



工业机器人概述

主讲教师：董霞

Email: xdong@mail.xjtu.edu.cn

办公地点：西二楼东207

西安交通大学机械工程学院

本课程简介

➤ 专业模块课：48学时，1-8周，理论学时16

➤ 学习本课程的目的：

激发兴趣、启发灵感、开阔视野

➤ 本课程主要内容：

➤ 机器人的结构设计

➤ 机器人运动学（重点）

➤ 机器人动力学（重点）

➤ 机器人的感觉（重点）

➤ 机器人的控制（重点）

➤ 机器人应用实例分析

什么是机器人？

如何学习机器人学？

抛砖引玉



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

主要参考教材

- **John J.Craig. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. (Third Edition) Pearson Education ,Inc., 2005**
- **Saeed B. Niku. Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications. Pearson Education ,Inc., 2001**
- **蔡自兴，机器人学基础，机械工业出版社，2009. 6**
- **陈恩，杨向东等. 机器人技术与应用，清华大学出版社，2006.9**
- **吴振彪、王正家. 工业机器人（第二版）. 华中科技大学出版社，2006**
- **孙树栋主编. 工业机器人技术基础，西北工业大学出版社，2006**
- **其它同类教材**

第一章 绪论

1.1 机器人名称的由来

机器人 (Robot) 一词最早出现在1920年捷克作家卡雷尔·卡佩克 (Karel.Capek) 所写的讽刺剧“罗萨姆的万能机器人” (Rossum's Universal Robots)。剧中的人造劳动者取名为Robota, 捷克语即“苦力”、“奴隶”之意, 英语的Robot一词即由此而来, 以后成为世界各国关于机器人的通用名词。



机器人三守则

1950年，美国著名科幻小说作家阿西莫夫在他的小说《我是机器人》（I, Robot）中，提出了有名的“**机器人三守则**”：

- 机器人必须不危害人类，也不允许眼看人类将受危害而袖手旁观；
- 机器人必须绝对服从于人类，除非这种服从有害于人类；
- 机器人必须保护自身不受伤害，除非是为了保护人类或者是人类命令它做出牺牲。

这三条守则至今仍被机器人研究人员、研制厂家和用户共同遵守。阿西莫夫因此被称为“机器人学之父”。

1.2 机器人的定义

国际上还没有合适的、为人们普遍认同的“机器人”定义，各国对机器人有自己的定义：

这些定义之间的差别较大。

英国简明牛津字典的定义	机器人是貌似人的、具有智力和顺从于人的但不具人格的自动机
美国机器人协会（RIA）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（manipulator）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）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。
美国国家标准局（NBS）的定义	机器人是一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置
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。

我国尚无对于机器人的统一定义

一般认为机器人应具有的共同点为：

1) 机器人的动作机构具有类似于人或其它生物的某些器官的功能。

2) 是一种人造的自动机械（电子）装置，可以在无人参与下（即具有独立性），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，即具有柔性或适应性。

3) 具有不同程度的智能性，如记忆、感知、推理、决策、学习。

1.3 机器人的发展

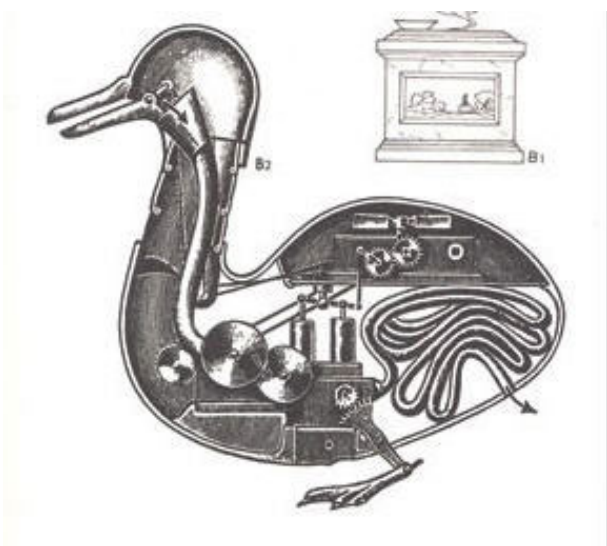
古代“机器人”——现代机器人的雏形

- 人类对机器人的幻想与追求已有3000多年的历史
 - **西周时期**，我国的能工巧匠偃师研制出的歌舞艺人，是我国最早记载的机器人。
 - **春秋后期**，据《墨经》记载，鲁班曾制造过一只木鸟，能在空中飞行“三日不下”。
 - **公元前2世纪**，古希腊人**戴达罗斯**发明了最原始的机器人——太罗斯，它是以水、空气和蒸汽压力为动力的会动的青铜雕像，它可以自己开门，还可以借助蒸汽唱歌。
 - **1800年前的汉代**，大科学家张衡不仅发明了地动仪，而且发明了计里鼓车，**计里鼓车**每行一里，车上木人击鼓一下，每行十里击钟一下。

-
- 后汉三国时期，蜀国丞相诸葛亮成功地创造出了“木牛流马”，并用其在崎岖山路中运送军粮，支援前方战争。



- 1662年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶，并在大阪的道顿堀演出。
- 1738年，法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭，它会嘎嘎叫，会游泳和喝水，还会进食和排泄。
- 1773年，著名的瑞士钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯制造出自动书写玩偶、自动演奏玩偶等，他们创造的自动玩偶是利用齿轮和发条原理而制成的，它们有的拿着画笔和颜色绘画，有的拿着鹅毛蘸墨水写字，结构巧妙，服装华丽，在欧洲风靡一时。



现代机器人的发展历史

- 1927年，美国西屋公司工程师温兹利制造了第一个机器人“电报箱”，并在纽约举行的世界博览会上展出，它是一个电动机器人，装有无线电发报机，可以回答一些问题，但该机器人不能走动。

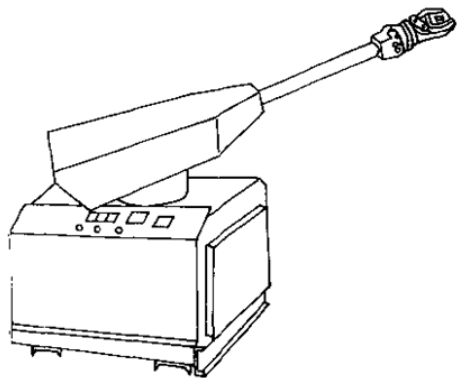
1954年，美国人George C. Devol 提出了第一个工业机器人方案并在1956年获得美国专利。

1960年，Conder公司购买专利并制造了样机。

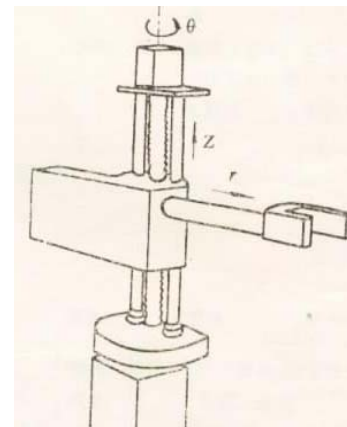
现代机器人的发展历史

1961年，Unimation公司（通用机械公司）成立，生产和销售了第一台工业机器“Unimate”，即万能自动之意。

1962年，A.M.F.（机械与铸造）公司，研制出一台数控自动通用机，取名“Versatran”，即多用途搬运之意，并以“**Industrial Robot**”为商品广告投入市场。



Unimate 工业机器人（在 General Motors 工厂的模铸机使用）



VERSATRAN



1967年，Unimation公司第一台喷涂用机器人出口到日本川崎重工业公司。

1968年，第一台智能机器人Shakey在斯坦福研究所诞生。

1972年，IBM公司开发出直角坐标机器人。

1973年，Cincinnati Milacron公司推出T3型机器人。

1978年，第一台PUMA机器人在Unimation公司诞生。

1982年，Westinghouse公司兼并Unimation公司，随后又卖给了瑞士的Staubli公司。

1990年，Cincinnati Milacron公司被瑞士ABB公司兼并。



在此期间，日本、西欧各国、前苏联也相继引进或自行研制工业机器人。60～70年代是机器技术获得巨大发展的阶段。

80年代，机器人在发达国家的工业中**大量普及应用**，如**焊接、喷漆、搬运、装配**。并向各个领域**拓展**，如**航天、水下、排险、核工业**等，机器人的感知技术得到相应的发展，产生**第二代机器人**。

90年代，机器人技术在发达国家应用更为广泛，如**军用、医疗、服务、娱乐**等领域，并开始向智能型（**第三代**）机器人发展。

➤ 随着机器人技术的发展形成了新学科 — 机器人学。建立了相应学术组织，定期举办学术活动。

国际会议：**ISIP、IEEE-IROS、ICRA** 等。

国际杂志：《**International Journal of Robotics Research**》、
《**Robotica**》、《**International Journal of Robotics and Automation**》、
《**IEEE Transactions on Robotics and Automation**》等。

- 80年代 开始进入智能机器人研究阶段
 - 80年代，不同结构、不同控制方法和不同用途的工业机器人在工业发达国家真正进入了实用化的普及阶段。
 - 随着传感技术和智能技术的发展，开始进入智能机器人研究阶段。
 - 机器人视觉、触觉、力觉、接近觉等项研究和应用，大大提高了机器人的适应能力，扩大了机器人的应用范围，促进了机器人的智能化进程。
- 经历了40多年的发展，机器人技术逐步形成了一门新的综合性学科 —— 机器人学 (Robotics)
 - 它包括有基础研究和应用研究两个方面
 - 主要研究内容有：
 - (1) 机械手设计；
 - (2) 机器人运动学、动力学和控制；
 - (3) 轨迹设计和路径规划
 - (4) 传感器(包括内部传感器和外部传感器)；
 - (5) 机器人视觉；
 - (6) 机器人语言；
 - (7) 装置与系统结构；
 - (8) 机器人智能等。

我国机器人研究的简况

(Developing of Robots in China)

- 我国机器人研究始于70年代，并被列入“七五”期间实施的国家“863”高科技发展计划（512主题）。“863”计划的实施大大推动了我国机器人技术的发展，在短短30多年里，中国的机器人技术在上世界上已占有一席之地，在制造业中陆续出现一些喷涂、焊接、搬运、装配机器人，但受市场和资金等因素的影响，截止到1998年我国机器人装机数量仅1200台，其中绝大部分是进口的，这与发达国家相比还存在很大差距。

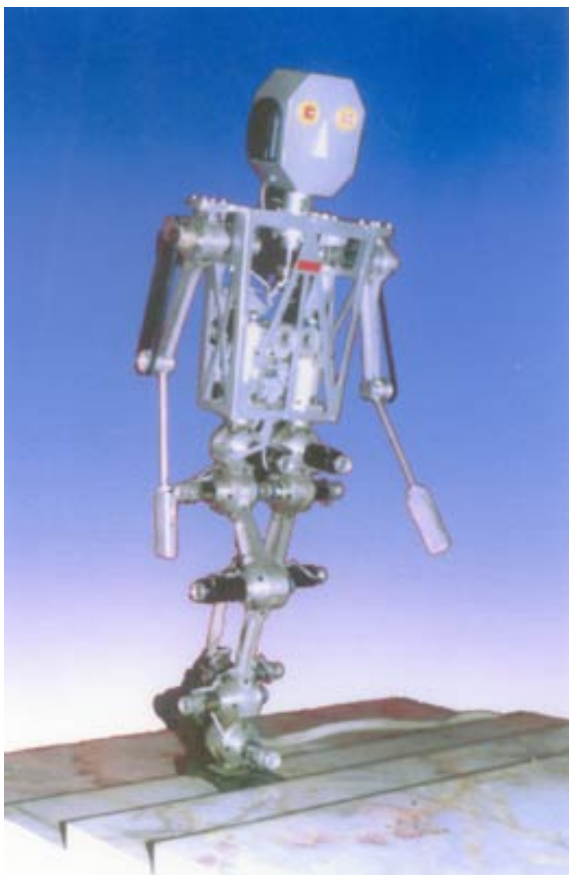
-
- **在特种机器人方面**，自第一台水下机器人在沈阳自动化所研制成功后，瑞康（RECON）一号、探索者一号相继下水，特别是“CR-01” 6000米水下机器人，能完成在深水中摄像，进行海底地势勘察和水文测量，自动记录各种数据等工作。另外，我国还在壁面爬行机器人（哈工大、北航）、遥控检查和排险机器人（沈阳自动化所）、自动驾驶机器人（清华大学、国防科技大学）、防核防化军用机器人（国防科技大学）、微操作机器人（华中科技大学、南开大学）的研究方面取得了较大的进展。

CR-01型6000米水下无缆机器人



1995年8月我国沈阳自动化所机器人中心研制的CR-01型6000米水下无缆机器人（上）和正在下水的情况（右）



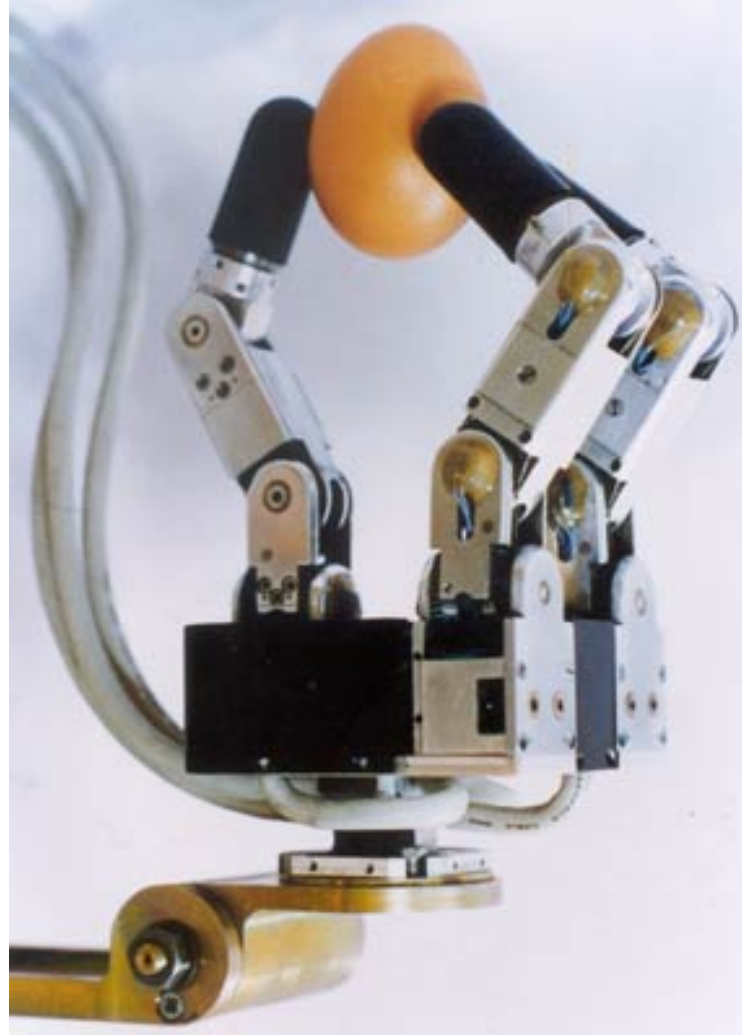


国防科技大学研制“先行者”仿人型机器人



哈尔滨工业大学双足步行机器人在爬楼梯

北京航空航天大学研究的多指灵巧手



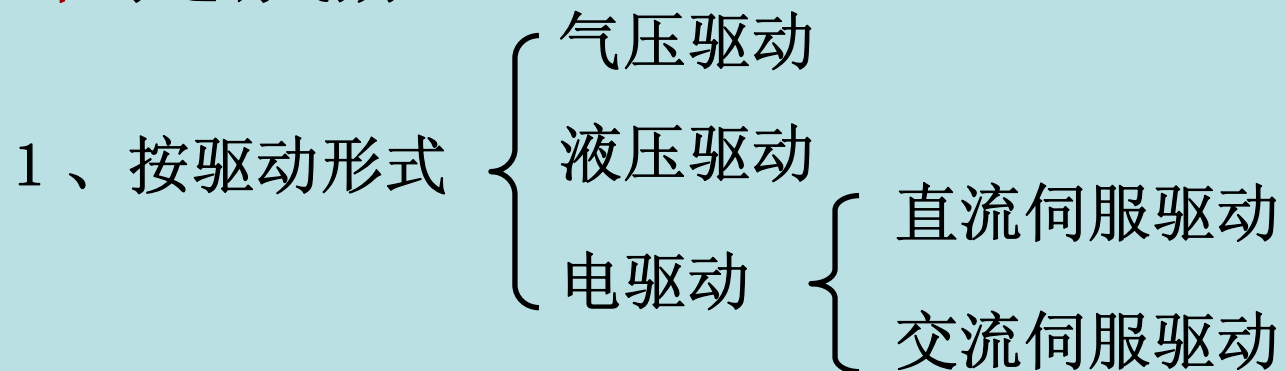
国家“863”计划把机器人技术作为重点发展技术来支持。建立了“机器人示范工程中心”和机器人国家开放实验室（沈阳自动化所、哈工大、合肥机械所、上海交大、南开大学）。

我国也建立了机器人学的学术组织，定期举办学术活动。学术会议：每两年左右举办一次大型全国性会议。
学术刊物：《机器人》、《机器人技术与应用》等。

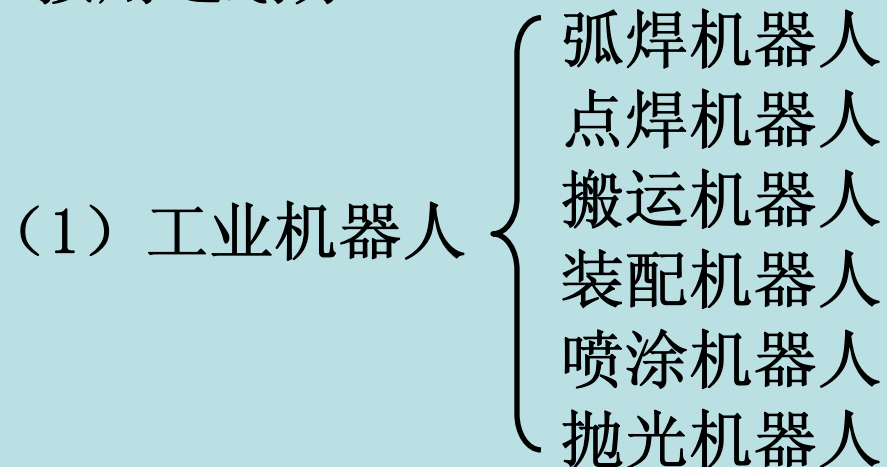
目前我国机器人的发展正**朝着实用化、智能化和特种机器人的方向发展**。我们完全有理由相信，随着我国科学技术的飞速发展和知识经济时代的到来，我国机器人的研究水平和应用领域，将进入一个大的发展时期。

1.4 机器人的分类 (Classifying of Robots)

机器人的种类很多。可以按驱动形式、用途、结构和智能水平等进行划分

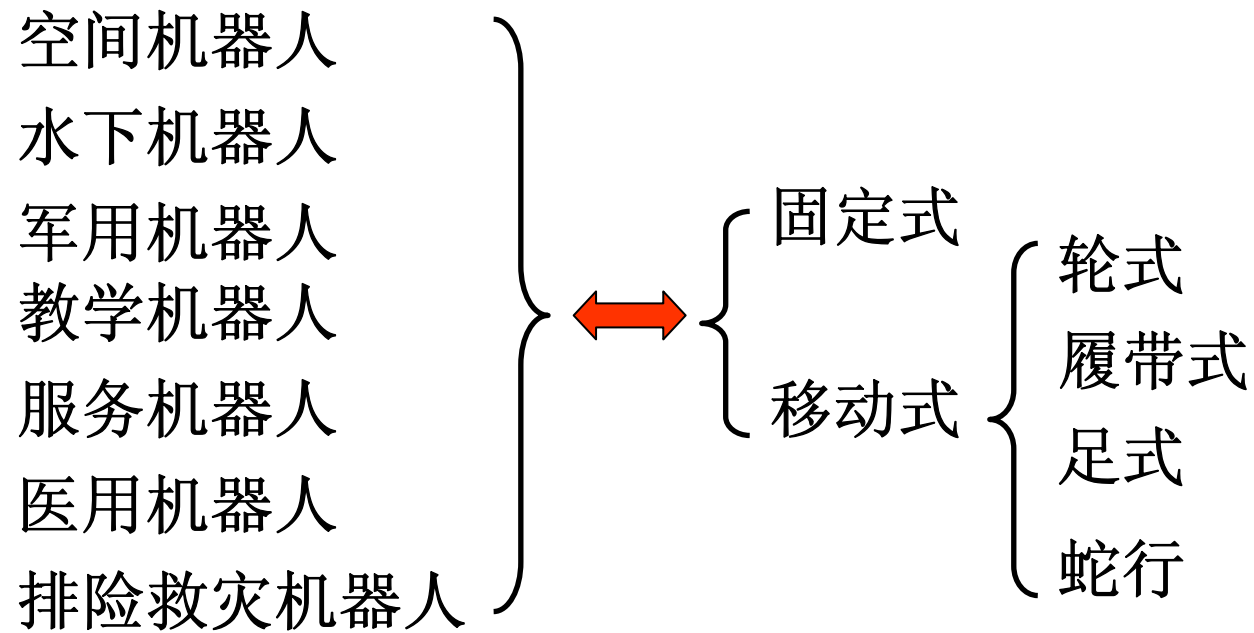


2、按用途划分



机器人的分类

(2) 特种机器人



机器人的分类

3 按几何结构分类：利用机构特性分类

串联机器人：各连杆为串联

并联机器人：各连杆为并联



4、按智能水平划分

		分 类 名 称	简 要 解 释
第一代	{	人工操作装置	有几个自由度，有操作员操纵，能实现若干预定的功能。
		固定顺序机器人	按预定的不变顺序及条件，依次控制机器人的机械动作。
		可变顺序机器人	按预定的顺序及条件，依次控制机器人的机械动作。但顺序和条件可作适当改变。
		示教再现型机器人	通过手动或其它方式，先引导机器人动作，记录下工作程序，机器人则自动重复进行作业。
		数控型机器人	不必使机器人动作，通过数值、语言等为机器人提供运动程序，能进行可编程伺服控制。
第二代	{	感知型机器人	利用传感器获取的信息控制机器人的动作。机器人对环境有一定的适应性。
第三代	{	智能机器人	机器人具有感知和理解外部环境的能力，即使环境发生变化，也能够成功的完成任务。

1.5 机器人的应用

机器人的应用十分广泛，在许多领域机器人都得到了成功的应用或有着美好的应用前景。

- 工业机器人 工业机器人是应用最为成功和广泛的机器人，它的应用涉及到工业生产的各个方面，如焊接、装配、喷漆等。
- 海洋探测机器人 可用于海底矿物资源和水文气象探测、海底地势勘察、打捞、救生、排险等。
- 空间机器人 在航天飞机上用来回收和维修人造卫星，在空间站、月球表面和火星上进行工作。
- 军用机器人 有扫雷排雷机器人、侦察机器人、防核防化机器人等。

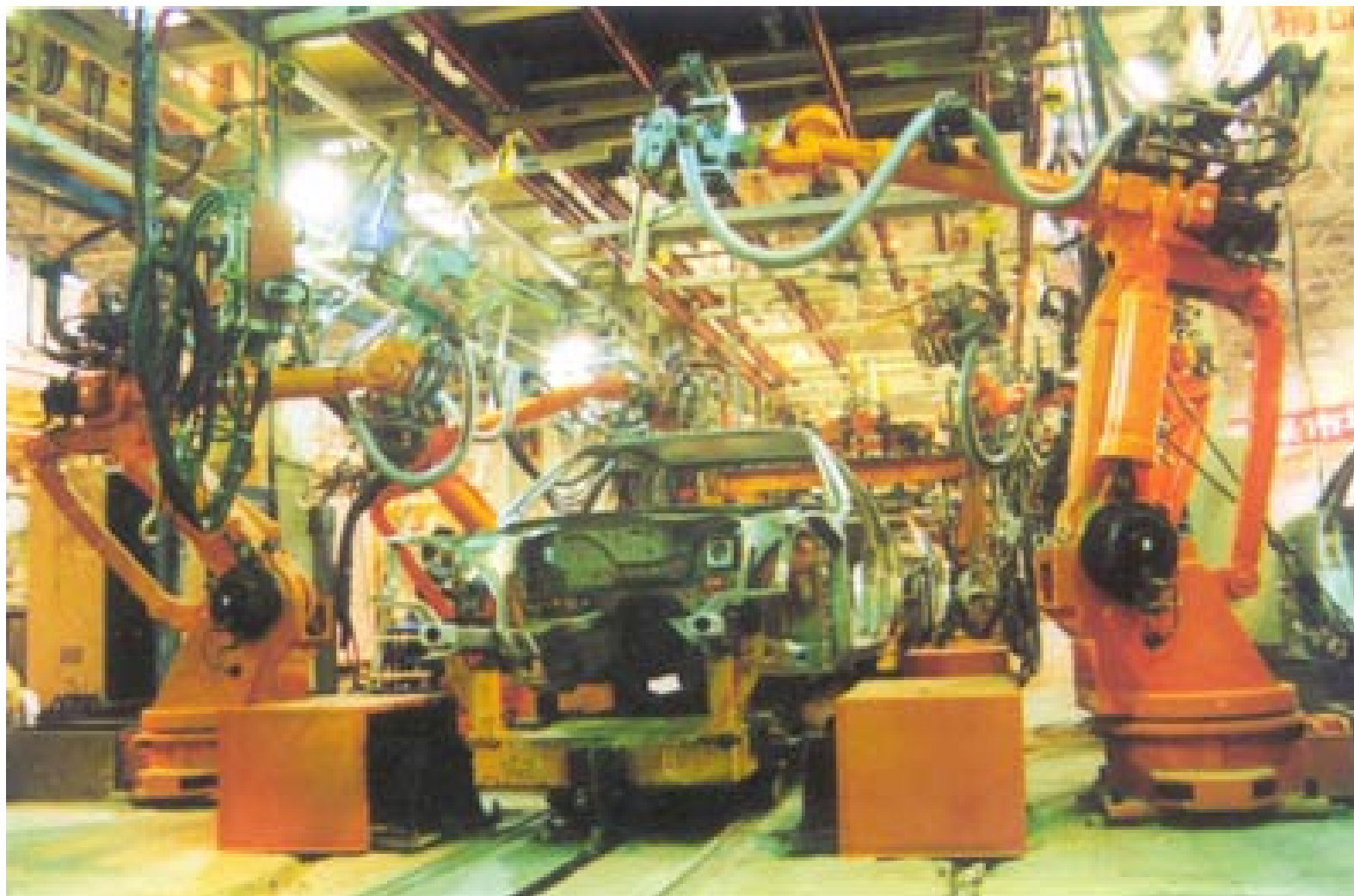
机器人的应用

- 特种机器人 替代人在繁重、危险、恶劣环境下作业必不可少的工具，如消防（灭火）机器人、防暴机器人、盾构机器人等。
- 微型机器人 进入煤气、输油管道等狭窄场所进行工作，甚至进入人体的血管、肠胃。
- 微操作机器人 是机器人领域的一个重要研究方向，在国防、空间技术、生物医学工程、智能制造和微机电系统（MEMS）中有广泛的应用前景。
- 娱乐机器人 充当导游、做表演、甚至与人进行简单交流，如导游机器人、足球机器人、机器狗、机器猫、机器鱼等。
- 服务机器人 已经开始或在不久的将来进入人类家庭生活，如保健机器人，导盲机器人、垃圾清扫和擦玻璃机器人等。

高楼擦窗和壁面清洗机器人



一汽红旗轿车机器人焊接线





20公斤点焊机器人



点焊机器人在工作中



6公斤弧焊机器人



弧焊机器人在工作中

工业机器人（一）



涂胶机器人



SCARA型装配机器人



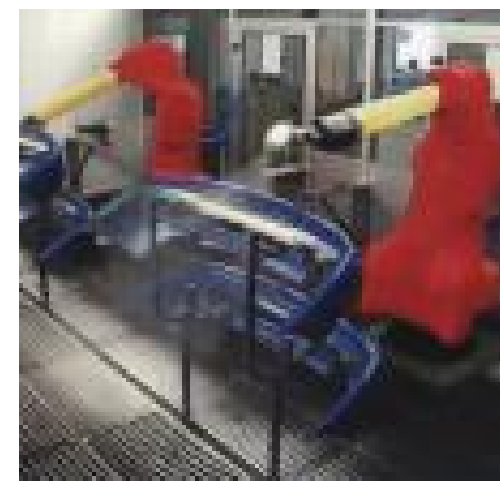
龙门式喷漆机器人



搬运机器人



码垛机器人



喷漆机器人

工业机器人（二）





Spirit火星漫游车



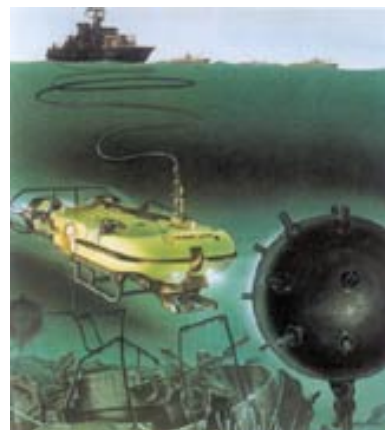
Marshod 火星漫游车



Canada Arm 太空机械臂



“双鹰”水下机器人



水下扫雷机器人



“探索者号”水下机器人

特种机器人（一）



豹式排雷机器人



“徘徊者”侦察机器人



波士顿动力学工程公司（Boston Dynamics）研制的Bigdog机器人



美国“别动队”无人机



法国“红隼”无人机



微型无人机

特种机器人（二）



迎宾机器人



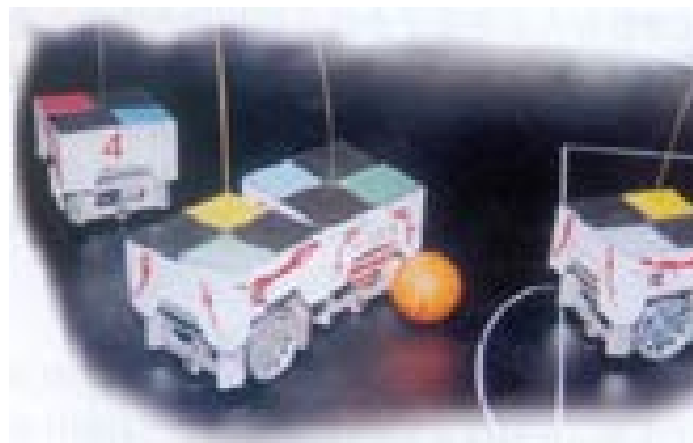
导盲机器人



跳舞机器人



医疗机器人



足球机器人



AIBO机器狗



指挥机器人

特种机器人（三）



消防机器人



室外保安机器人



德国排爆机器人



防暴机器人



管内机器人



大型喷浆机器人

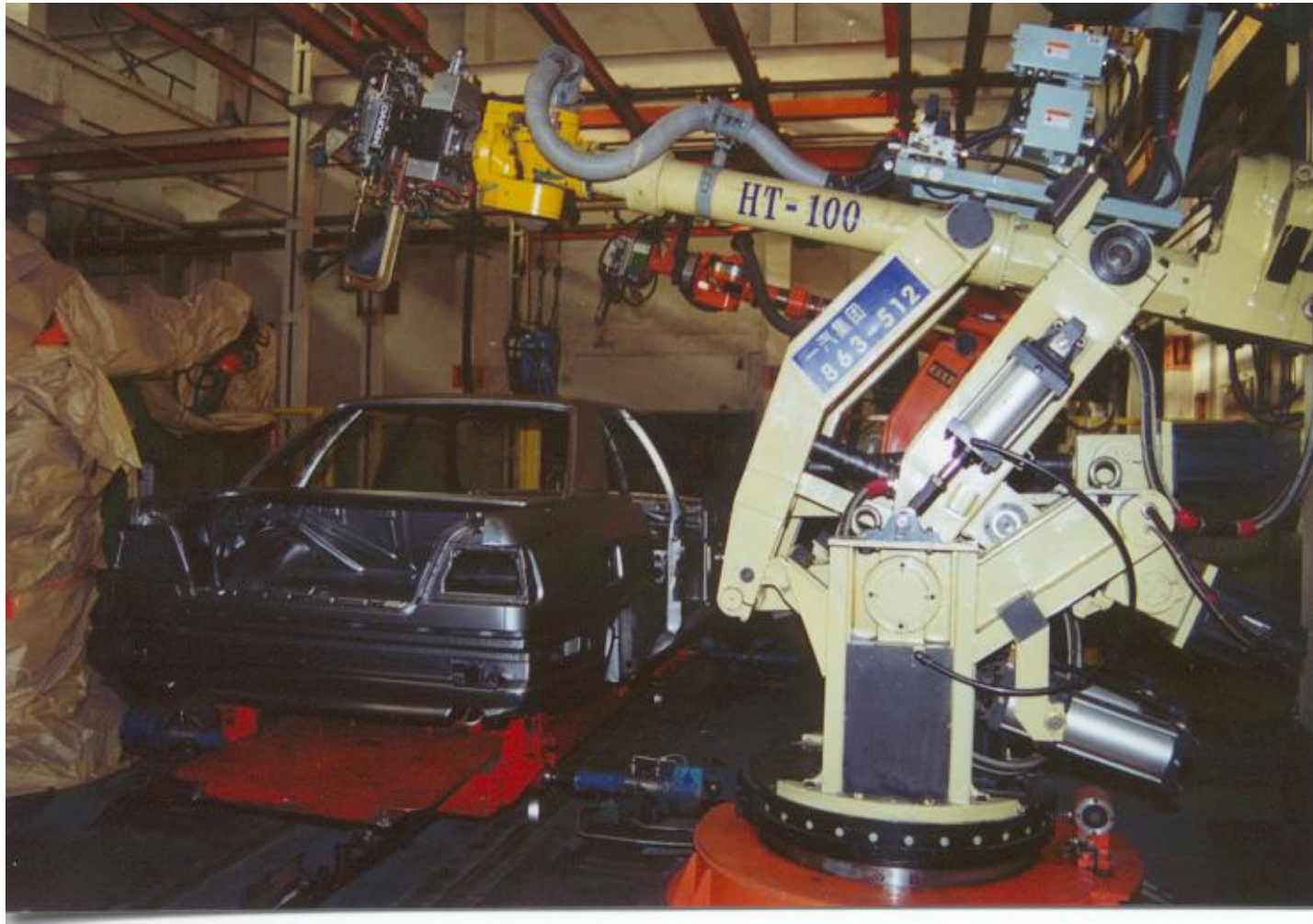


隧道凿岩机器人

特种机器人（四）



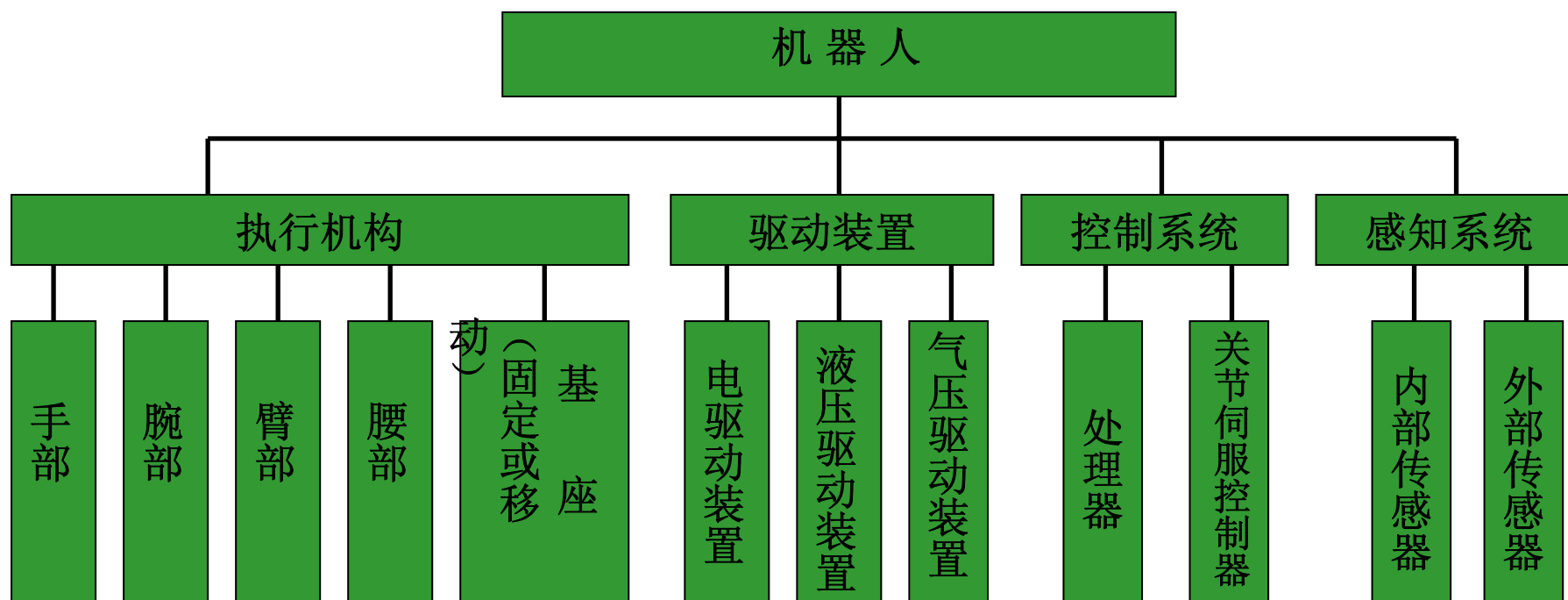
工业机器人



1.6 机器人的组成、构型及性能要素

1.6.1 机器人的组成

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

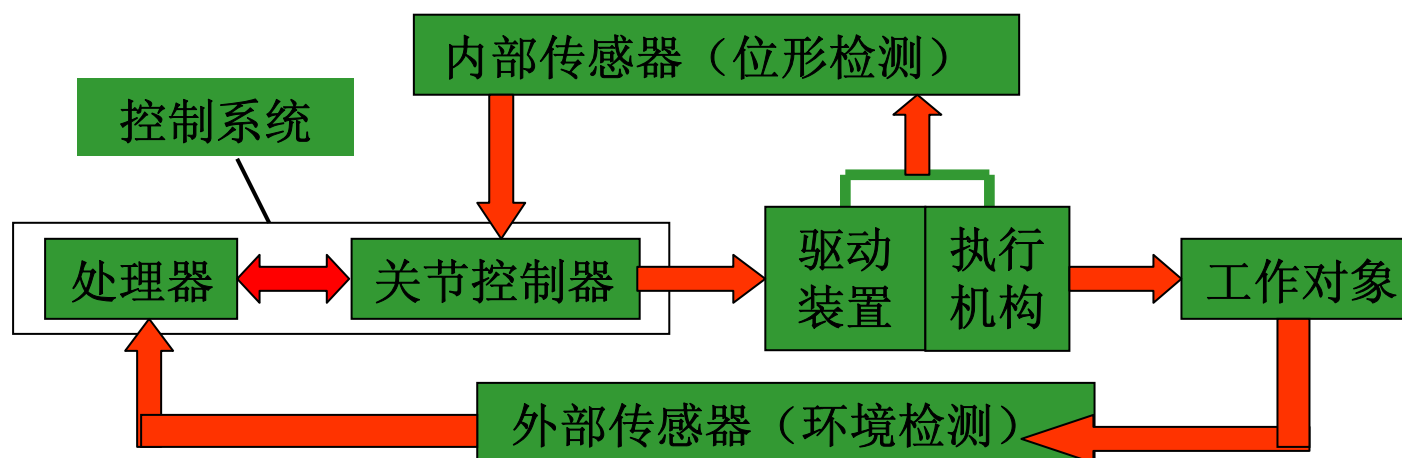
包括：驱动源、传动机构等。相当于人的肌肉、筋络。

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。



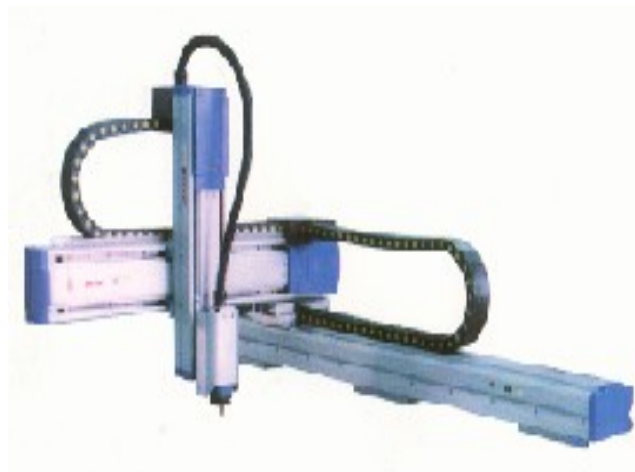
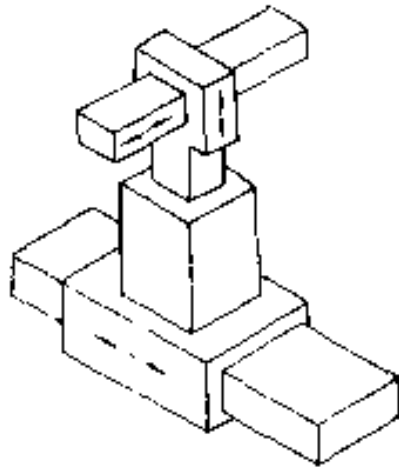
• 1.6.2 机器人的构型

机器人的机械配置形式即构型多种多样。最常见的构型是用其坐标特性来描述的。

一、工业机器人

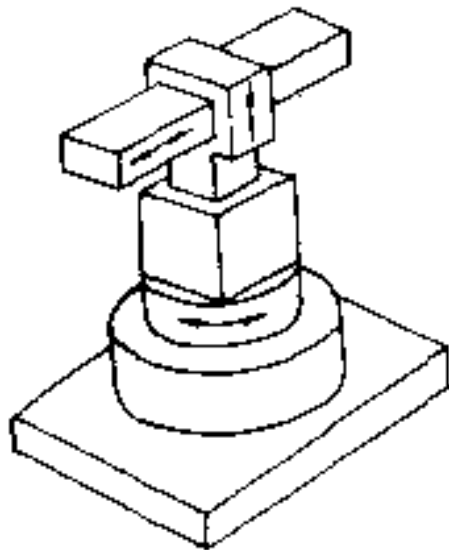
1、直角坐标型 (3P)

其运动是解耦的，控制简单。但运动灵活性较差，自身占据空间最大。

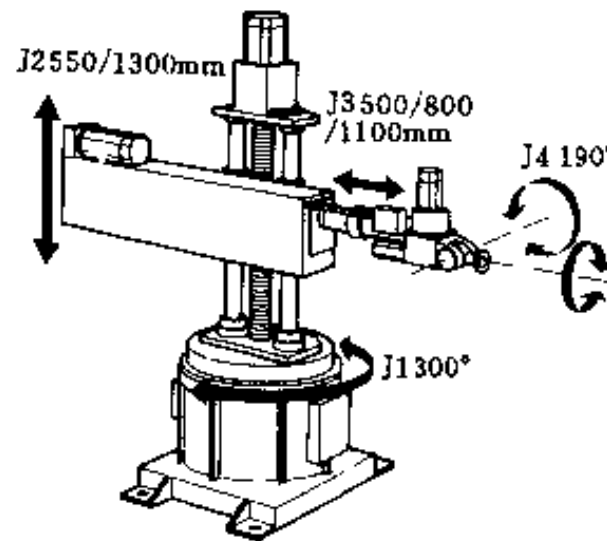


2、圆柱坐标型 (R2P)

其运动耦合性较弱，控制也较简单，运动灵活性稍好。但自身占据空间也较大。



圆柱坐标型机器人模型



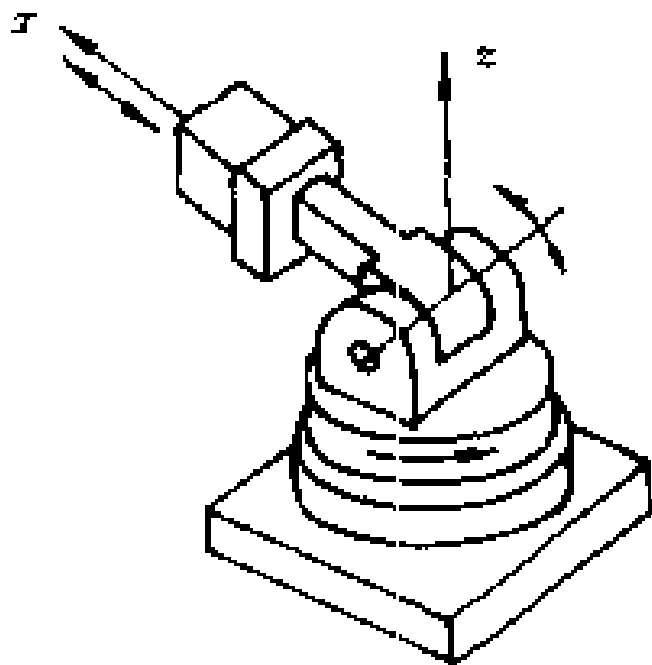
Verstran 机器人



Verstran 机器人

3、极坐标型（也称球面坐标型）(2RP)

其运动耦合性较强，控制也较复杂。但运动灵活性好。占自身据空间也较小。



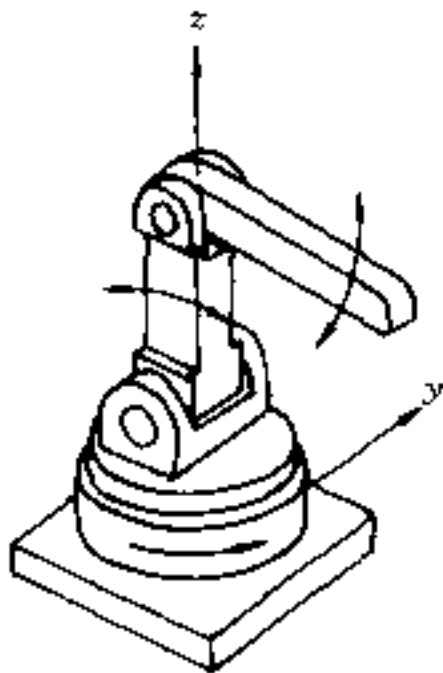
极坐标型机器人模型



Unimate 机器人

4、关节坐标型 (3R)

其运动耦合性强，控制较复杂。但运动灵活性最好，自身占据空间最小。



关节型机器人模型



关节型搬运机器人



关节型焊接机器人

5、平面关节型 (SCARA)

仅平面运动有耦合性，控制较通用关节型简单。但运动灵活性更好，铅垂平面刚性好。



SCARA型装配机器人

二、特种机器人

仿生型

自由度一般较多，具有更强的适应性和灵活性，但控制更复杂，成本更高，刚性较差。



类人型跳舞机器人



蛇形机器人



仿狗机器人



六足水下扫雷机器蟹



六轮漫游机器人



仿鱼机器人



仿鸟机器人

1.6.3 机器人的性能要素

■ 自由度数

衡量机器人适应性和灵活性的重要指标，一般等于机器人的关节数。机器人所需要的自由度数决定与其作业任务。

■ 负荷能力

指机器人在工作范围内的任何位姿上所能承受的最大质量。机器人的载荷不仅取决于负载的质量，而且还与机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。为了安全起见，承载能力是指高速运行时的承载能力。通常，承载能力不仅要考虑负载，而且还要考虑机器人末端操作器的质量。

■ 工作空间

指机器人手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合，也叫工作区域。因为末端操作器的形状和尺寸是多种多样的，为了真实反映机器人的特征参数，所以是指不安装末端操作器时的工作区域。。

■ 精度

指机器人到达指定点的精确程度。它与机器人驱动器的分辨率及反馈装置有关。

■ 重复定位精度

指机器人重复到达同样位置的精确程度。它不仅与机器人驱动器的分辨率及反馈装置有关，还与传动机构的精度及机器人的动态性能有关。

■ 控制模式

引导或点到点示教模式；连续轨迹示教模式；软件编程模式；自主模式。

■ 最大工作速度

通常指机器人手臂末端的最大速度。提高速度可提高工作效率，因此提高机器人的加速减速能力，保证机器人加速减速过程的平稳性是非常重要的。单关节速度；合成速度。

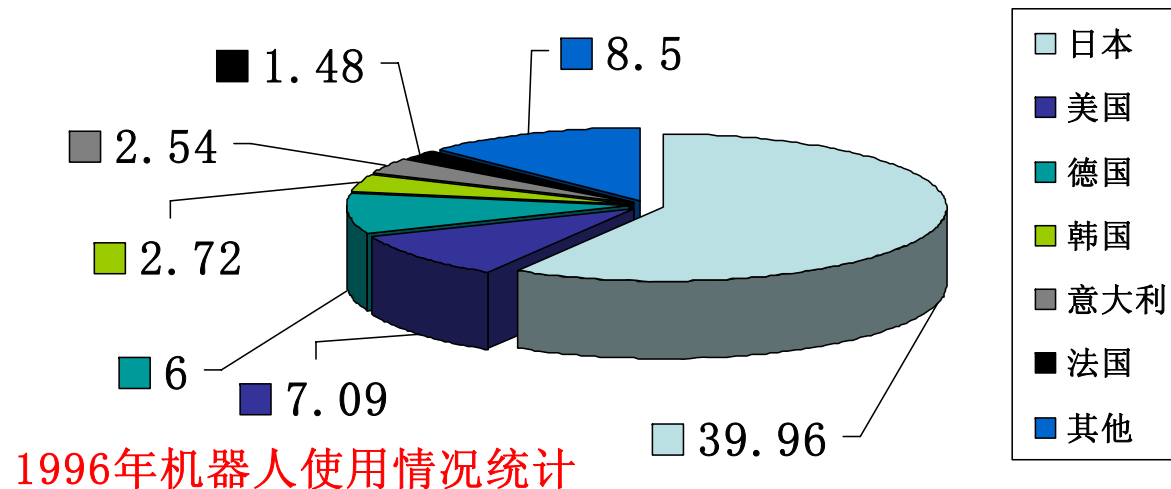
■ 其它动态特性

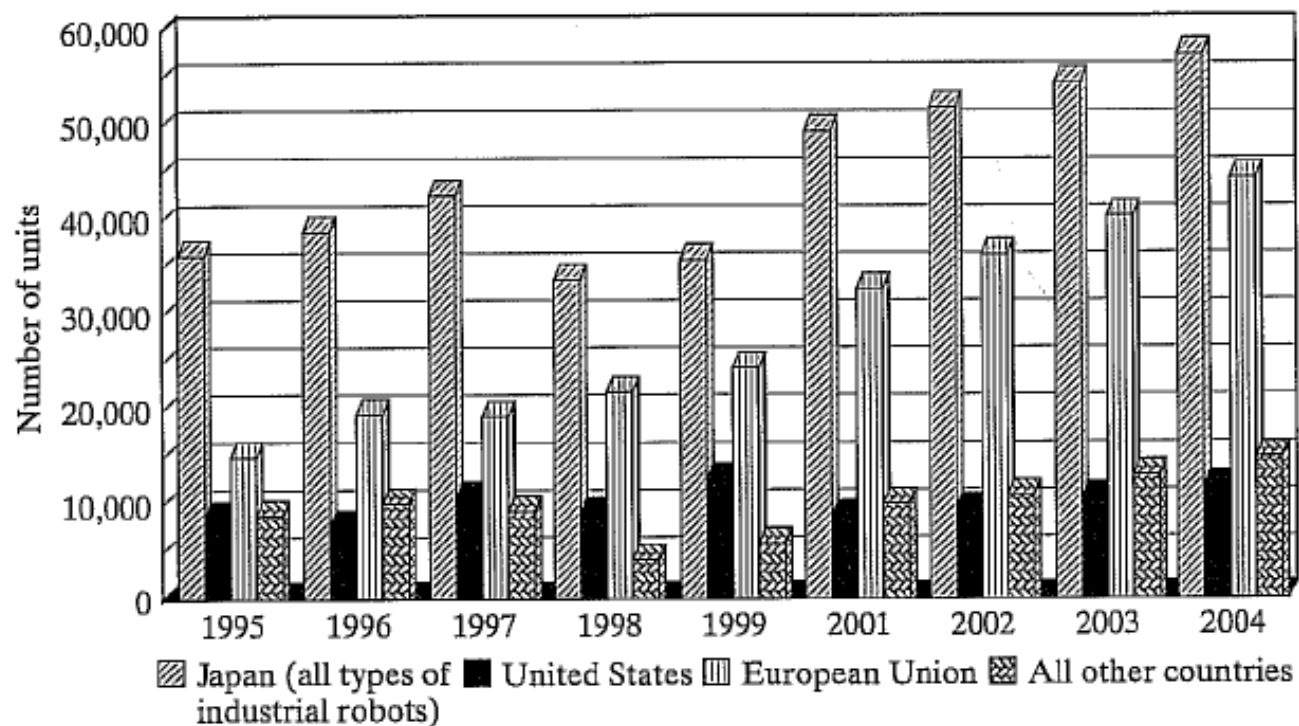
如稳定性、柔顺性等。

1.7 机器人技术展望

- 目前的应用情况

- 机器人的诞生是人类高新技术革命的结晶，经过短短四十多年的发展已取得了巨大成功，但是对于人类的理想来说这还仅仅是开始。
- 据有关资料统计，1996年，全世界有机器人68万台，从1996年以来，世界机器人销售量的年增长率为13%，到2000年，全世界的机器人数量已达到130万台（1999年底销售机器人总台数已达到110万台）。





1995-2000年各种用途工业机器人的年安装量
和2001-2004年的预计年安装量【3】

[3] The International Federation of Robotics, and the United Nations, "World Robotics 2001," Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment, United Nations Publication, New York and Geneva, 2001.

未来应用展望

- 应用领域的进一步扩大

机器人在制造业中的发展是成功的，正逐步涉足非制造业。随着人类改造大自然要求的提高，以及机器人适应特殊环境能力的增强，农业、林业、军事、海洋勘探、太空探索、生物医学工程等行业将是机器人崭露头角的新领域。

- 深入日常生活

在人们的日常生活中，各种服务机器人也将向我们走来，娱乐机器人将给我们的生活增添无限乐趣。清洁机器人将减轻我们繁重的家务。保健机器人可为老人和残疾人提供保健帮助，是人们强烈需求的对象。

- 未来的机器人

未来的机器人将像人一样，能听、能看、能说、能识别环境，具有记忆、推理和决策能力，在某些方面甚至有超过人的能力，如计算、速度、记忆、力量和适应恶劣环境的能力等。人类对机器人将逐渐实现语言、表情甚至意念等方式进行控制，机器人终将成为人类的忠实助手和亲密朋友。

未来机器人技术展望

进入90年代后,机器人数量增长速度下降,但由于人工智能、计算机科学、传感器技术的长足进步,使机器人技术研究在高水平上进行。未来机器人技术将有待于在以下几个方面发展。

一、操作臂技术

1. 高速操作臂: 机构, 伺服驱动, 动态控制方法;
2. 柔性操作臂: 提高荷重比 ($< 30 : 10$), 轻质材料;
3. 冗余自由度臂;
4. 高精度、多自由度力控制: 精密组装;
5. 微型操作臂。

二、移动技术

- 1、新型移动机构：适合非结构环境的移动机构；
- 2、运动控制：建模、制导、导航、路径规划。

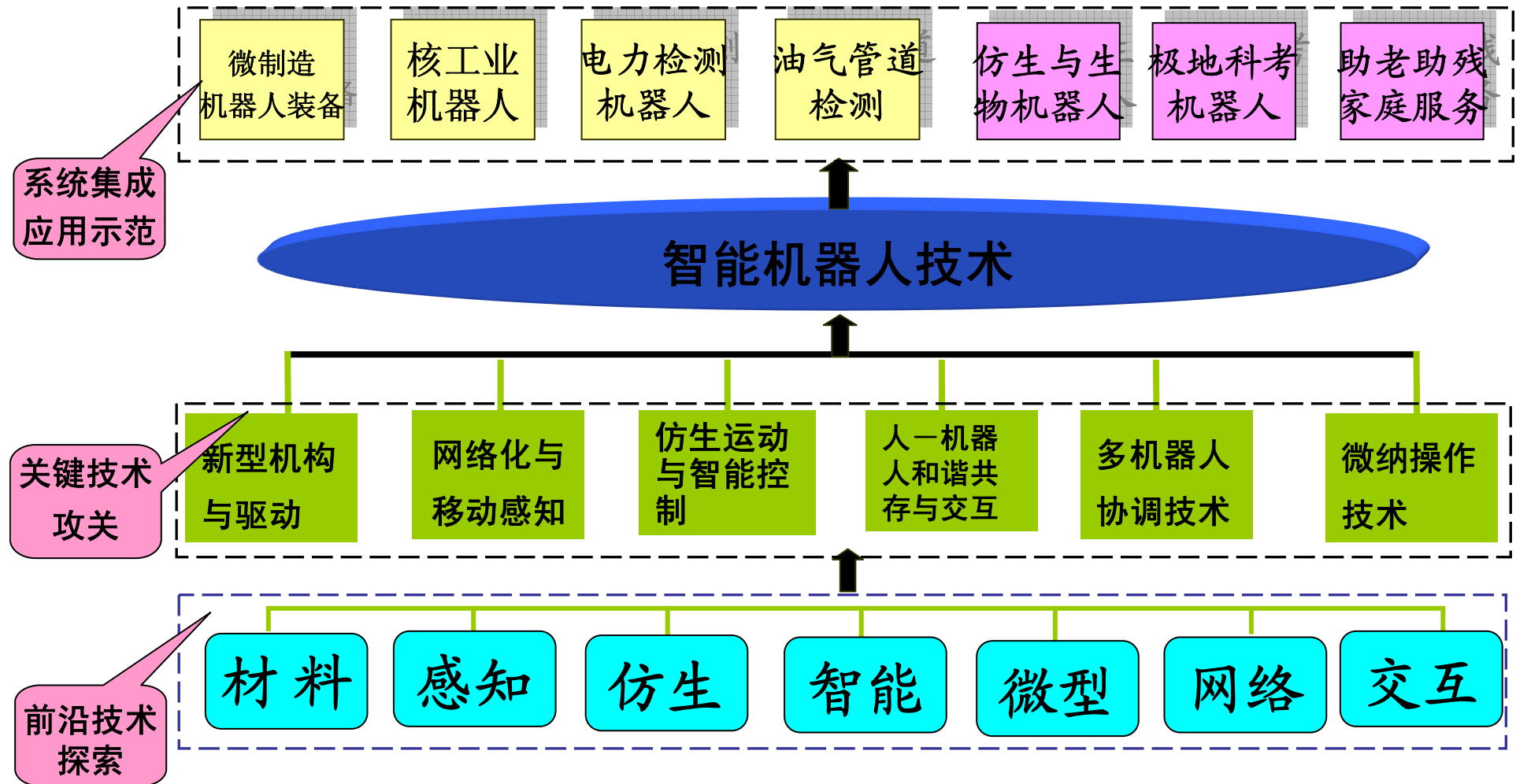
三、感知技术

- 1、视觉：图像识别与处理；
- 2、手眼协调；
- 3、接触觉小型化；
- 4、多信息融合。

四、自主控制技术

- 1、分布式计算机控制技术；
- 2、人工智能技术。

我国智能机器人当前主要研究方向



有关的文献期刊

- IEEE Trans. on Automatic Control (AC), Man-Mach. System (MMS), System, Man and Cybernetics (SMC), Robotics Automation (RA)
- IEEE Automatic Control Magazine
- The International Journal of Robotics Research
- ASME Journal on DSCMC (Dynamic Systems, Measurement and Control)
- Robotics World
- 机器人——中科院沈阳自动化所（沈阳）
- 自动化学报——中国自动化学会、中科院自动化所（北京）
- 控制理论与应用——华南理工大学（广州）
- 高技术通讯——中科院情报所（北京）

本章结束！