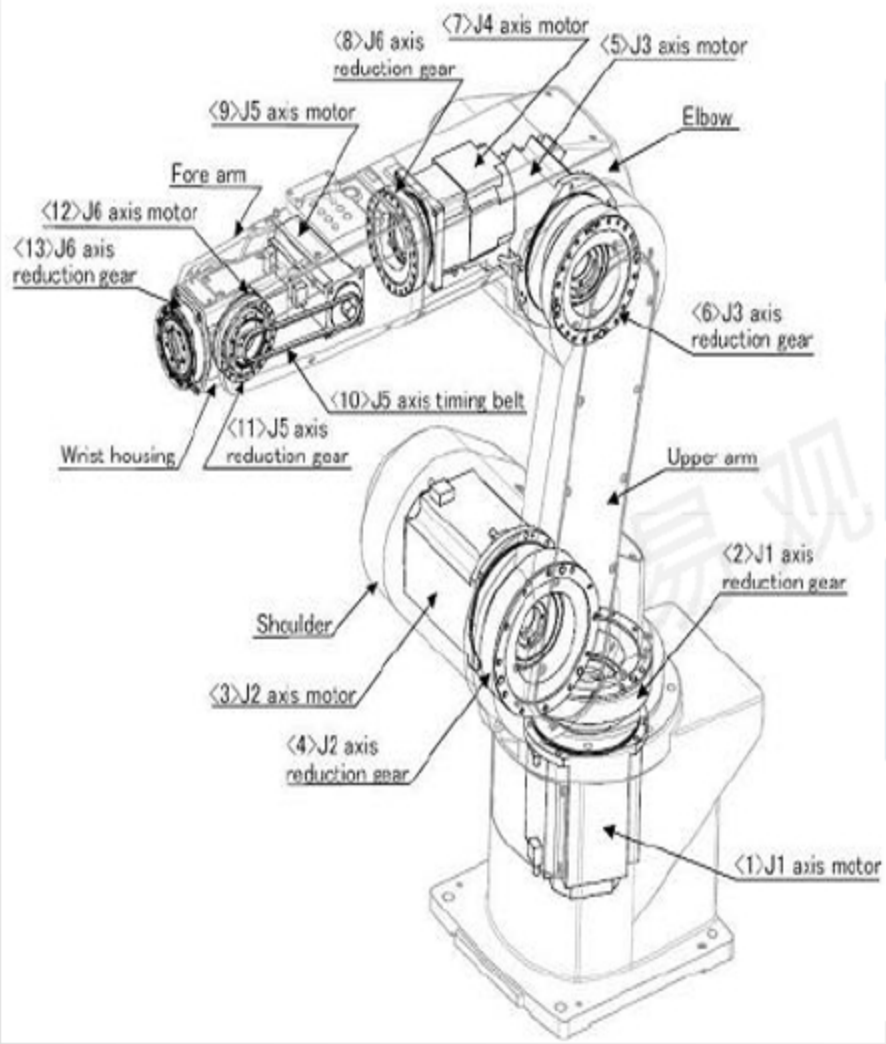




提纲

1. 工业机器人简介
2. 国内外工业机器人发展概况
3. 工业机器人关键技术
4. 其他工业机器人

工业机器人构成



上游

- 控制系统、伺服系统
- 减速机、控制器、伺服电机等核心零部件

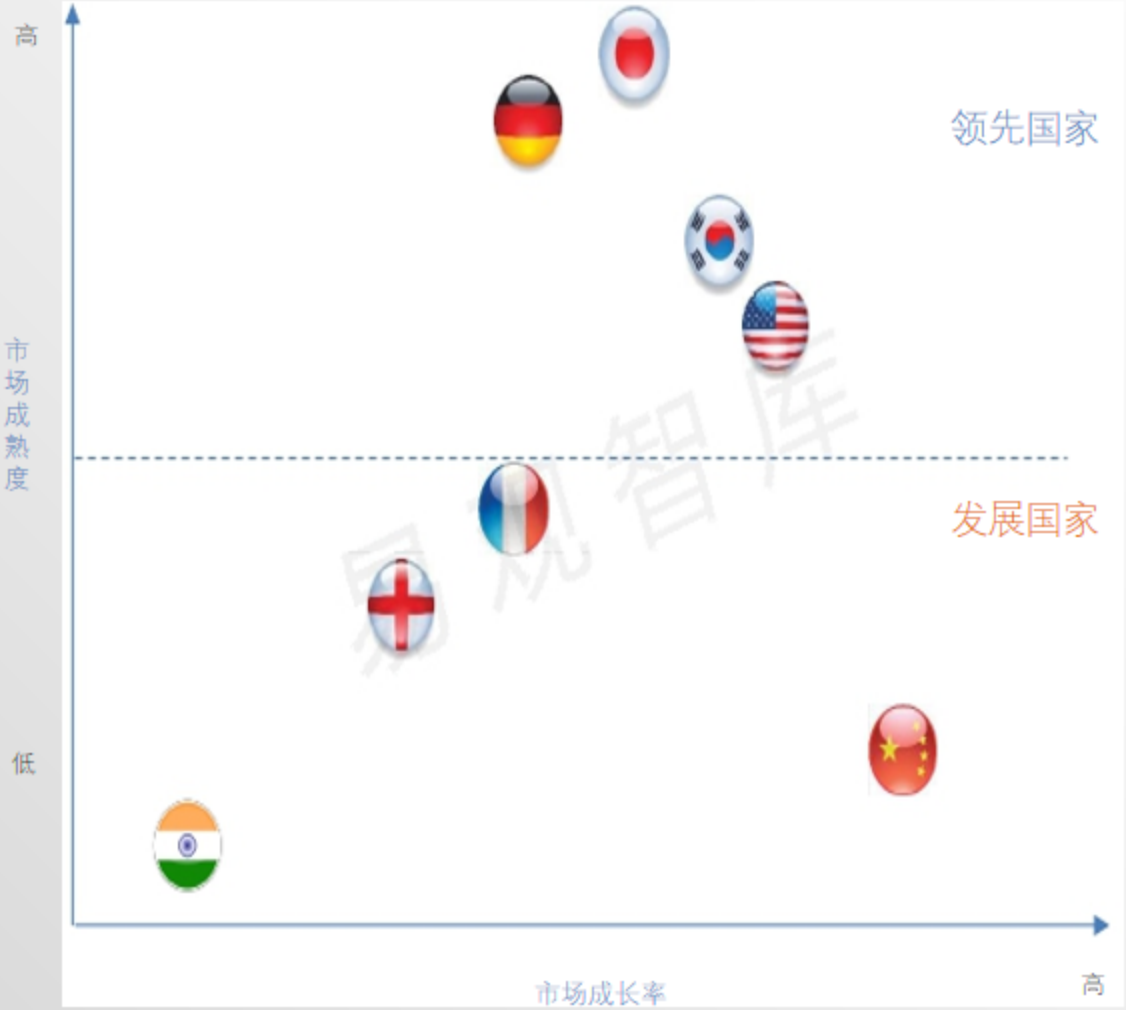
中游

- 手臂、底座、转座、手腕、支柱等本体零部件
- 操作系统、传感器等

下游

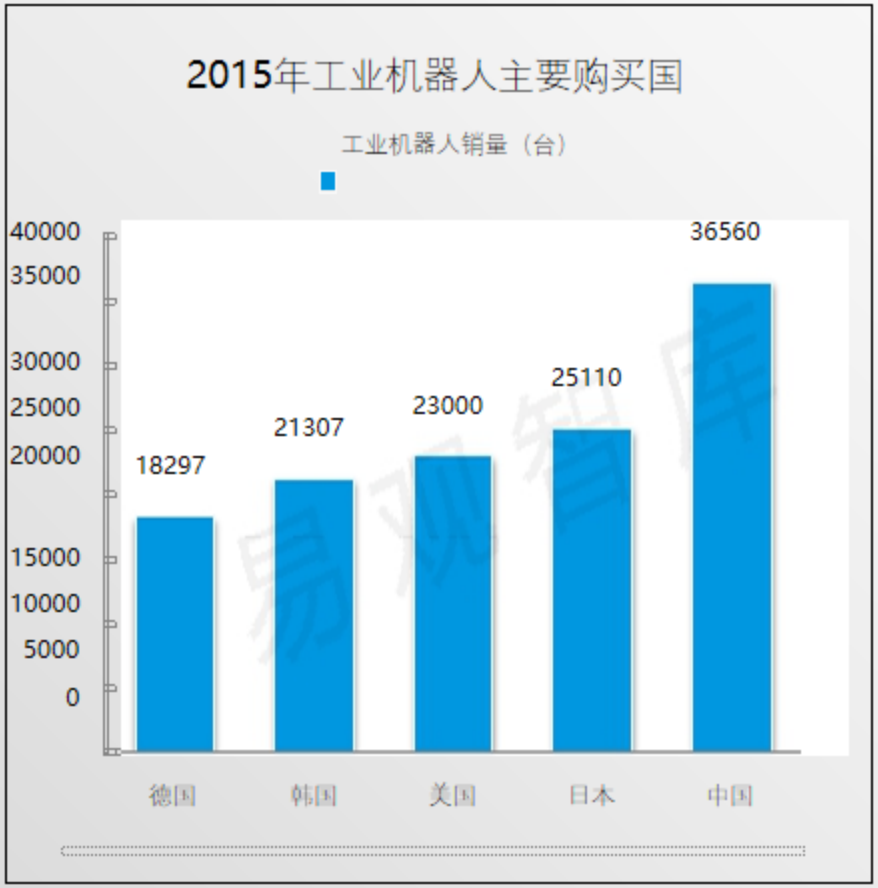
- 系统集成、软件二次开发
- 手爪等定制末端执行器

日本、德国、韩国、美国四国的工业机器人市场成熟度高，中国是最具潜能的发展国家



- 日本、德国的工业机器人水平全球领先，其中，日本在工业机器人关键零部件（减速机、伺服电机等）的研发方面具备较强的技术壁垒。德国工业机器人在原材料、本体零部件和系统集成方面有一定优势。
- 中国处于工业机器人生产的产业链下游，多数厂商承担系统二次开发、定制部件和售后服务等附加值低的工作。但市场需求正在迅速扩大，国内企业的自主研发能力不断提升，未来几年将拉近与国际厂商的差距。

中国、日本、美国是工业机器人主要购买国，但中国工业机器人的渗透率远低于发达国家



工业机器人分布（保有量）

日本、德国、美国等发达国家工业机器人技术和渗透率优势明显

先发优势

•1954年，美国率先提 出工业机器人概念。

•1967年日本引进工业 机器人技术，处于领先。

技术沉淀

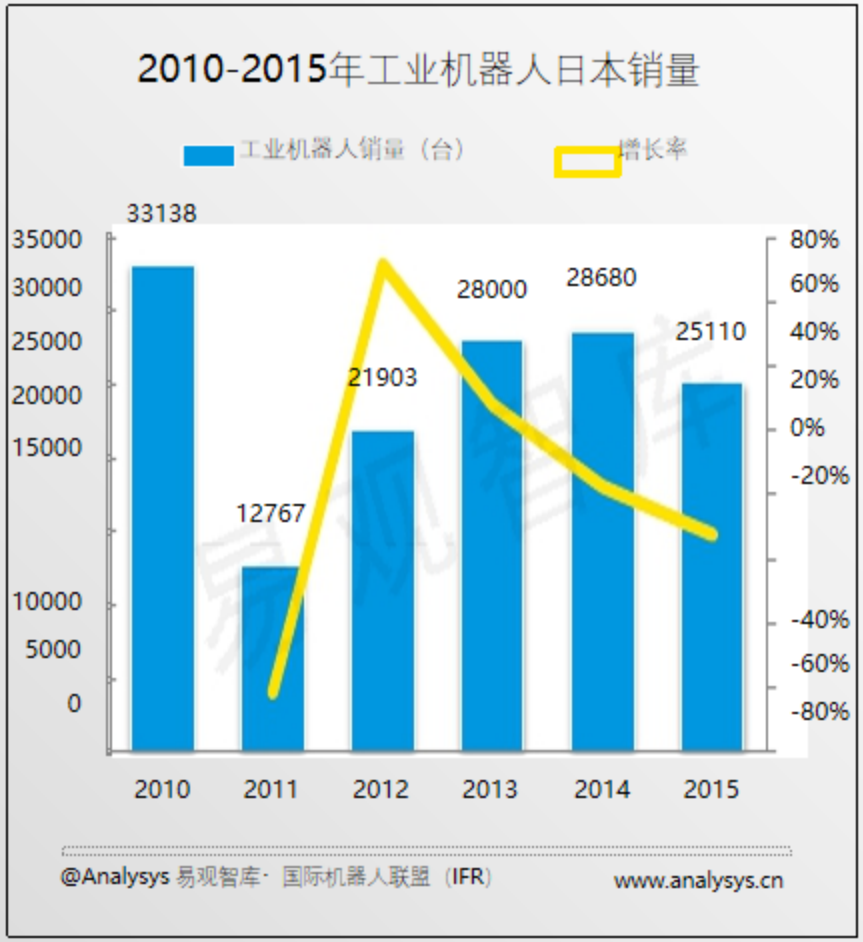
•PLC、CNC等先进系统 源于国外，减速机、控制器等核心零部件被国际企业垄断，其中日本在减速机、伺服电机等核心零部件的研发方面处于全球领先。

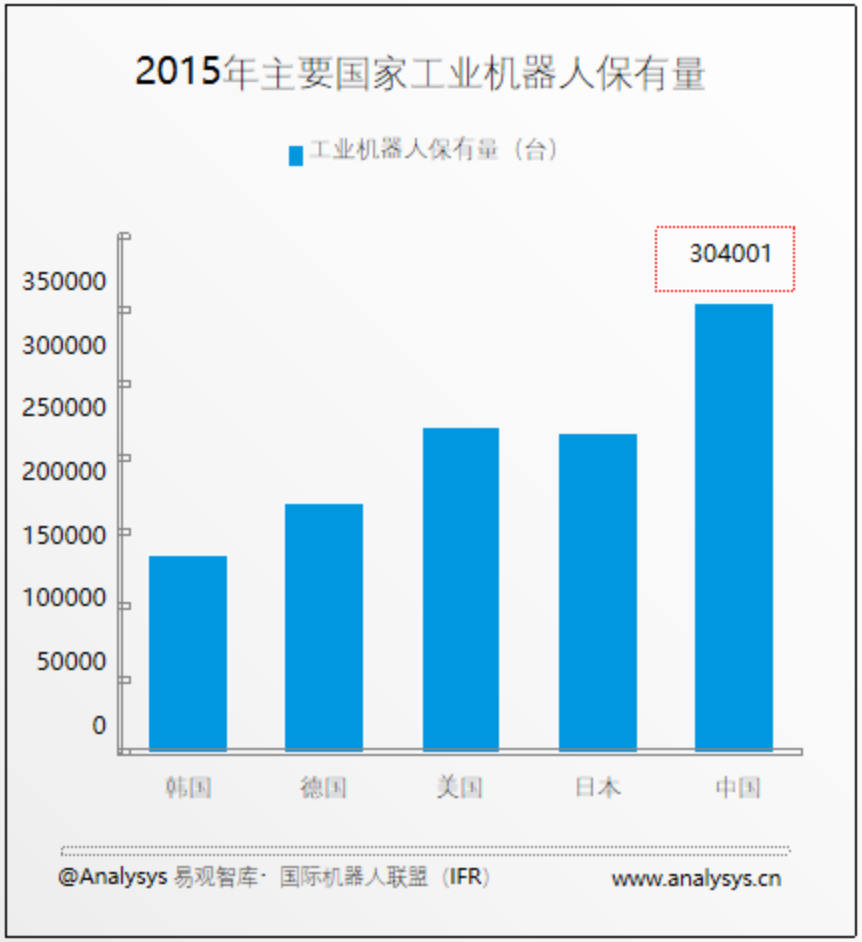
环境驱动

•上世纪70年代，日本、德国等国的人口红利消失，劳动力成本大幅提升，而汽车、电子等产业的快速发展倒逼企业提升产能。

国家/区域	产能份额	保有量份额	机器人密度
日本	66%	23%	约300台/万人
欧洲	26%	29%	约200台/万人
中国	不足1%	10%	不足30台/万人

日本是全球工业机器人最大的生产国，中国为最大消费国





日本知名工业机器人厂商

品牌及LOGO	主营业务	重点应用	2015年营业收入	2015年机器人收入
发那科（FANUC）	数控系统、机器人等	汽车、金属加工等	60亿美元	14亿美元
安川电机（YASKAWA）	伺服电机、控制系统、机器人等	汽车、食品、机械加工等	38亿美元	13亿美元
那智不二越（NACHI）	液压元器件、轴承、锻压机床、机器人、控制系统等	汽车、机械加工等	1757亿日元	132亿日元
川崎重工（Kawasaki）	工业机器人、能源开发设备、航空航天设备等	汽车、航空、船舶、医疗、石油化工等	13.4亿美元	未知

ABB、发那科、库卡、安川电机四家企业是全球主要的工业机器人供货商

- 从全球来看，日本和欧洲是工业机器人的主要产地，ABB、发那科（FANUC）、库卡（KUKA）和安川电机（YASKAWA）四家企业是工业机器人的主要供货商。2015年四大家族工业机器人收入合计约为50 亿美元，占据着全球约50%的市场份额。
- 工业机器人的市场集中度非常高，伺服电机、控制系统、减速机等核心零部件的技术壁垒较高，高昂的生产成本和技术专利垄断是制约其他企业发展的重要因素。

KUKA ≈20%

FANUC ≈15%

YASKAWA ≈15%

ABB ≈10%

工业机器人四大家族比较

区域划分	品牌	机器人产品	应用领域	产品优势	产品系列
欧系	ABB	控制系统、本体、伺服电机、系统集成	汽车、3C、食品和饮料、医疗等	控制力好，整体性强	IRB系列
	库卡（KUKA）	本体、系统集成、控制器	汽车工业、金属加工等	开源系统平台，标准化编程、轻量化、响应速度快	LBR、KR系列
日系	安川电机 Yaskawa	伺服电机、变频器、本体、系统集成	汽车、电子电气、食品等	高精度、双臂机器人、多轴机器人	Motoman、SEMISTAR系列
	发那科（FANUC）	数控系统、伺服电机、本体	汽车工业、电子电气、金属加工等	轻量化、标准化标称、操作简单	R系列、M系列、LR系列等

国内工业机器人厂商盘点——上市企业

企业名称	主营业务	2013年营业收入	公司现状
新松机器人自动化有限公司	机器人、控制器等	13.19亿元人民币	公司成立于2000年，在北京、上海、深圳、广州、济南设有机器人工程中心，新松在国内规模最大，品牌产品线齐全，最具影响力。
广州数控	数控系统、机器人、控制器等	2.43亿元人民币	为用户提供GSK全系列机床控制系统、进给伺服驱动装置和伺服电机、大功率主轴伺服驱动装置和主轴伺服电机等数控系统的集成解决方案。GSK工业机器人是主研发生产，具有独立知识产权的最新产品。
安徽埃夫特	机器人、系统集成等	7.64亿元人民币	埃夫特智能装备股份有限公司是国内唯一一家通过大规模产业化应用而迈向研发制造的机器人公司，也是目前国内销售规模最大的工业机器人厂商。产品迅速在汽车零部件、卫陶、五金、家电、机加工、酿酒及消费类电子等行业进行应用渗透。
南京埃斯顿自动化股份有限公司	数控系统、电液伺服系统、机器人	4.5亿元人民币	公司自成立以来始终专注于高端智能机械装备及其核心控制和功能部件研发、生产和销售，主要产品包括应用于金属成形机床的数控系统、电液伺服系统、广泛适用于各种机械装备的交流伺服系统，以及工业机器人及成套设备等。

新松机器人——中国工业机器人的领先者

新松机器人

SIASUN 新松

工业机器人：SR系列、SRB系列等，种类分为多关节型和SCARA坐标型。

应用领域：汽车、电子电器、金融等。

服务机器人：家用机器人、教育机器人、展示机器人等。

应用领域：教育、安防、餐饮等。

系统集成：计算机软件、控制系统、检测系统、物流系统等。

应用领域：交通、能源、金融、医疗等。

其他：AGV小车、机械元器件、机器人零部件等。

应用领域：汽车、电子电器、电力等。

广数机器人——真正的中国主品牌工业机器人

广州数控机器人

勤快 的 中国机器人

自主设计机械本体

自行制造减速器等关键零部件

自主研发专用伺服电机及驱动器

自主研发高性能控制器

提纲

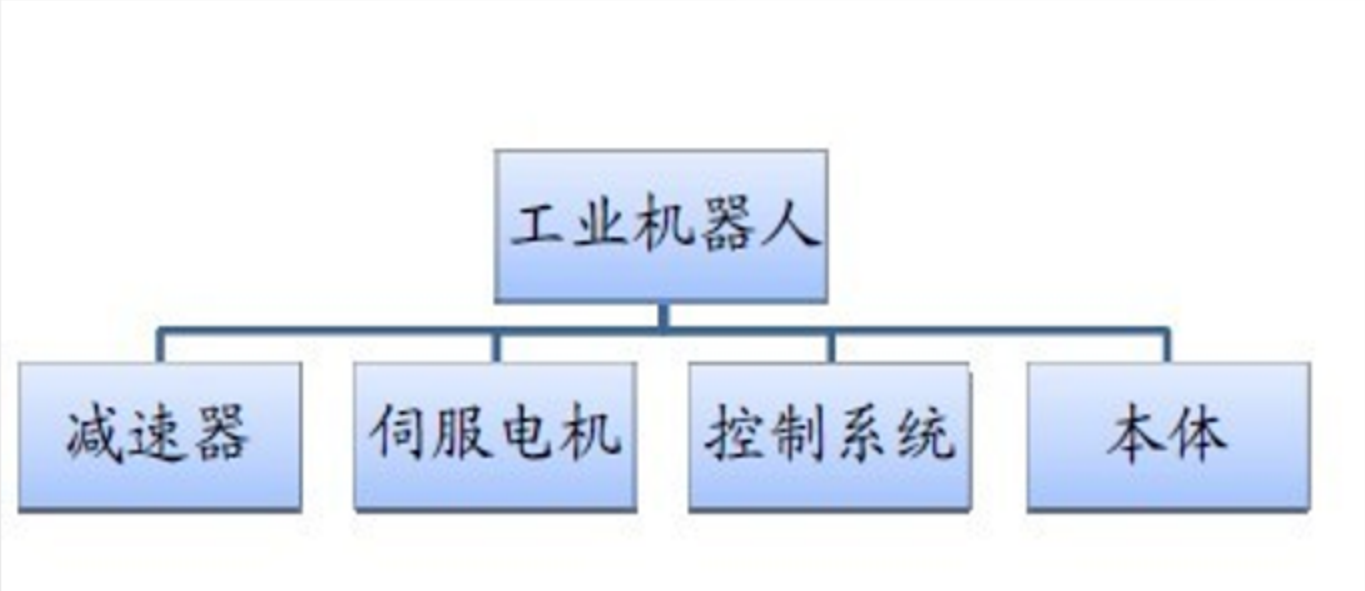
1 工业机器人简介

2 国内外工业机器人发展概况

3 工业机器人关键技术

4 其他工业机器人

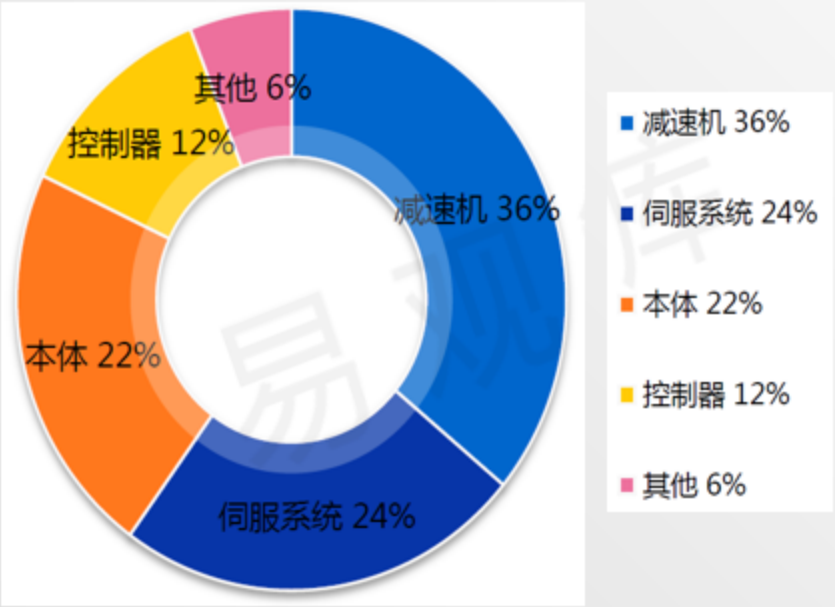
工业机器人主要由四大部件构成。目前我们所说的工业机器人，是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科技术于一体的自动化装备，由精密减速器、伺服电机、控制系统与本体几大部分构成。



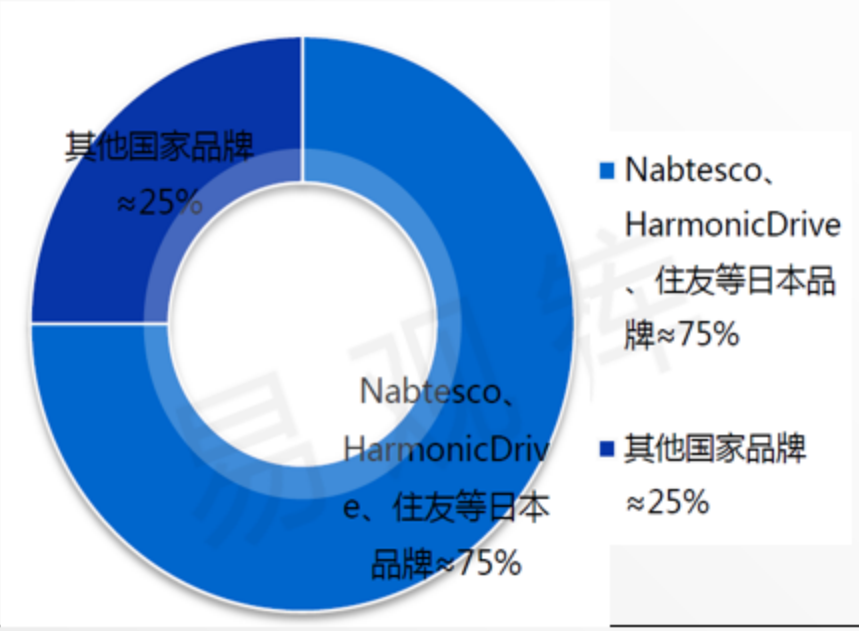
机器人三大关键技术

减速器、控制器、伺服系统

工业机器人成本份额



2014年精密减速机市场份额



提纲

3 工业机器人关键技术

(1) 关键技术——减速器

(2) 关键技术——控制器

(3) 关键技术——伺服系统

(4) 关键技术——传感器

机器人关键技术：减速器

机器人减速器通常有RV减速器和谐波减速器两种

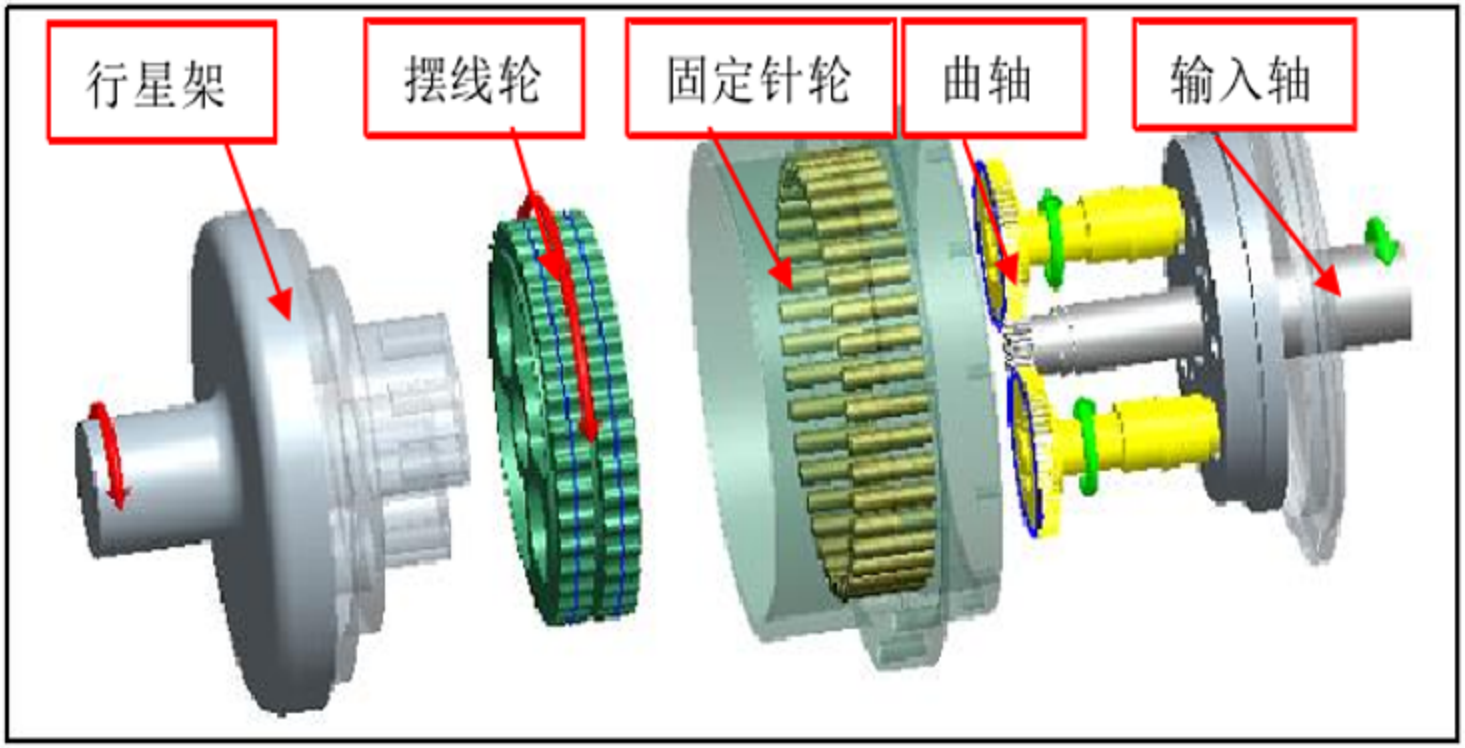
相比于谐波减速器，RV减速器具有更高的刚度和回转精度。因此在关节型机器人中，一般将RV减速器放置在机座、大臂、肩部等重负载的位置；而将谐波减速器放置在小臂、腕部或手部；

目前，全球减速器市场被日本纳博特斯克和哈默纳克两家公司垄断。并与机器人用户签订独家供货协议。

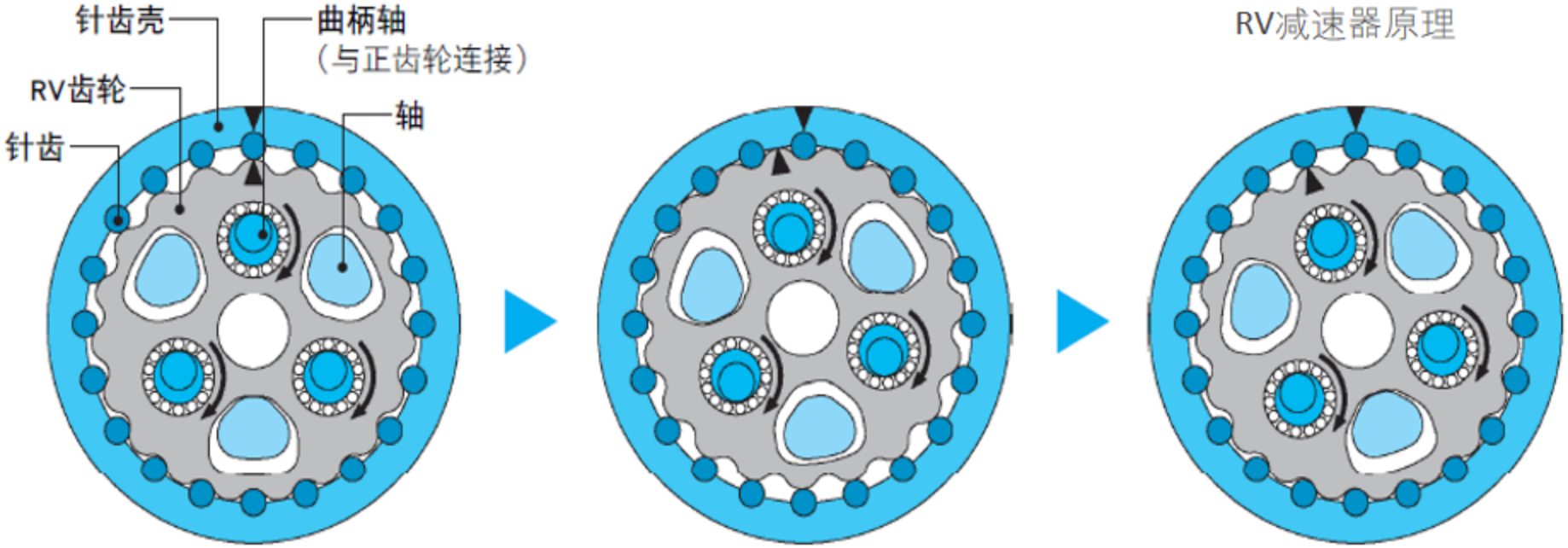
国内秦川和绿的有对应产品，但与国外差距较大。

RV（Rot-Vector）减速器

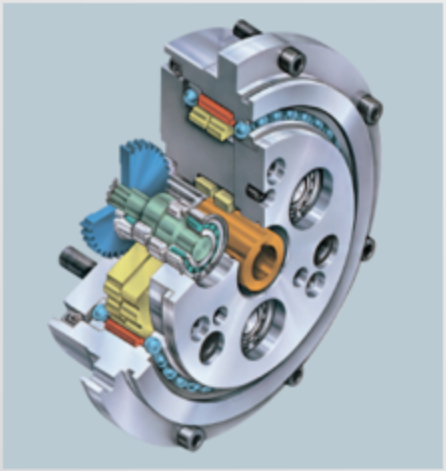
RV减速器是在摆线针轮传动基础上发展起来的，具有二级减速和中心圆盘支承结构。自1986年投入市场以来，因其传动比大、传动效率高、运动精度高、回差小、低振动、刚性大和高可靠性等优点是机器人的“御用”减速器。

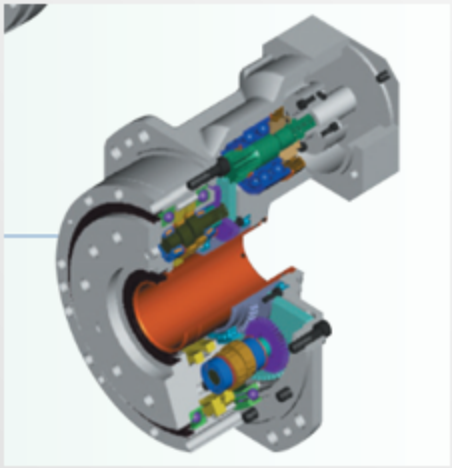


RV减速器原理



旋转角0°　　旋转角180°　　旋转角360°





RV减速器特点

RV减速器有以下特点

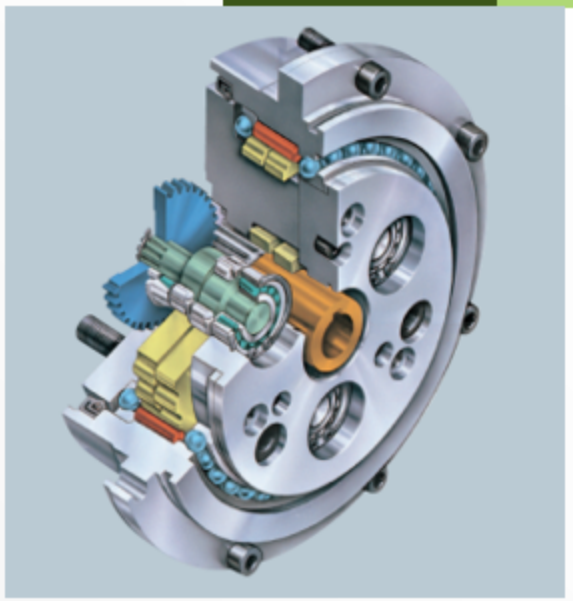
（1）结构封闭、紧凑，体积小重量轻

（2）运动平稳、精度高，轴承寿命长

（3）传递效率高、速比范围大

（4）噪音小、刚度大，抗冲击能力强

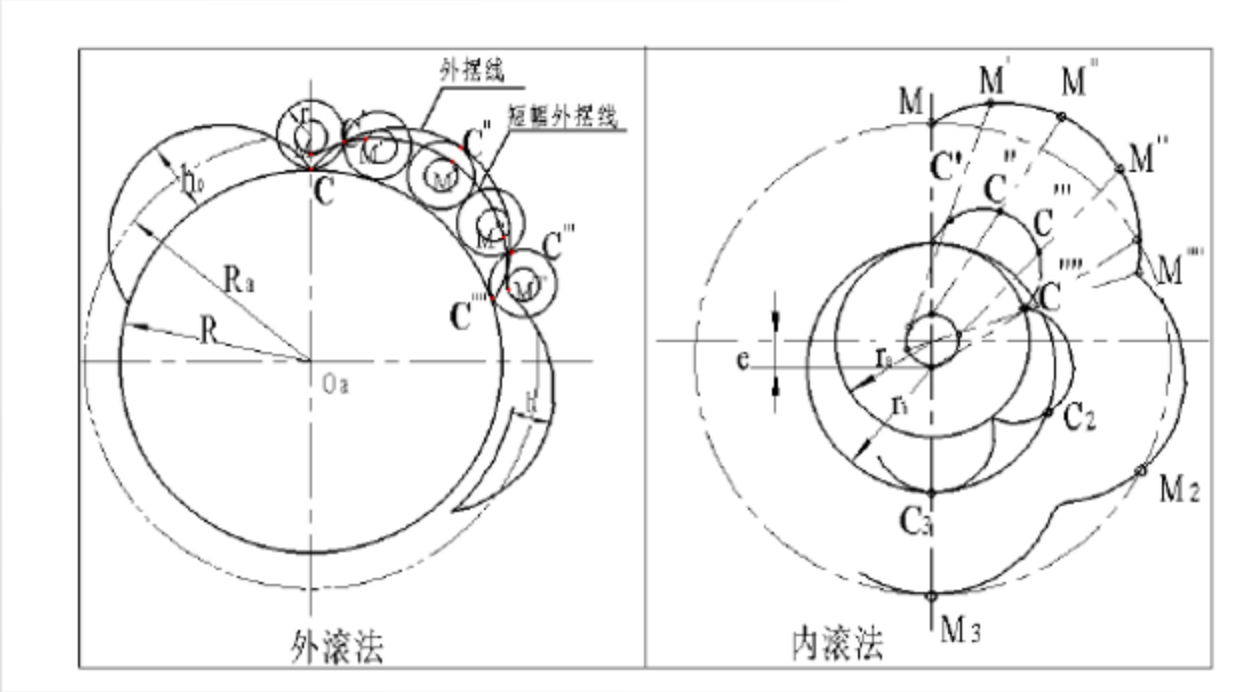
（5）过载能力强



摆线轮齿廓成型

摆线轮齿廓形成有外滚法和内滚法两种，外滚法中，半径r的滚圆在半径R基圆的圆周上作纯滚动，滚圆圆周上任意一点C的轨迹　称为外摆线。

内滚法中，滚圆半径rb、基圆半径rg，且rb>rg，滚圆在基圆上纯滚动，此时滚圆圆周上的点C的轨迹为外摆线。



摆线轮齿廓修形

根据摆线轮加工原理，摆线轮齿形修形有三种基本方法：

- 移距修形，磨削摆线齿廓时，将磨头相对加工台移动微小距离
- 等距修形，磨削摆线齿廓时，使磨头的半径增大微小值
- 转角修形，磨出标准摆线轮齿廓后，再使加工台转动微小角度，然后继续磨削，形成新的摆线齿廓

$$
\begin{cases}
x=(r_p+\Delta r_p)\left(\sin(\varphi)-\dfrac{k_1'}{z_p}\sin(z_p\varphi)\right)+(r_{rp}+\Delta r_{rp})\dfrac{-\sin(\varphi)+k_1'\sin(z_p\varphi)}{\sqrt{1+k_1'^2-2k_1'\cos(z_c\varphi)}} \\
y=(r_p+\Delta r_p)\left(\cos(\varphi)-\dfrac{k_1'}{z_p}\cos(z_p\varphi)\right)-(r_{rp}+\Delta r_{rp})\dfrac{\cos(\varphi)-k_1'\cos(z_p\varphi)}{\sqrt{1+k_1'^2-2k_1'\cos(z_c\varphi)}}
\end{cases}
$$

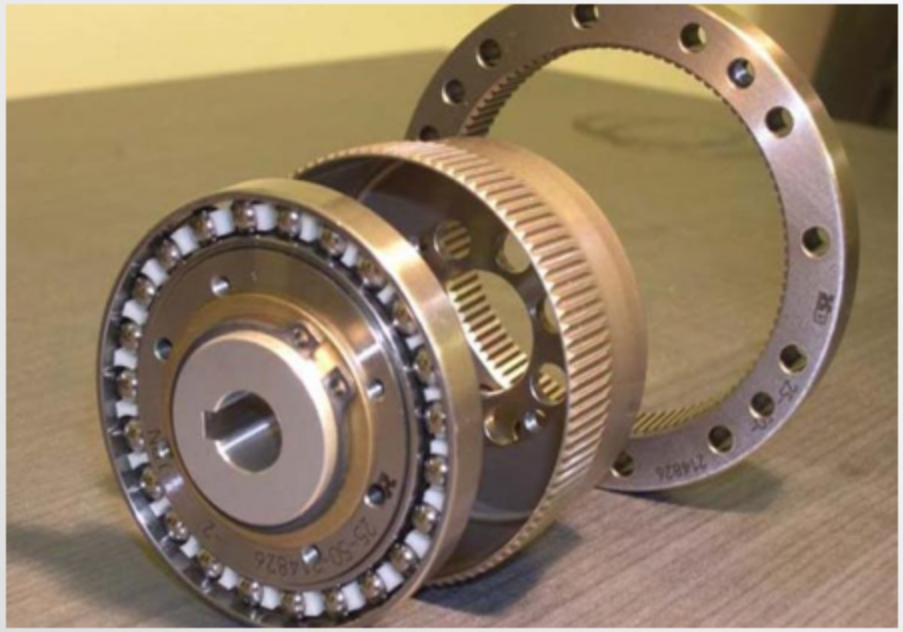
RV减速器制造难点

这种减速机的技术特点也是难点，从1997年大连交通大学等高校承接第一期863计划算起，仿制RV减速器已有近20年，为什么至今我们还没有完全掌握其核心技术，使RV减速器产业化呢？

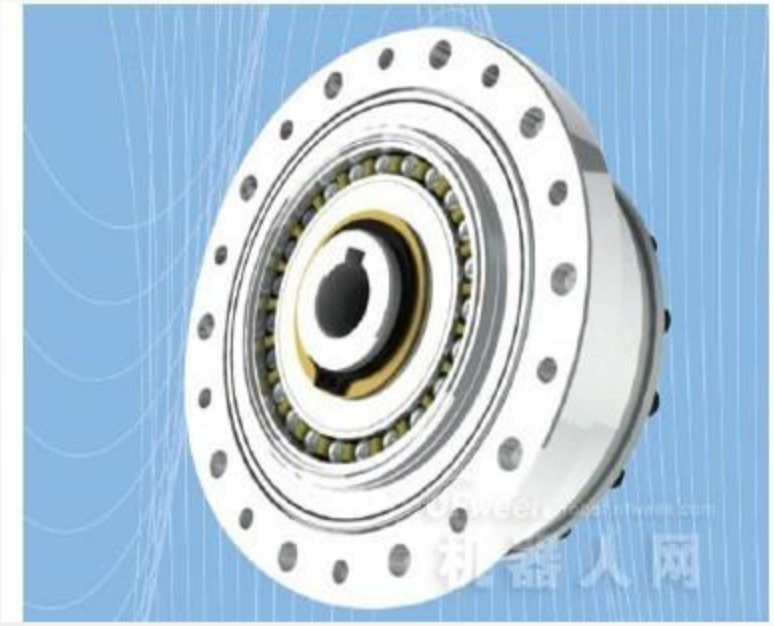
- 对RV减速器的机理及制造工艺研究不足；
- RV减速器对零件的加工、装配精度及材料要求非常高，我国的精密制造技术及设备尚不能达到加工RV减速器的水平；

谐波减速器

谐波减速器由三部分组成：谐波发生器、柔性轮和刚轮。谐波减速器传动比大、外形轮廓小、零件数目少且传动效率高。单机传动比可达到50-4000，而传动效率高达92%-96%。

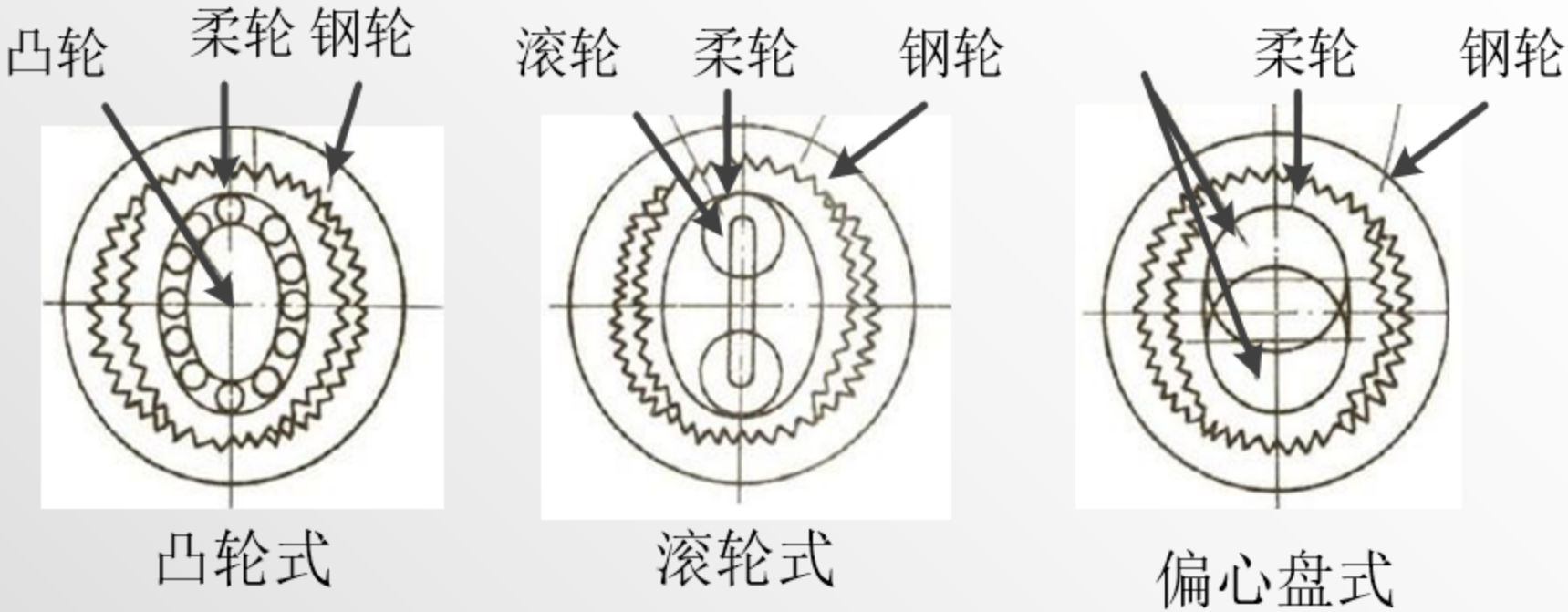


HarmonicaDrive产品结构示意



HarmonicaDriveCSF-LW系列产品

按照波发生器的不同有凸轮式、滚轮式和偏心盘式



国内谐波减速器制造

由于谐波传动理论提出较早，目前专利保护已经到期，因此国内展开仿制的公司较多。

- 北京中技克美谐波传动有限公司
- 北京谐波传动技术所
- 苏州绿的

提纲

3 工业机器人关键技术

(1) 关键技术——减速器

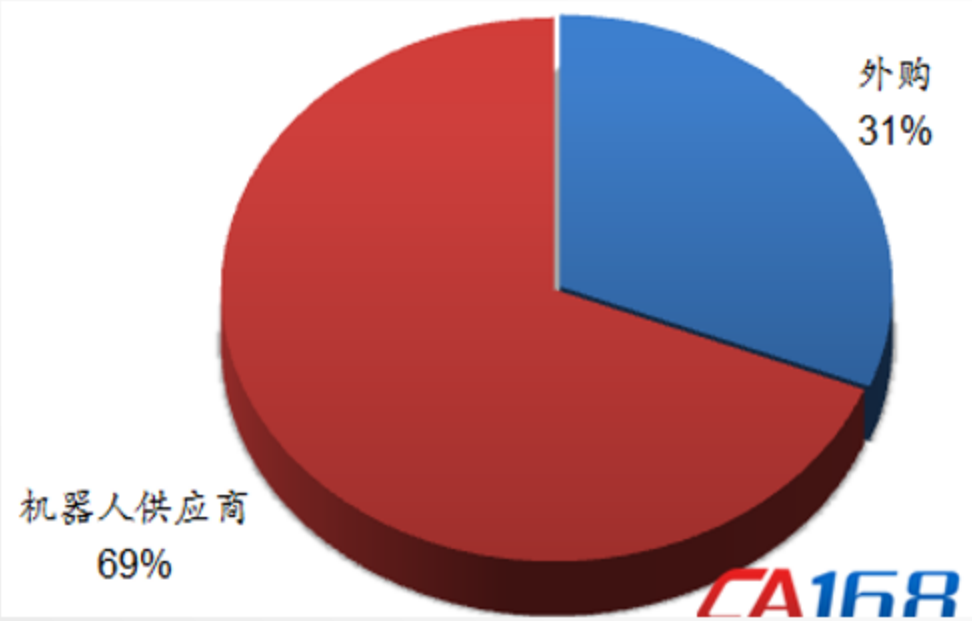
(2) 关键技术——控制器

(3) 关键技术——伺服系统

(4) 关键技术——传感器

控制器是机器人的大脑，发布和传递动作指令。包括硬件和软件两部分：

- 硬件就是工业控制板卡，包括一些主控单元、信号处理部分等电路
- 软件部分主要是控制算法、二次开发等



工业机器人控制系统硬件结构

多采用计算能力较强的ARM系列、DSP系列、POWERPC系列、Intel系列等芯片组成。此外，将特定的处理器与所需要的接口集成在一起的定制芯片，可简化系统外围电路的设计，缩小系统尺寸，并降低成本。

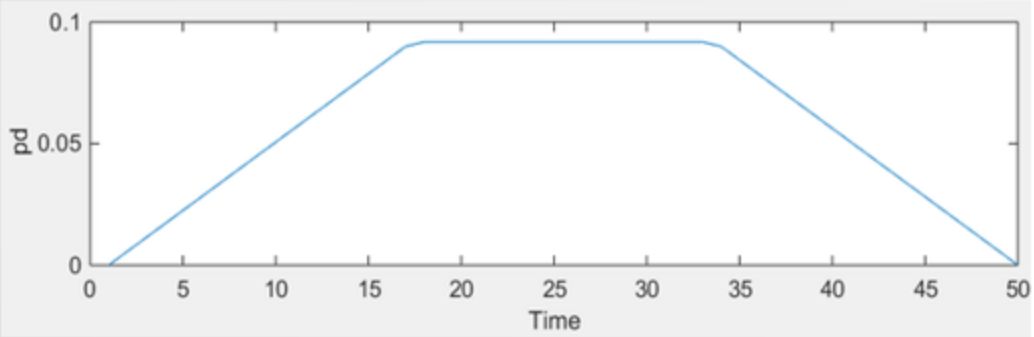
控制软件开发环境

一般工业机器人公司都有自己独立的开发环境和独立的机器人编程语言，如日本Motoman公司、德国kuka公司、美国的Adept公司、瑞典的abb公司等，机器人系统开发环境有

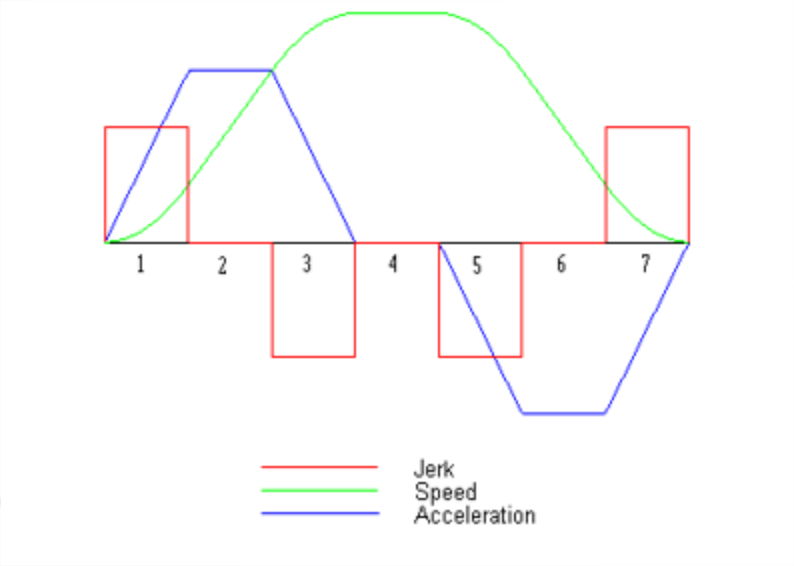
TeamBots 、 ARIA 、Player/Stage， 、Pyro、CARMEN、MissionLab、ADE.V、Miro.v.CVS-March17、MARIE.、FlowDesigner.、RobotFlow

国内外机器人控制器差距

控制软件
- 速度规划：T型或S型
- 位置控制：PID控制
- 误差补偿：无



T型速度规划



S型速度规划

机器人位置控制

Benosman 和 Vey 指出，机器人的控制问题可以归结为四个方面，分别是：

a) 末端位置稳定问题

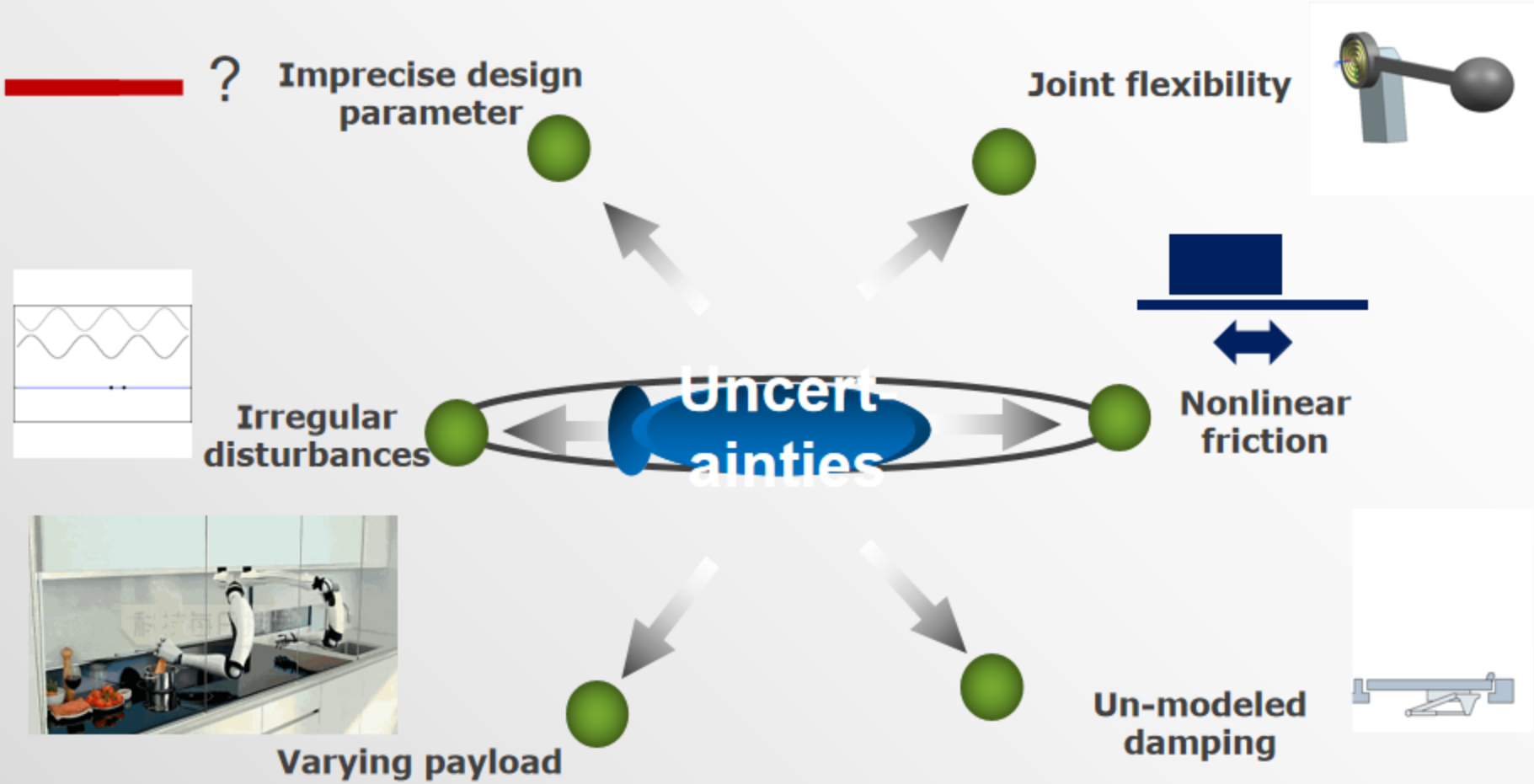
b) 末端点位运动问题

c) 关节空间轨迹跟踪问题

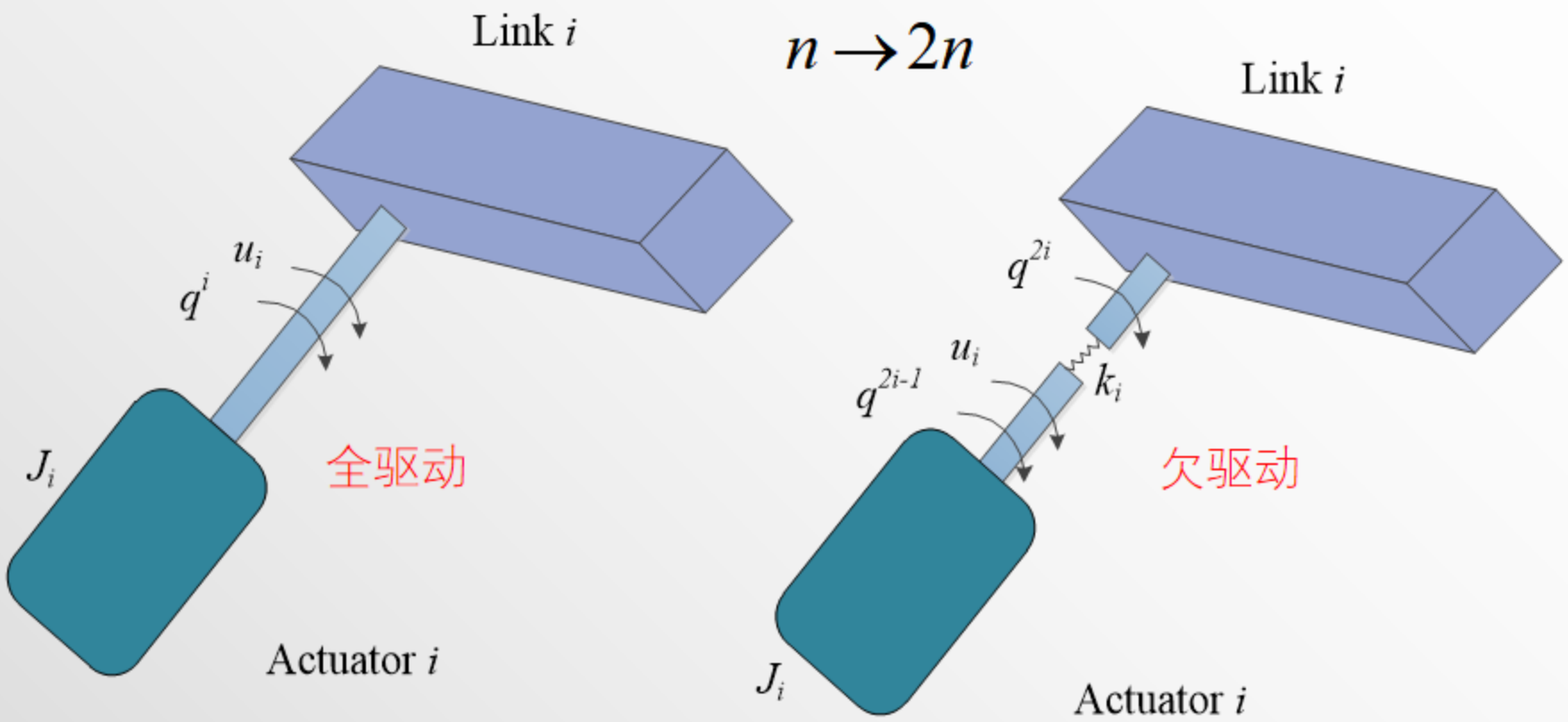
d) 操作空间轨迹跟踪问题

不确定性

机器人系统中有多种未知因素，构成不确定性



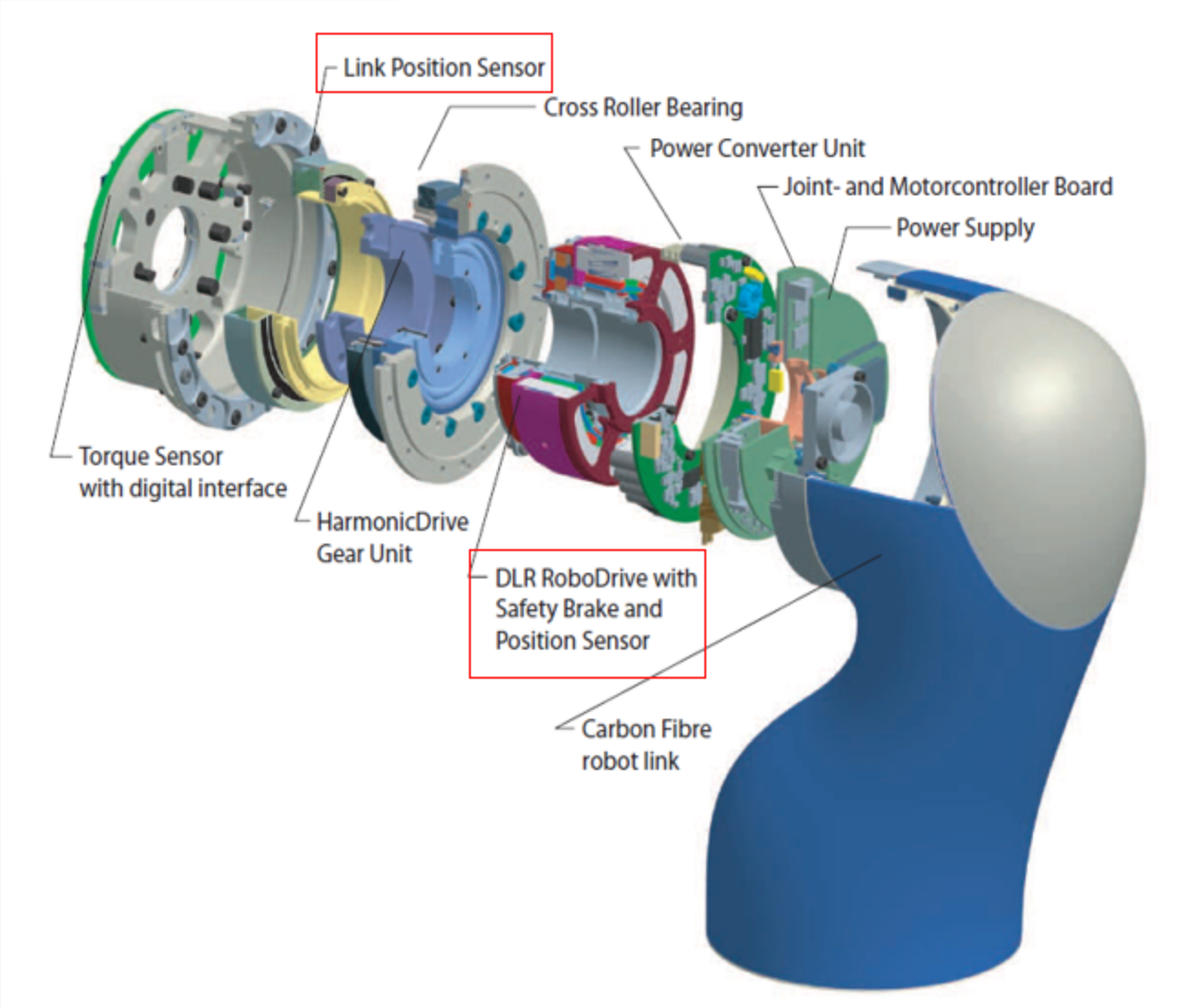
机器人关节建模的区别



刚性关节

柔性关节

KUKA LBR iiwa robot



h

不同机器人模型及控制算法

刚性模型 $$(M(\dot{q}_1)+J)\ddot{q}_1+C(q_1,\dot{q}_1)\dot{q}_1=\tau$$

控制模型 $$\tau(t)=-K_p e-K_d\dot{e}-\int_0^t e(t)$$

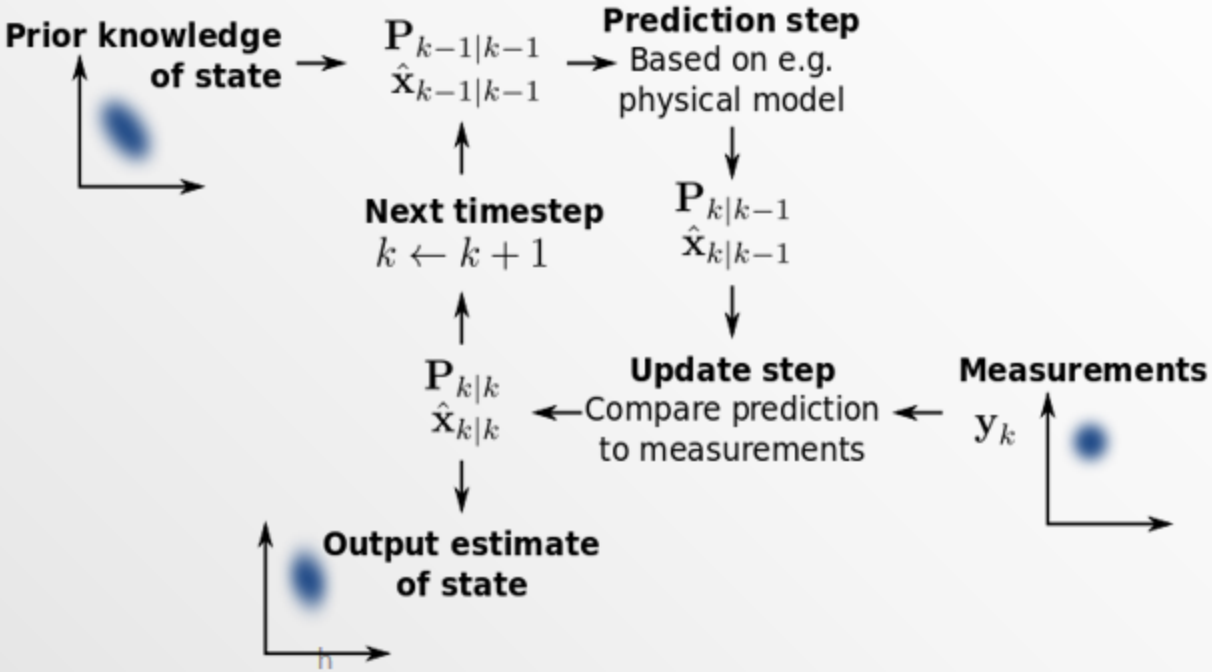
柔性模型 $$\begin{cases} M(q_1)\ddot{q}_1+C(q_1,\dot{q}_1)\dot{q}_1+G(q_1)+K(q_1-q_2)=0 \\ J\ddot{q}_2-K(q_1-q_2)=\tau \end{cases}$$

控制模型

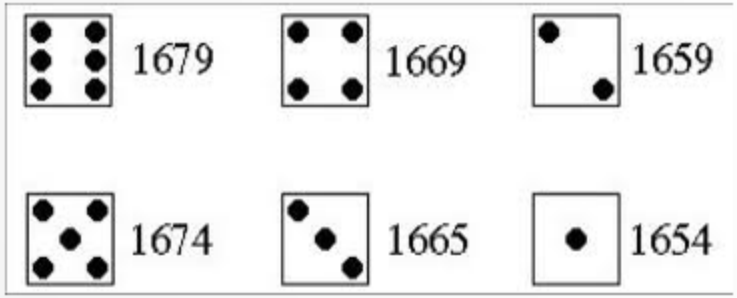
$$\tau(t)=\boxed{-\alpha_2(x_4(t)+S_2x_3(t))\rho_2^{\,2}(X_1(t),x_3(t),x_4(t))}-\beta_2(x_4(t)+S_2x_3(t))$$

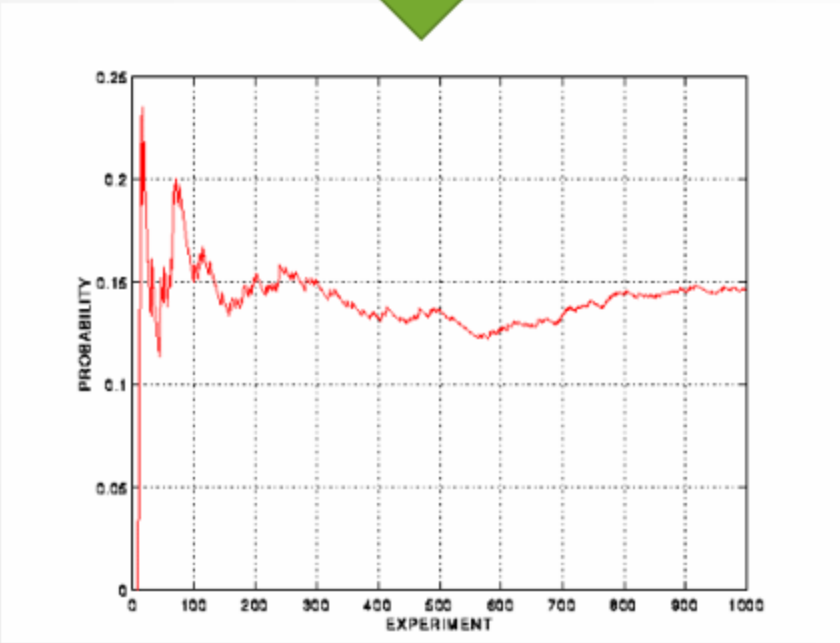
如何处理系统的不确定性因素？

- 卡尔曼滤波器(1959-1961)
- 状态空间表达式(1960)
- 稳定性理论(1960)
- LQG（1962）
- 能控性、能观性



宏观世界真的存在随机性吗？





Joseph Ford (Georgia Institute of Technology):
Coin/dice tossing is a deterministic chaotic motion, rather than random.

"How Random is a Coin Toss?", Physics Today , April 1983, pp. 40-47

The majority of observed phenomena of randomness in Nature (always excluding games of chance) cannot be and should not be explained by (conventional) probability theory; there is little or no experimental evidence in favor of (conventional) probability but there is massive, accumulating evidence that explanations and even descriptions should be sought outside of the conventional framework.

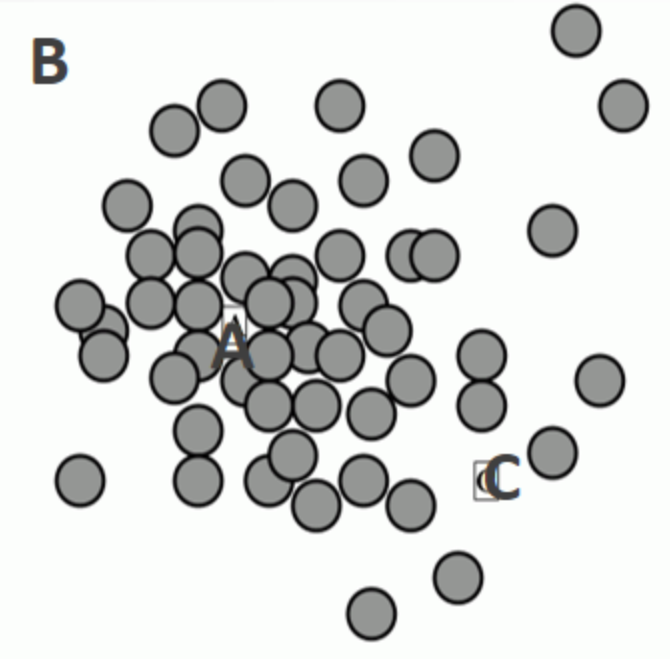
"Randomness reexamined". Modeling, Identification and Control, 1994. 15(3): p. 141-151.

h

用模糊方法描述不确定性

- 模糊集理论(1965)
- 模糊决策(1967)
- 模糊推理(1973)
- 模糊控制(1973)
- 软计算(1996)

- 随机理论：描述一个事件发生的频率
- 模糊理论:描述一个事件发成的程度



控制算法的变化

虚拟控制

$$\begin{cases} \tilde{\tau}(t) = -\gamma_1 (x_2 + S_1 x_1)\Pi_1^2 - \varepsilon_1 (x_2 + S_1 x_1) \\ \dot{\hat{\psi}}_1(t) = k_1^{-1} \dfrac{\partial \Pi_1^T}{\partial \psi_1} \| x_2 + S_1 x_1 \| - \hat{\psi}_1 \end{cases}$$

真实控制

$$\begin{cases} \tau(t) = -\gamma_2 (x_4 + S_2 x_3)\Pi_2^2 - \varepsilon_2 (x_4 + S_2 x_3) \\ \dot{\hat{\psi}}_2(t) = k_2^{-1} \dfrac{\partial \Pi_2^T}{\partial \psi_2} \| x_4 + S_2 x_3 \| - \hat{\psi}_2 \end{cases}$$

模糊数学: 如果G 和 H 是两个模糊数

$$(G+H)_\alpha = [g_\alpha^- + h_\alpha^-, g_\alpha^+ + h_\alpha^+],$$

$$(G-H)_\alpha = [\min(g_\alpha^- - h_\alpha^-, g_\alpha^+ - h_\alpha^+), \max(g_\alpha^- - h_\alpha^-, g_\alpha^+ - h_\alpha^+)],$$

$$(G \bullet H)_\alpha = [\min(g_\alpha^- h_\alpha^-, g_\alpha^- h_\alpha^+, g_\alpha^+ h_\alpha^-, g_\alpha^+ h_\alpha^+),$$
$$\max(g_\alpha^- h_\alpha^-, g_\alpha^- h_\alpha^+, g_\alpha^+ h_\alpha^-, g_\alpha^+ h_\alpha^+)],$$

$$(G/H)_\alpha = [\min(g_\alpha^- / h_\alpha^-, g_\alpha^- / h_\alpha^+, g_\alpha^+ / h_\alpha^-, g_\alpha^+ / h_\alpha^+),$$
$$\max(g_\alpha^- / h_\alpha^-, g_\alpha^- / h_\alpha^+, g_\alpha^+ / h_\alpha^-, g_\alpha^+ / h_\alpha^+)].$$

h

提纲

3 工业机器人关键技术

(1) 关键技术——减速器

(2) 关键技术——控制器

(3) 关键技术——伺服系统

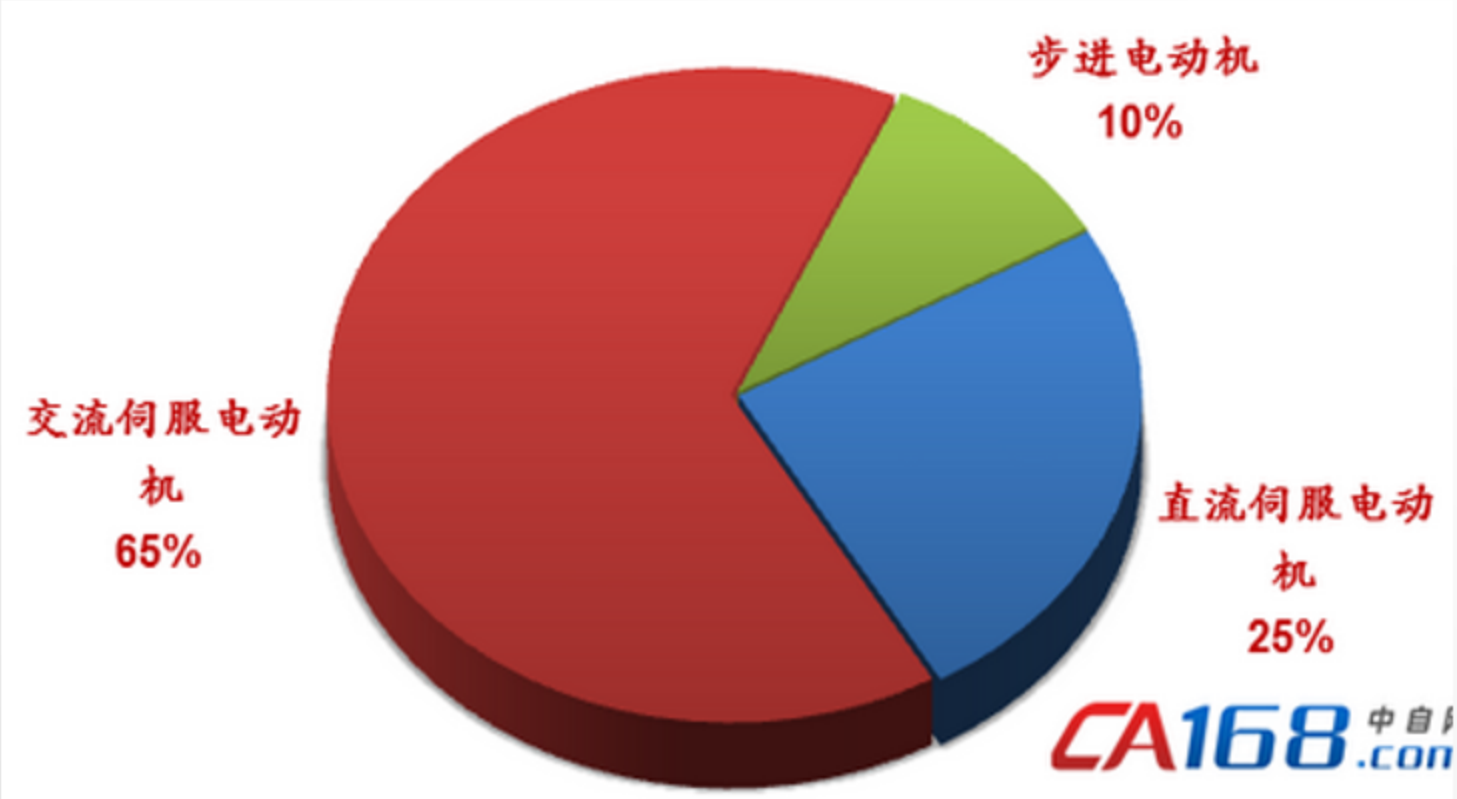
(4) 关键技术——传感器

伺服控制系统

伺服系统是一种以机械位置或角度作为控制对象的自动控制系统，一般包括伺服驱动器和伺服电机。使用在伺服系统中的驱动电机要求具有响应速度快、定位准确、合适转动惯量。

工业机器人电动伺服系统的一般结构为三个闭环控制，即电流环、速度环和位置环。一般情况下，对于交流伺服驱动器，可通过对其内部功能参数进行人工设定而实现位置控制、速度控制、转矩控制等多种功能。

电机用于驱动机器人的关节，要求是要有最大功率质量比和扭矩惯量比、高启动转矩、低惯量和较宽广且平滑的调速范围。特别是像机器人末端执行器（手爪）应采用体积、质量尽可能小的电动机，尤其是要求快速响应时，伺服电动机必须具有较高的可靠性，并且有较大的短时过载能力。



电机性能比较

从使用上的角度来分析:

1、频矩特性: 伺服电机>步进电机

2、控制精度: 伺服电机>步进电机

3、低频特性: 伺服电机>步进电机

4、过载能力: 伺服电机>步进电机

5、控制性能: 伺服电机>步进电机

6、响应特性: 伺服电机>步进电机

伺服系统外资企业占据绝对优势。日系品牌凭借良好的产品性能与极具竞争力的价格垄断了中小型OEM市场。2014年，伺服系统市场TOP15厂商中，前三名均为日系品牌，总份额达到45%。西门子、博世、施耐德等欧系品牌占据高端，整体市场份额在30%左右。国内企业整体份额低于10%左右。

控制器和伺服系统关联紧密，用户选择的排序分别是可靠稳定性、价格、服务，从服务和性价比入手是国内企业突破的方向。但这需要对运动控制领域长期深入的研究，大量资金投入和长时间的市场验证，对技术、资金、人才要求都较高，国内上市公司如新松、新时达、汇川技术、广州数控、埃斯顿等具备类似的条件。

提纲

3 工业机器人关键技术

(1) 关键技术——减速器

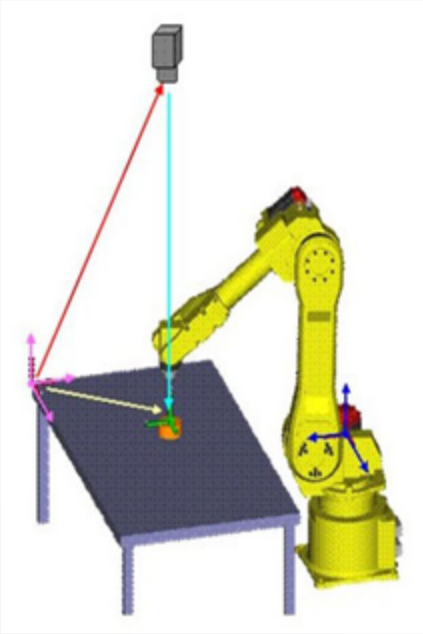
(2) 关键技术——控制器

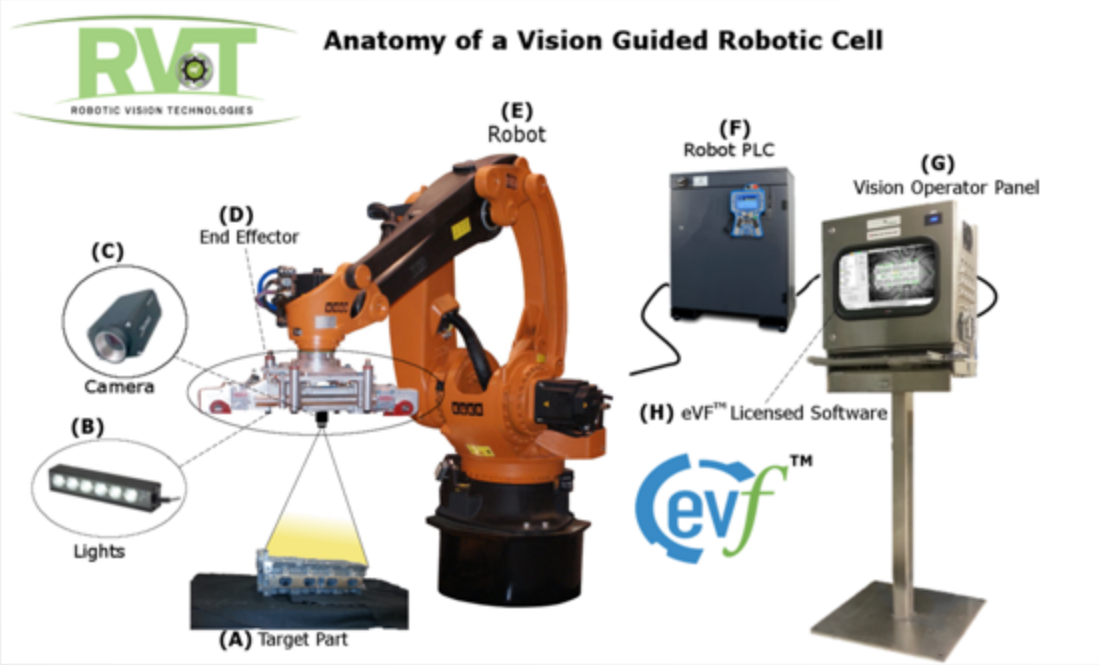
(3) 关键技术——伺服系统

(4) 关键技术——传感器

1、二维视觉传感器

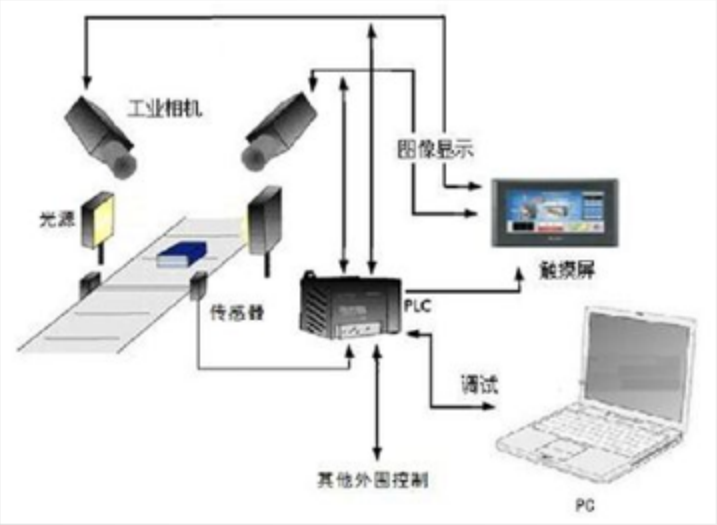
二维视觉传感器主要就是一个摄像头，它可以完成物体运动的检测以及定位等功能，二维视觉传感器已经出现了很长时间，许多智能相机可以配合协调工业机器人的行动路线，根据接收到的信息对机器人的行为进行调整。

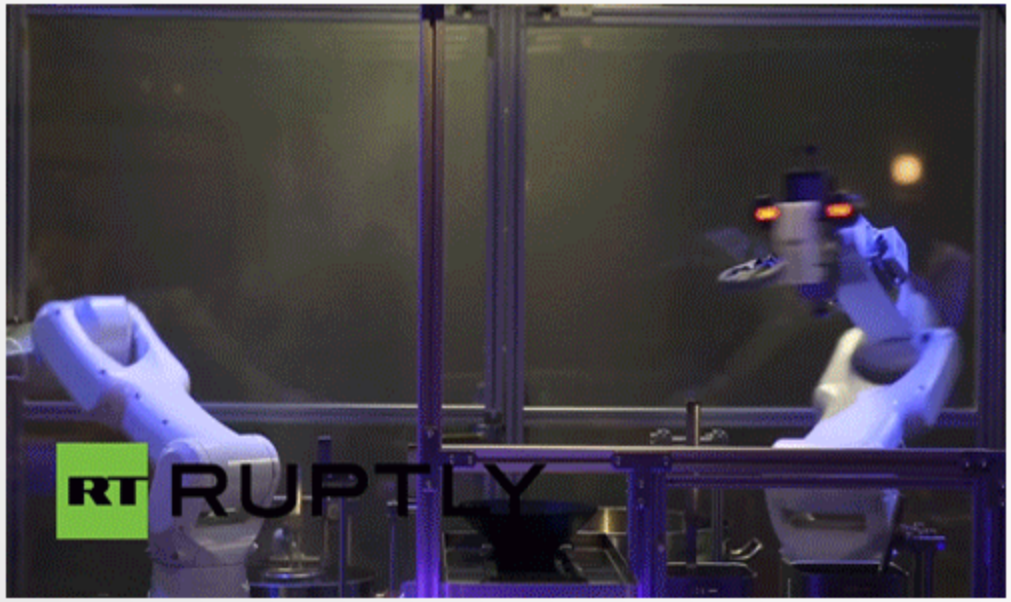




2、三维视觉传感器

最近三维视觉传感器逐渐兴起，三维视觉系统必须具备两个摄像机在不同角度进行拍摄，这样物体的三维模型可以被检测识别出来。相比于二维视觉系统，三维传感器可以更加直观的展现事物。



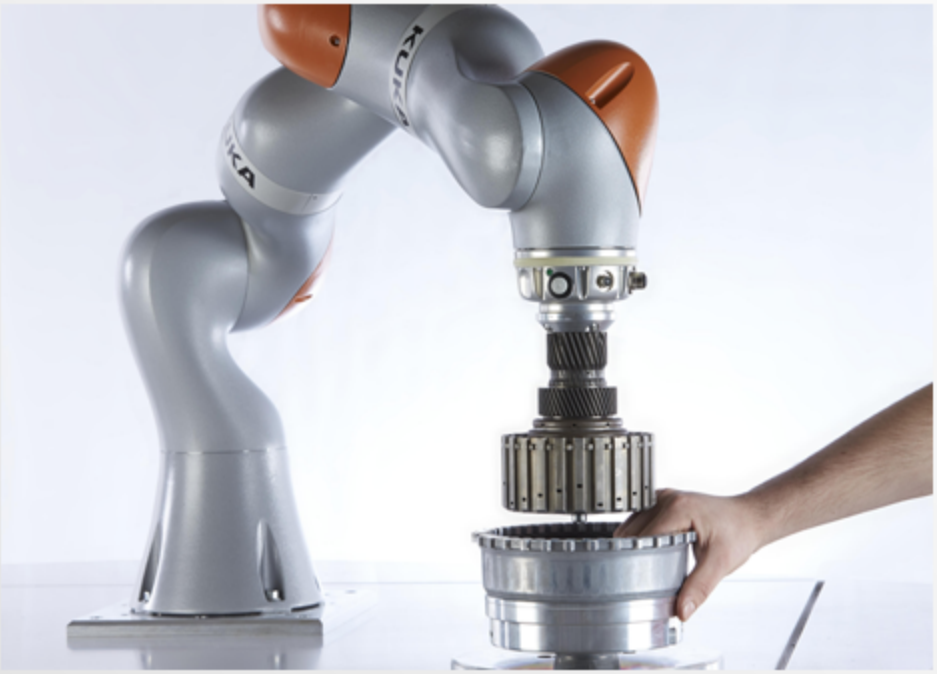


3、力扭矩传感器

力扭矩传感器是一种可以让机器人知道力的传感器，可以对机器人手臂上的力进行监控，根据数据分析，对机器人接下来行为作出指导。

4、碰撞检测传感器/安全传感器

工业机器人尤其是协作机器人最大的要求就是安全，要营造一个安全的工作环境，就必须让机器人识别什么事不安全。一个碰撞传感器的使用，可以让机器人理解自己碰到了什么东西，并且发送一个信号暂停或者停止机器人的运动。



6、其他传感器

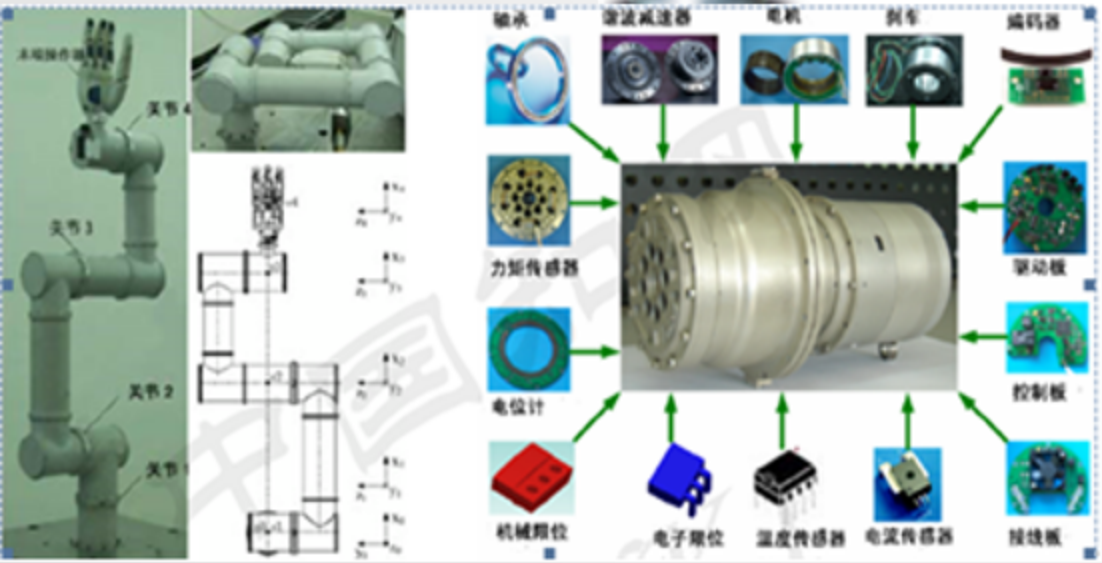
除了这些还有其他的许多传感器，比如焊接缝隙追踪传感器，要想做好焊接工作，就需要配备一个这样的传感器，还有触觉传感器等等。传感器为工业机器人带来了各种感觉，这些感觉帮助机器人变得更加智能化，工作精确度更高。

提纲

1. 工业机器人简介
2. 国内外工业机器人发展概况
3. 工业机器人关键技术
4. 其他工业机器人

柔性串联机器人


ABB

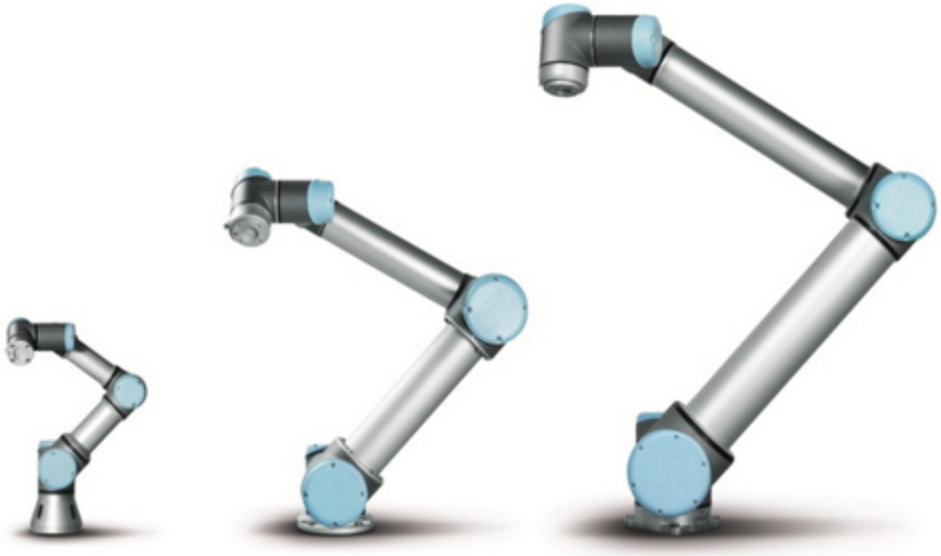

轴承
谐波减速器
电机
刹车
编码器
力矩传感器
驱动板
电位计
控制板
机械限位
电子限位
温度传感器
电流传感器
接线板

h

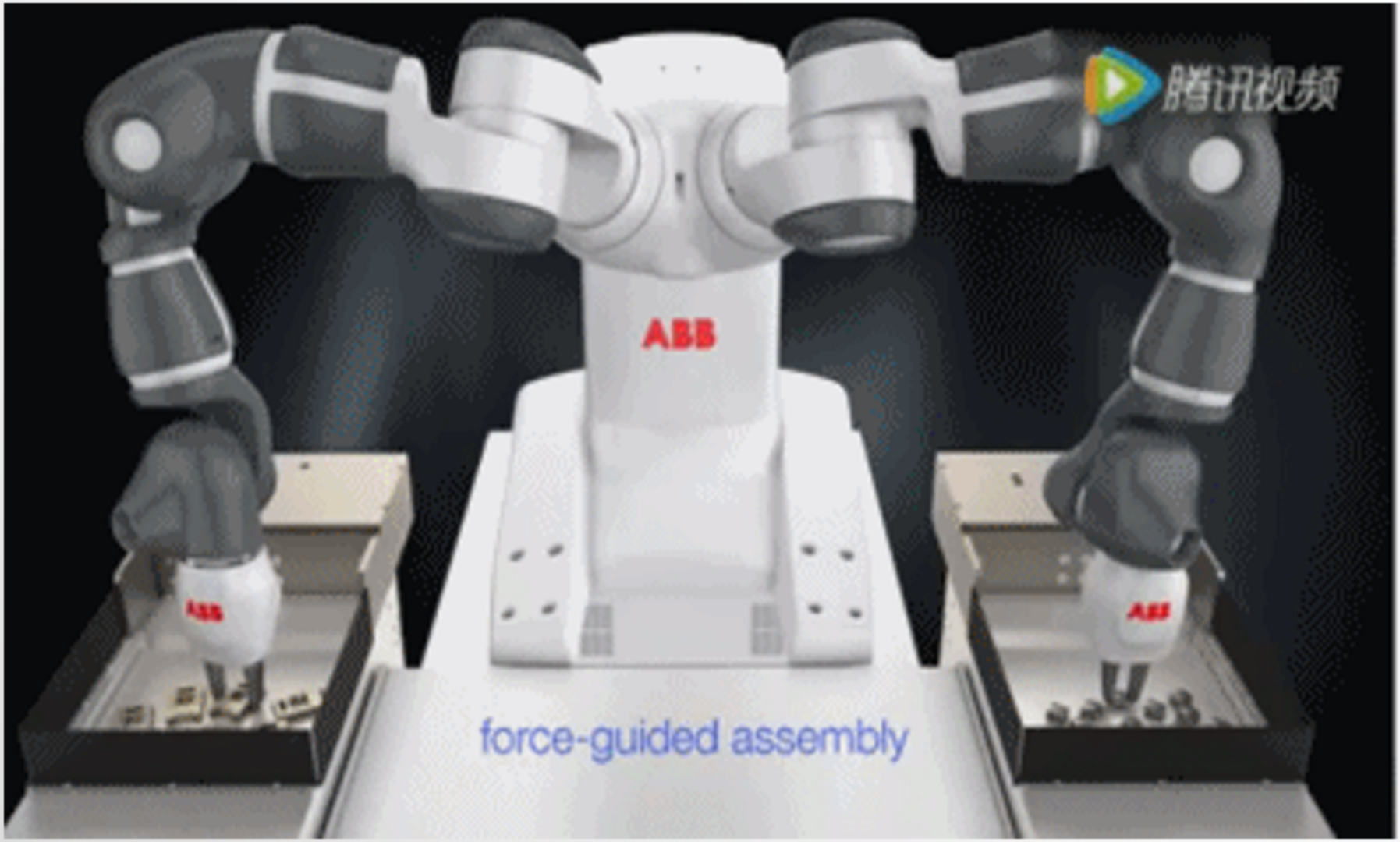
h

h

h



h



h


腾讯视频
ABB

并联机器人