



中山大學  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

# 智能机器人技术

- ◆ 谭宁
- ◆ 副教授
- ◆ 数据科学与计算机学院，无人系统研究所
- ◆ *tann5@mail.sysu.edu.cn*



教师：谭宁

- 办公室：管理学院d104b
- Email: [tann5@mail.sysu.edu.cn](mailto:tann5@mail.sysu.edu.cn)
- 主页: <http://sdcs.sysu.edu.cn/content/4400>
- 作业提交邮箱: [robotics2019@163.com](mailto:robotics2019@163.com)
- 信息发布QQ群: 589431717



## 考核方式

- 平时表现：10%
- 平时作业：40%
- 期末考试：50%



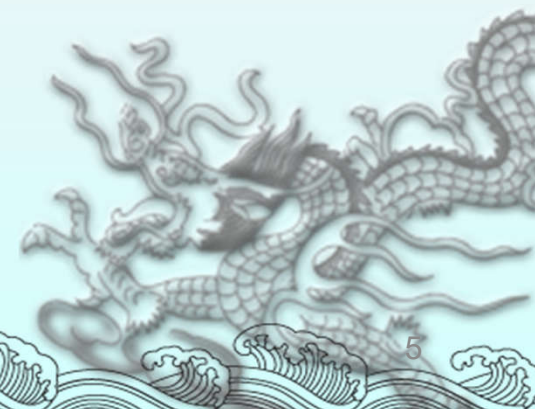


张明辉等，机器人技术基础，西北工业大学出版社



机器人学、机器视觉与控制——MATLAB算法基础 Peter Corke，电子工业出版社

- 1 概论
- 2 机器人本体结构设计
- 3 机器人运动学
- 4 机器人静力学及动力学
- 5 机器人轨迹规划
- 6 机器人仿真工具介绍
- 7 地面移动机器人
- 8 多指灵巧手
- 9 并联机器人
- 10 机器人感知
- 11 机器人控制系统
- 12 仿生及软体机器人





# 项目1 概论

任务一 机器人的基本概念

任务二 机器人的发展历程

任务三 机器人的分类

任务四 机器人技术参数



# 【教学目标】

- ◆ 理解机器人的定义
- ◆ 了解机器人的分类方式
- ◆ 掌握机器人的组成和技术参数



## 【案例导入】

人工智能“阿尔法围棋”与韩国著名九段棋手李世石第5局比赛在弈至280时，李世石中盘认输。至此，自本月9日至15日，在首尔四季酒店举行的这场五局人机大战宣告结束。“阿尔法围棋机器人”以4:1获胜。图1.1 为人机围棋大战在复盘阶段的比赛现场。



图1.1 复盘阶段比赛现场



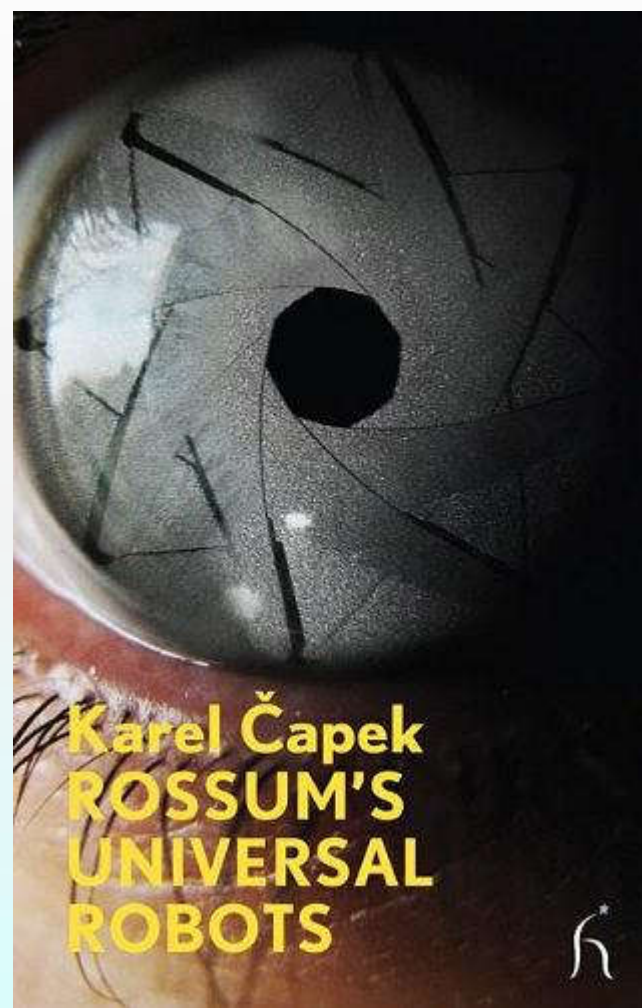
# 任务一 机器人的基本概念

- 机器人名称的由来
- 机器人的定义
- 机器人的主要特点



# 1. 机器人名称的由来

机器人的英文名词是Robot，Robot一词最早出现在1920年捷克作家卡雷尔·卡佩克（Karel Capek）所写的一个剧本中，这个剧本的名字为《Rossum's Universal Robots》，中文意思是“罗萨姆的万能机器人”。剧中的人造劳动者取名为Robota，捷克语的意思是“苦力”、“奴隶”。英语的Robot一词就是由此而来的，以后世界各国都用Robot作为机器人的代名词。



## 2 机器人的定义 ( Definition of Robots )

机器人问世已有几十年，机器人的定义仍然仁者见仁，智者见智，没有一个统一的意见。原因之一是机器人还在发展，新的机型，新的功能不断涌现。同时由于机器人涉及到了人的概念，成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说之中一样，人们对机器人充满了幻想。也许正是由于机器人定义的模糊，才给了人们充分的想象和创造空间。

随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来，机器人所涵盖的内容越来越丰富，机器人的定义也不断充实和创新。下面给出一些有关机器人代表性的定义。



# 国际和国外相关组织的机器人定义

(1) 美国机器人协会(RIA)的定义：机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过可编程序动作来执行种种任务的，并具有编程能力的多功能机械手(manipulator)”。

(2) 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”。





## 有关学者的定义

- (3) 我国科学家对机器人的定义是：“机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器”。
- (4) 教科书作者的定义是：“机器人是一种懒人发明的帮助人们劳动的机器，以辅助的程度和领域不同而分门别类。”





王天然  
院士

沈阳  
研究所



丁 汉  
院士

华中科技大学



杨华勇  
院士

江大学



于海斌  
研究员

中国科学院沈  
化研



刘 宏  
教授

哈尔滨工业大



朱向阳  
教授

上海交通大

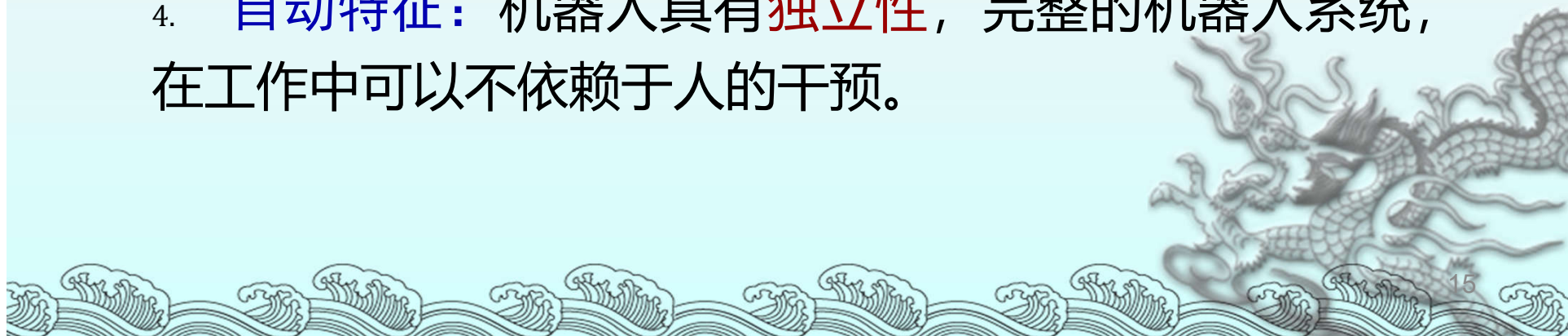


刘进长

嘉 宾

### 3 机器人的四大特征

1. **仿生特征**：机器人的动作机构具有类似于人或其他生物体某些器官（如 肢体、感官等）的功能；
2. **柔性特征**：机器人具有**通用性**，工作种类多样，动作程序灵活易变，是柔性加工主要组成部分；
3. **智能特征**：机器人具有不同程度的**智能**，如记忆、感知、推理、决策、学习等；
4. **自动特征**：机器人具有**独立性**，完整的机器人系统，在工作中可以不依赖于人的干预。





## 任务二 机器人的发展概况

- 古代“机器人”——现代机器人的雏形
- 现代机器人的发展历史
- 机器人未来的发展趋势





## 1. 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**，据《列子·汤问》记载，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。

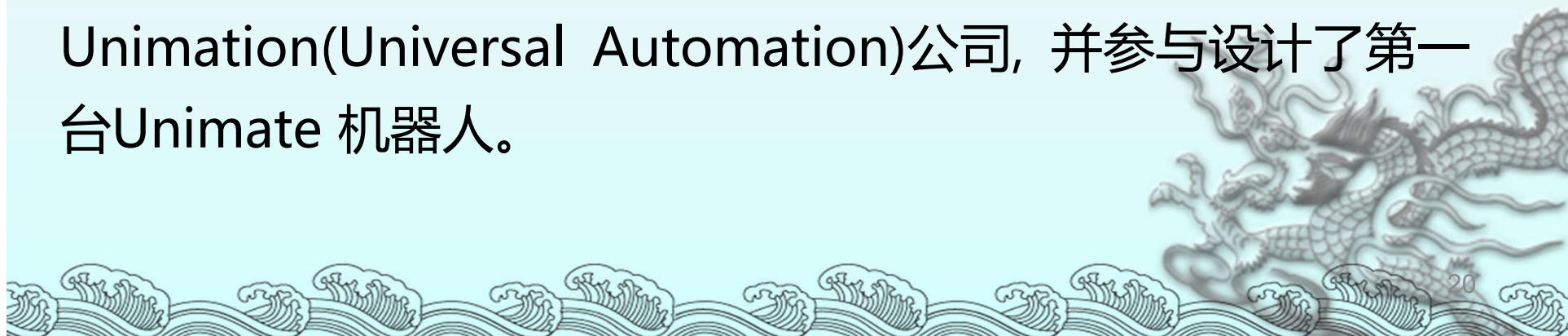
**1773年**，著名的瑞士钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯制造出自动书写玩偶、自动演奏玩偶等，他们创造的自动玩偶是利用齿轮和发条原理而制成的，它们有的拿着画笔和颜色绘画，有的拿着鹅毛蘸墨水写字，结构巧妙，服装华丽，在欧洲风靡一时。

**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

## 2. 现代机器人的发展历史

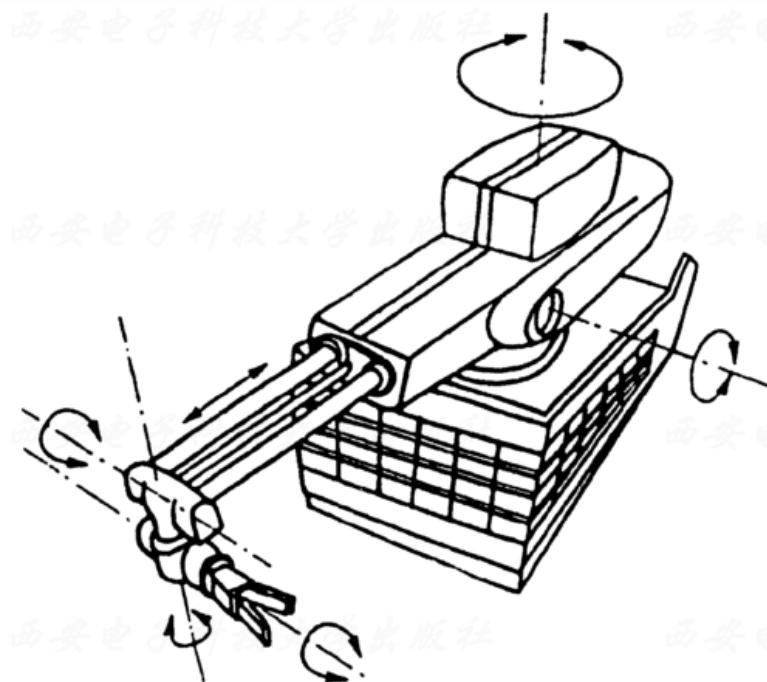
1954年,美国戴沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。该专利的要点是借助伺服技术控制机器人的关节,利用人手对机器人进行动作示教,机器人能实现动作的记录和再现。这就是所谓的示教再现机器人,现有的机器人差不多都采用这种控制方式。

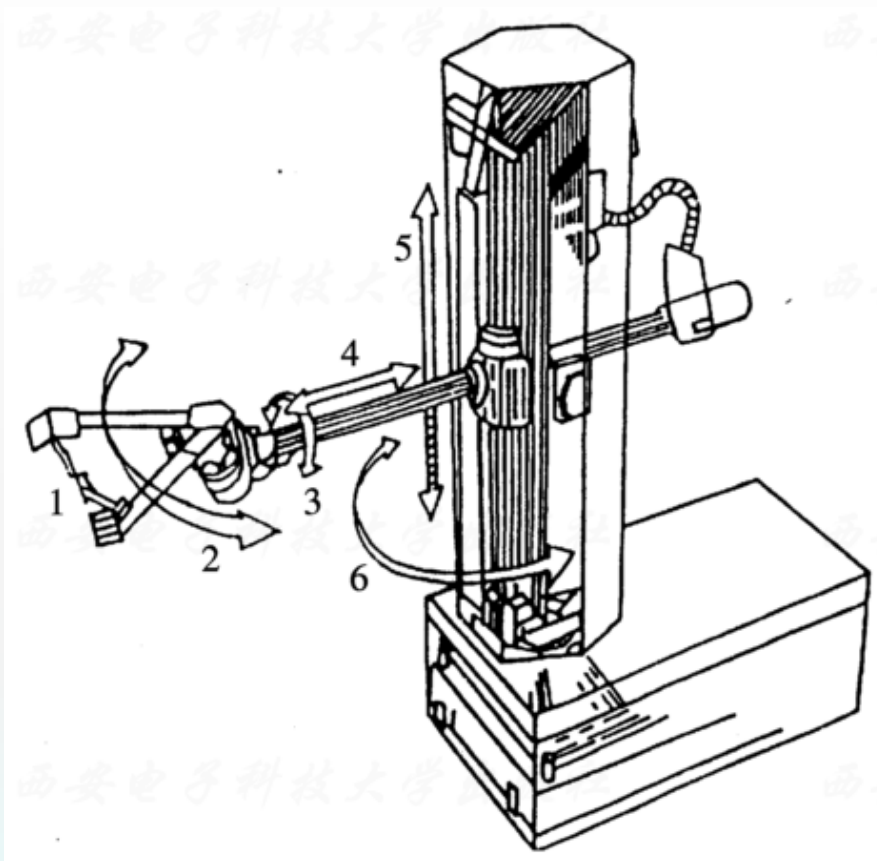
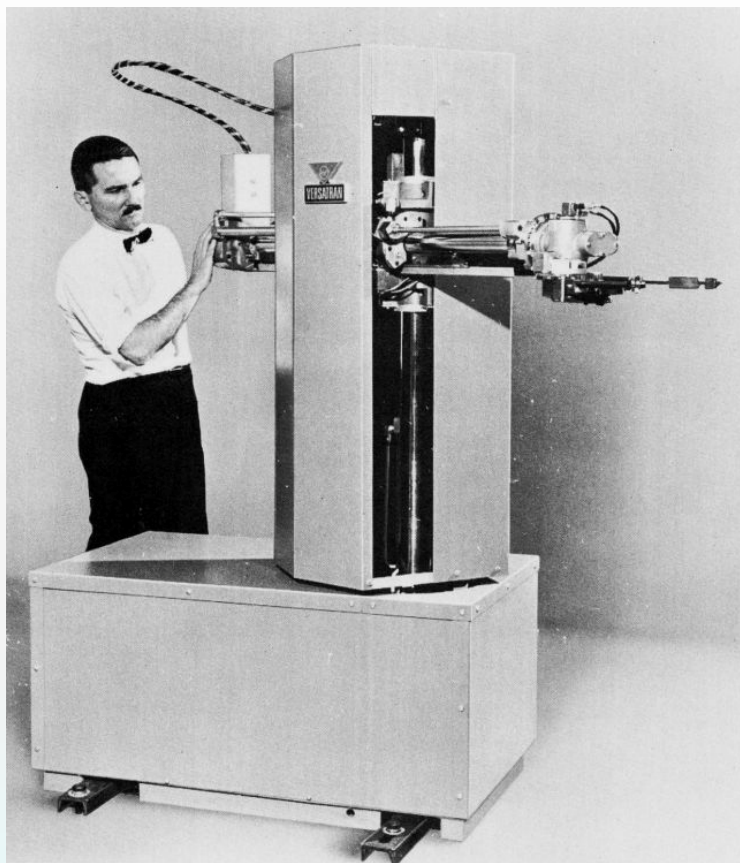
1958年,被誉为“工业机器人之父”的Joseph F. Engelberger 创建了世界上第一个机器人公司——Unimation(Universal Automation)公司,并参与设计了第一台Unimate 机器人。





这是一台用于压铸作业的五轴液压驱动机器人，手臂的控制由一台专用计算机完成。它采用分离式固体数控元件，并装有存储信息的磁鼓，能够记忆完成180个工作步骤。

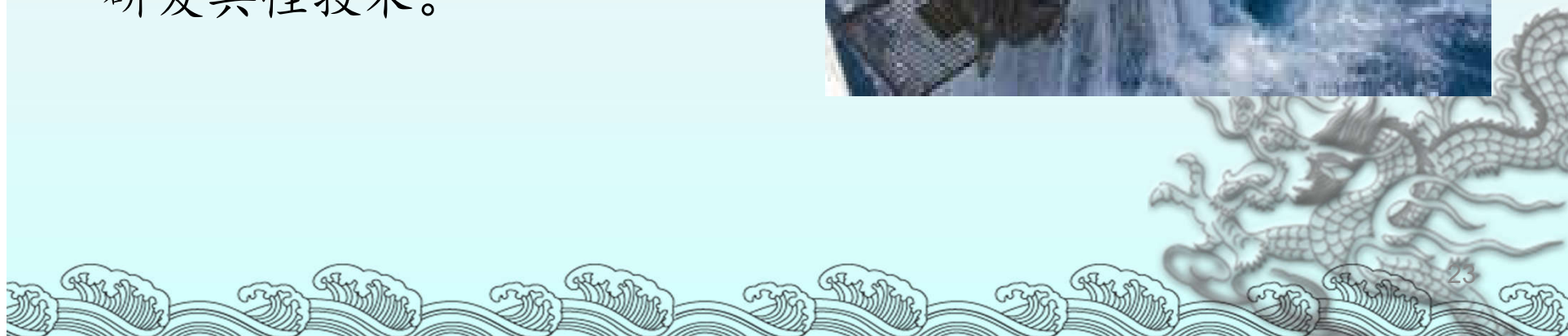




美国公司——AMF公司研制的Versatran (Versatile Transfer) 机器人。它主要用于机器之间的物料运输, 采用液压驱动。该机器人的手臂可以绕底座回转, 沿垂直方向升降, 也可以沿半径方向伸缩。

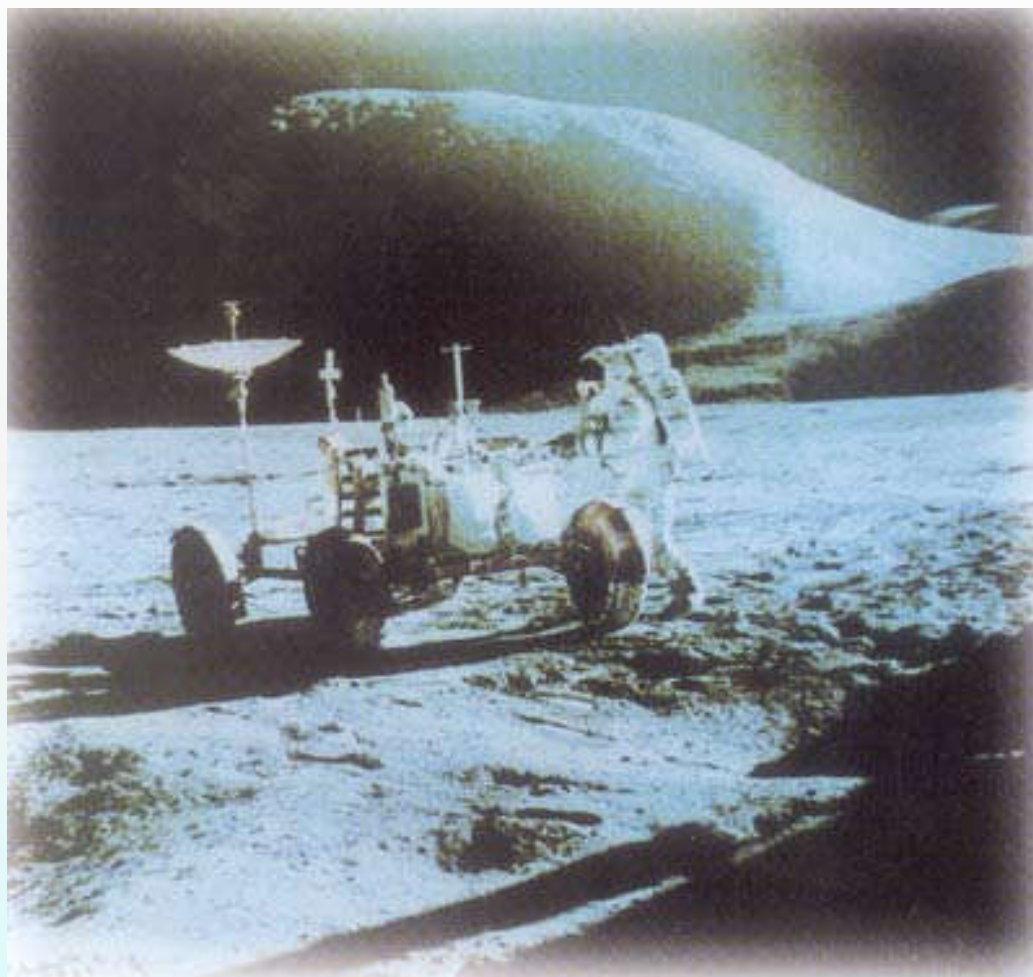
# 水下机器人—蛟龙号

研制背景:为推动中国深海运载技术发展,为中国大洋国际海底资源调查和科学研究提供重要高技术装备,同时为中国深海勘探、海底作业研发共性技术。





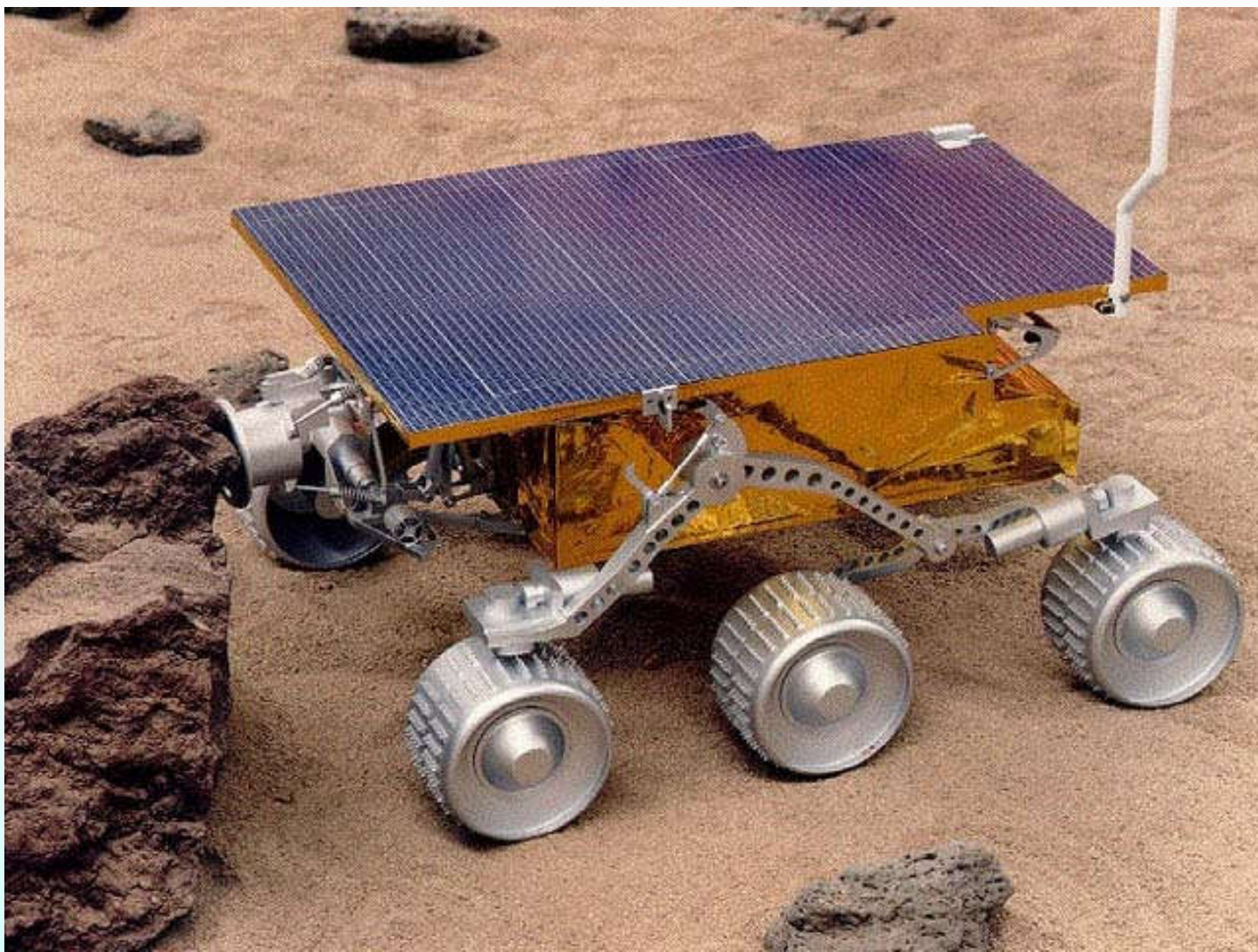
# 空间机器人



美国航空航天局（NASA）研究的月球车在月球表面时的情形



## 美国航空航天局（NASA）研究的“索杰纳”火星车



### 3. 机器人未来的发展趋势

- 语言交流功能越来越完美
- 各种动作的完美化
- 外形越来越酷似人类
- 逻辑分析能力越来越强
- 具备越来越多样化功能



## 任务三 机器人的分类

- 按照应用类型分类
- 按照控制方式分类
- 按照坐标形式分类
- 按照承载能力分类





## 1 按照应用类型分类

机器人按照应用类型可分为工业机器人、极限作业机器人（特种机器人）和服务型机器人。





# 工业机器人



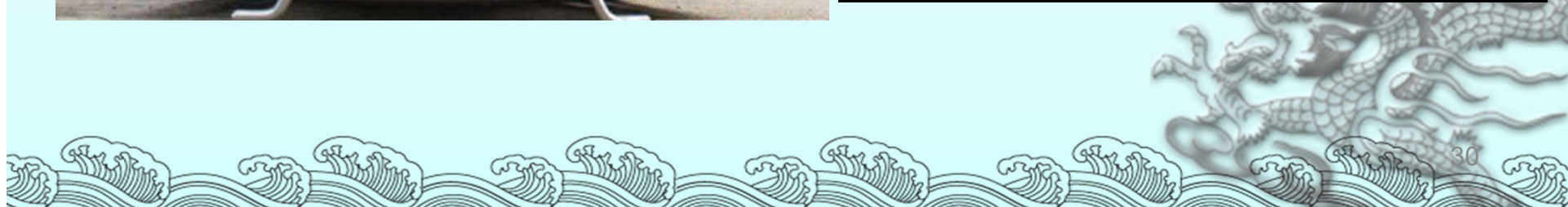
弧焊机器人



喷漆机器人



# 极限作业机器人





## 空中无人飞行器

- 一种有动力的飞行器,它不载有操作人员,由空气动力装置提供提升动力,采用自主飞行或遥控驾驶方式,可以一次性使用或重复使用,并能够携带各种任务载荷。图为以色列“苍鹭”无人侦察机。



# 无人机



“暗星”无人机



法国“红隼”无人机



“别动队”无人机



高空无人侦察机





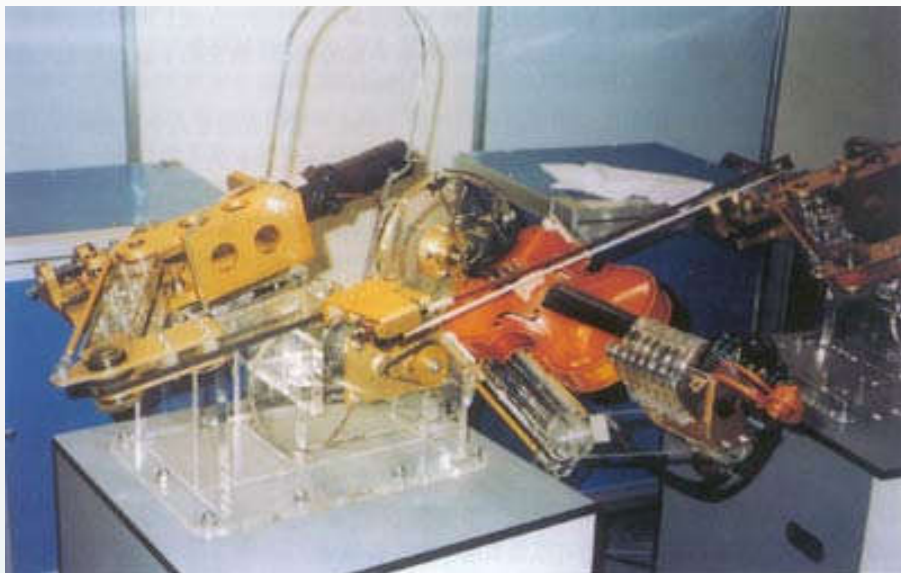


中国翼龙无人机



美国X47B无人战斗机

# 服务机器人



小提琴机器人



足球机器人







护士助手机器人



高楼擦窗机器人



## 2 按照控制方式分类

机器人按控制方式可分为：

- 操作机器人
- 程序机器人
- 示教再现机器人
- 智能机器人
- 综合机器人





(1) **操作机器人**。操作机器人由主、从机械手两部分组成，可实现远距离操作的机器人。人手操纵的部分称为主动机械手，而从动机械手基本上与主动机械手类似，只是从动机械手要比主动机械手大一些，作业时的力量也更大。达芬奇机器人是一款典型的操作机器人



# 达芬奇机器人



(2) **程序机器人**。程序机器人按预先给定的程序、条件、位置进行作业，目前大部分机器人都采用这种控制方式工作。

(3) **示教再现机器人**。示教再现机器人同盒式磁带的录放一样，将所教的操作过程自动记录在磁盘、磁带等存储器中，当需要再现操作时，可重复所教过的动作过程。示教方法有手把手示教、有线示教和无线示教，如图1.7所示。



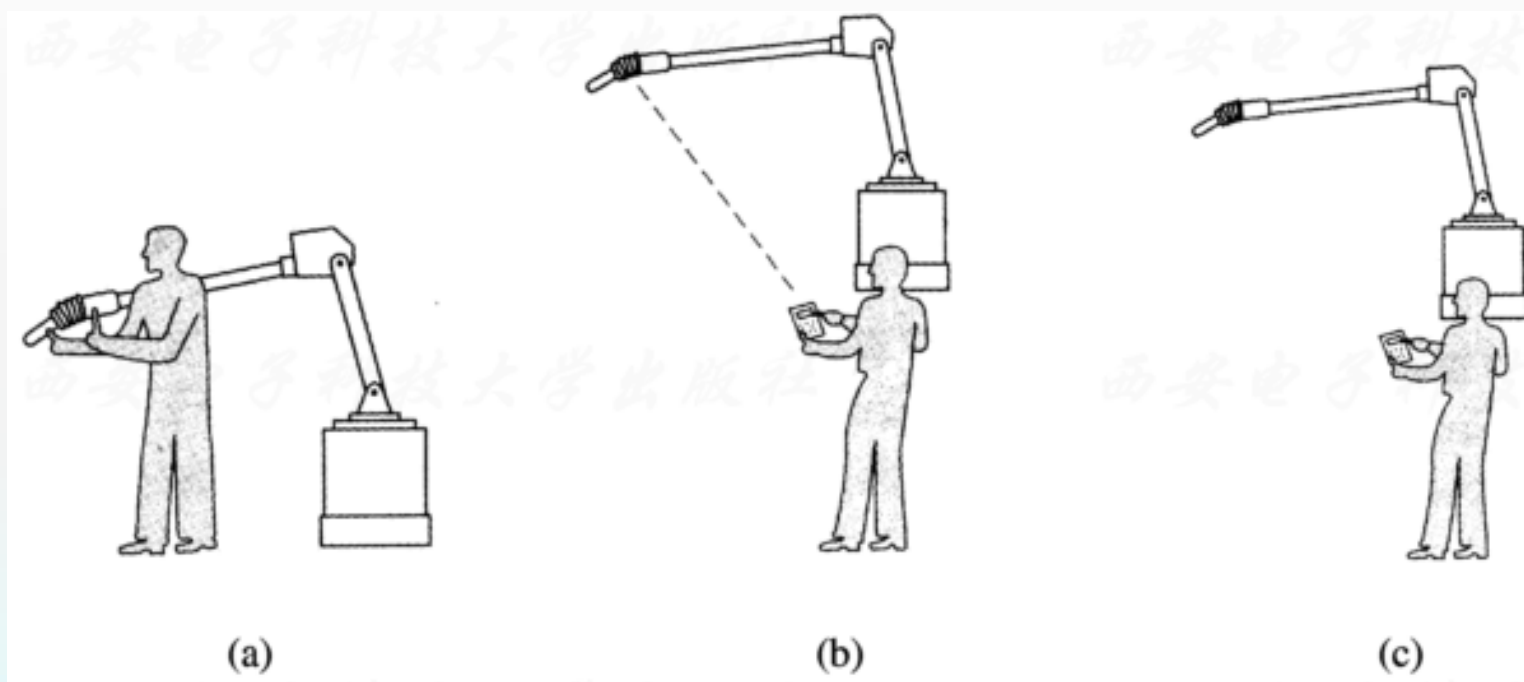


图 1.7 机器人示教  
(a) 手把手示教; (b) 有线示教; (c) 无线示教



(4) **智能机器人**。智能机器人不仅可以进行预先设定的动作，还可以按照工作环境的变化改变动作。

(5) **综合机器人**。综合机器人是由操作机器人、示教再现机器人、智能机器人组合而成的机器人，如火星机器人。1997年7月4日，“火星探险者(Mars Pathfinder)”在火星上着陆，着陆体是四面体形状，着陆后三个盖子的打开状态如图1.8所示。它在能上、下、左、右动作的摄像机平台上装有两台CCD摄像机，通过立体观测而得到空间信息。整个系统可以看做是由地面指令操纵的操作机器人。



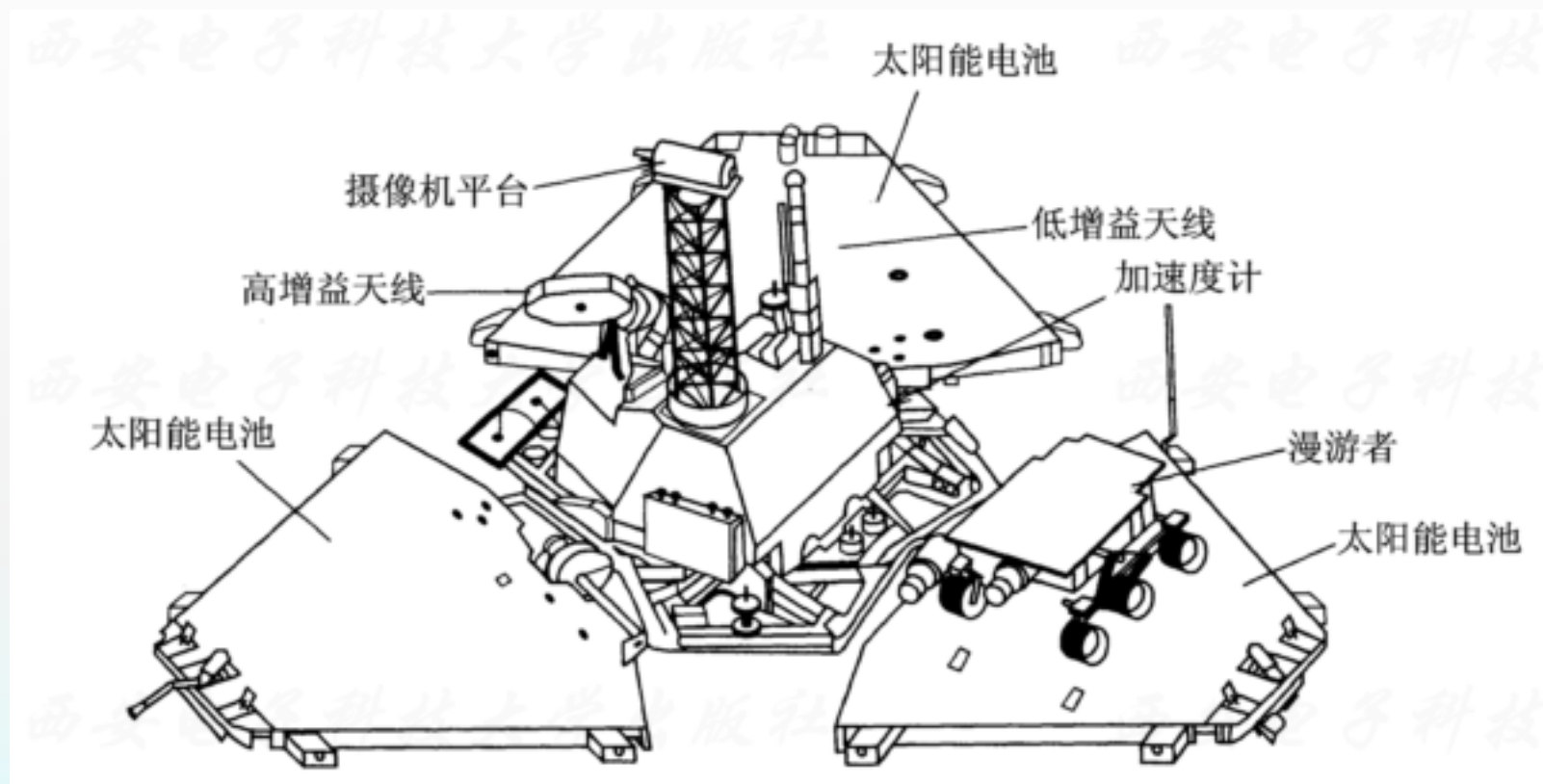
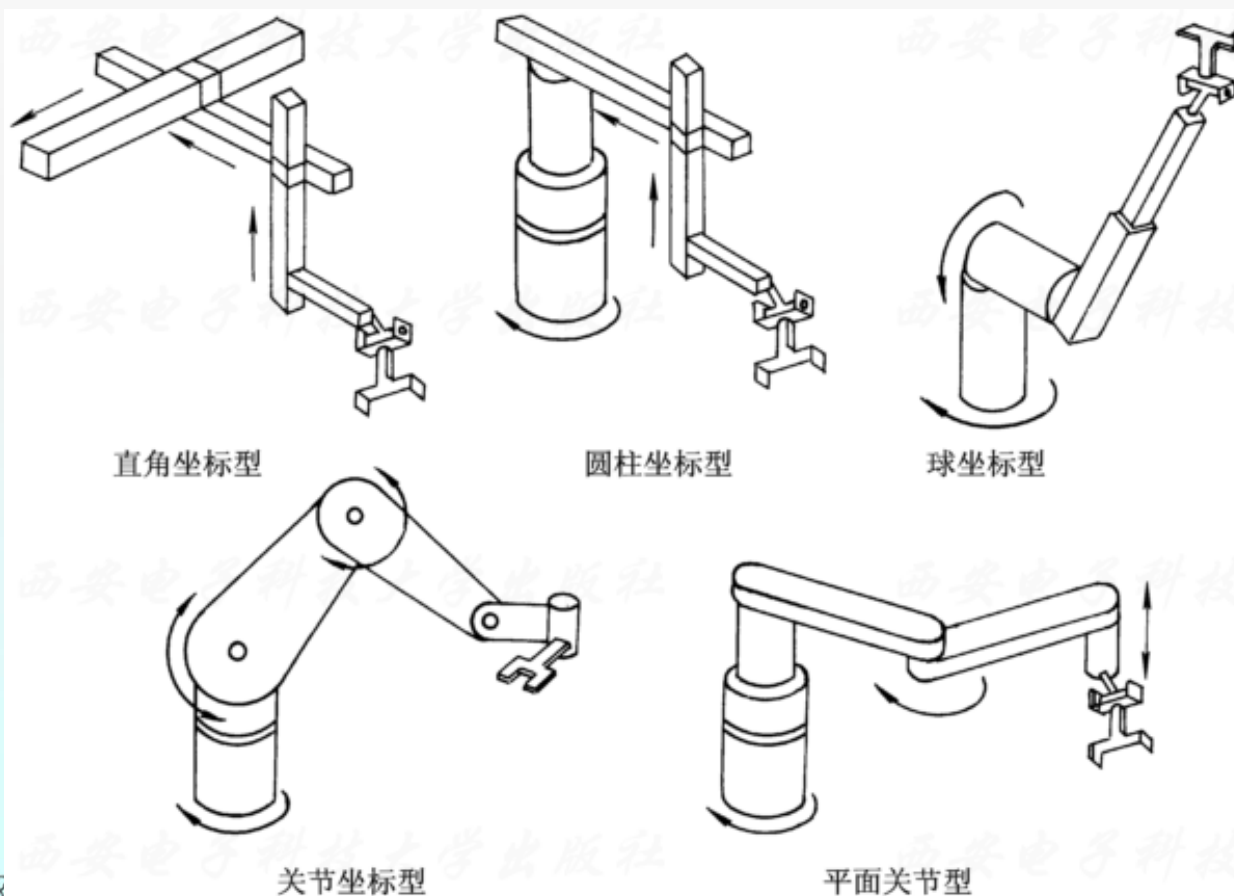


图 1.8 火星探险者

### 3 机器人按坐标形式分类

如图所示，**工业机器人的坐标形式**有直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型、关节坐标型和平面关节型。



## (1) 直角坐标 / 笛卡儿坐标 / 台架型 (3P)

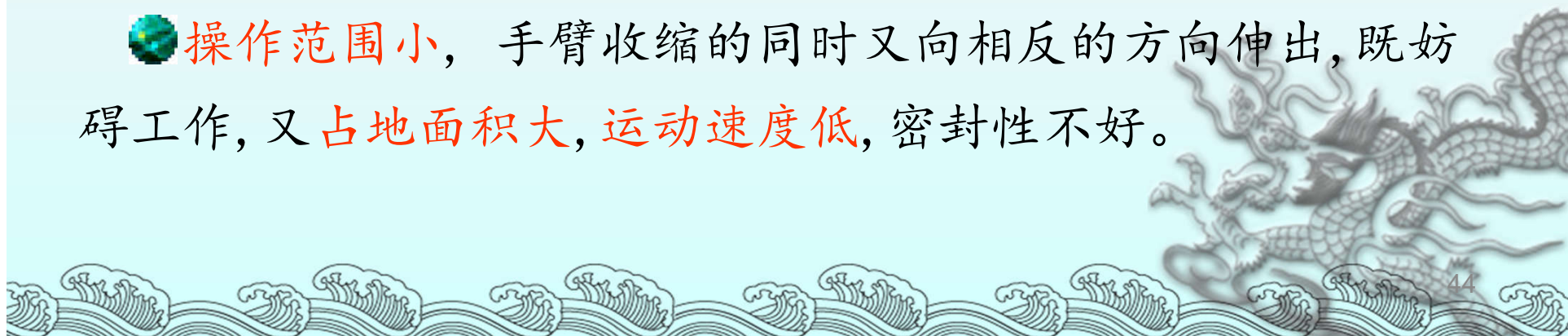
3 prismatic joints

● 机器人由**3个线性关节**组成, 这3个关节用来确定末端操作器的位置, 通常还带有**附加的旋转关节**, 用来确定末端操作器的姿态。

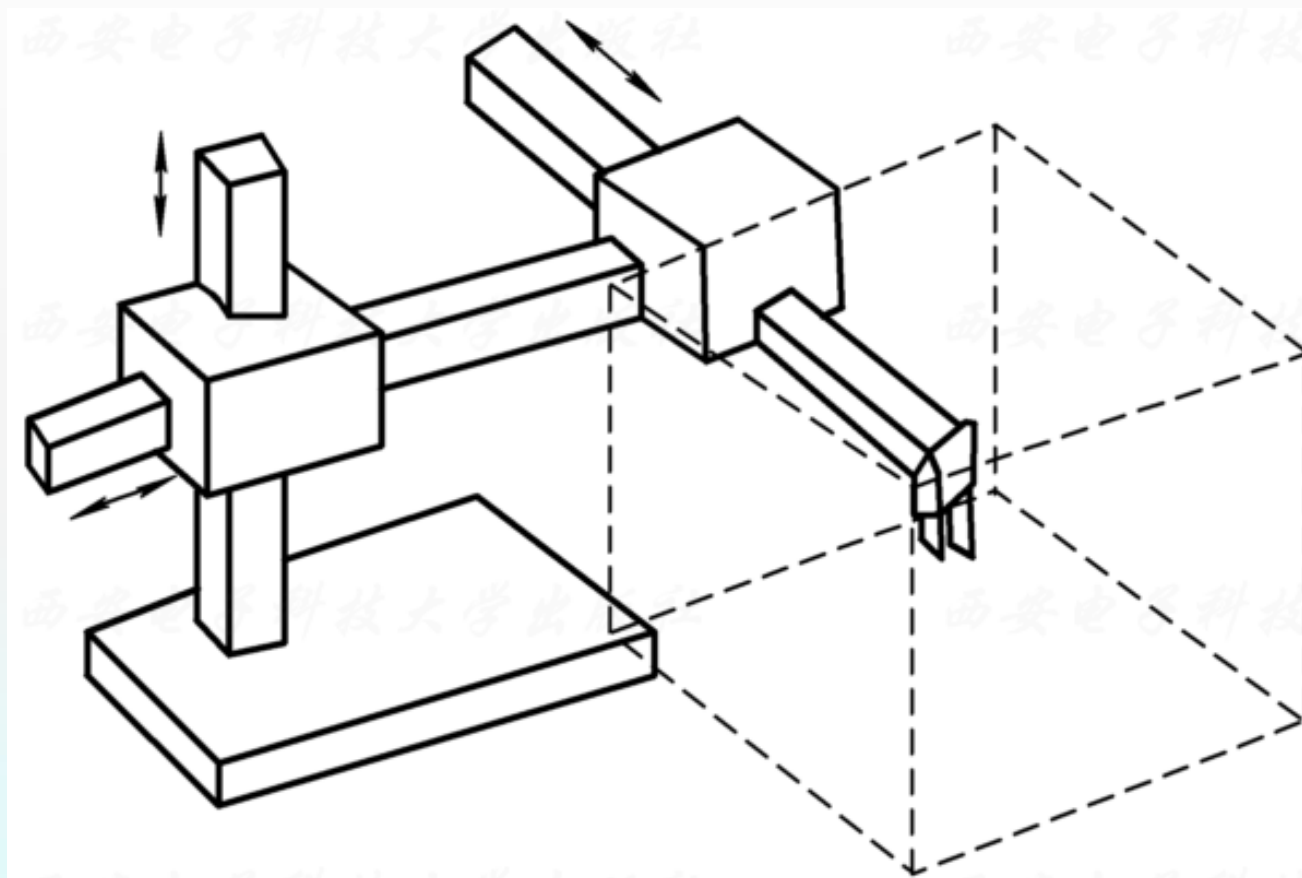
● 机器人在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴上的运动是独立的, 运动方程可独立处理, 且**方程是线性的**, 因此很容易通过计算机控制实现;

● 可以两端支撑, 对于给定的结构长度, **刚性最大**; 它的精度和位置分辨率不随工作场合而变化, 容易达到高精度。

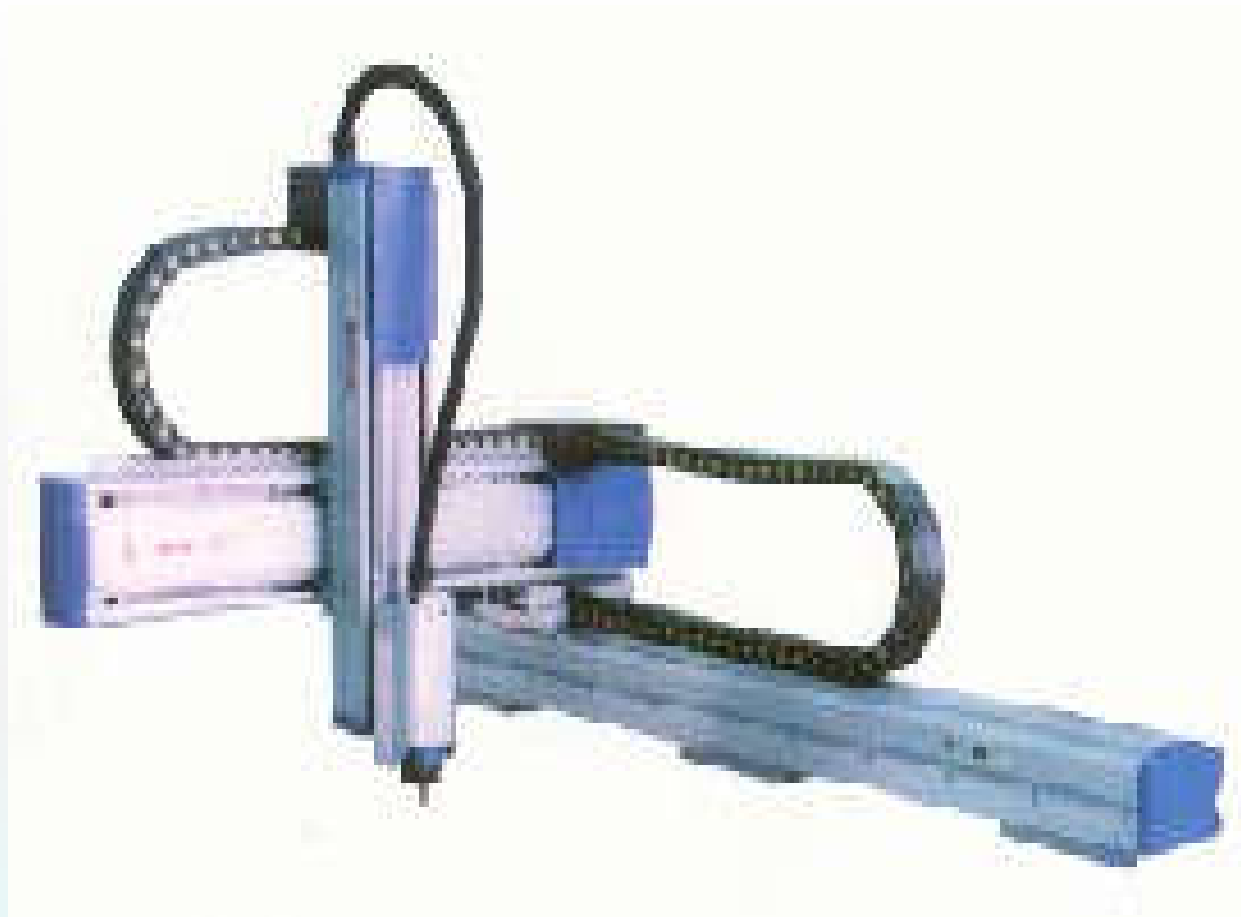
● **操作范围小**, 手臂收缩的同时又向相反的方向伸出, 既妨碍工作, 又**占地面积大**, **运动速度低**, 密封性不好。







直角坐标机器人的工作空间示意图



涂胶机器人

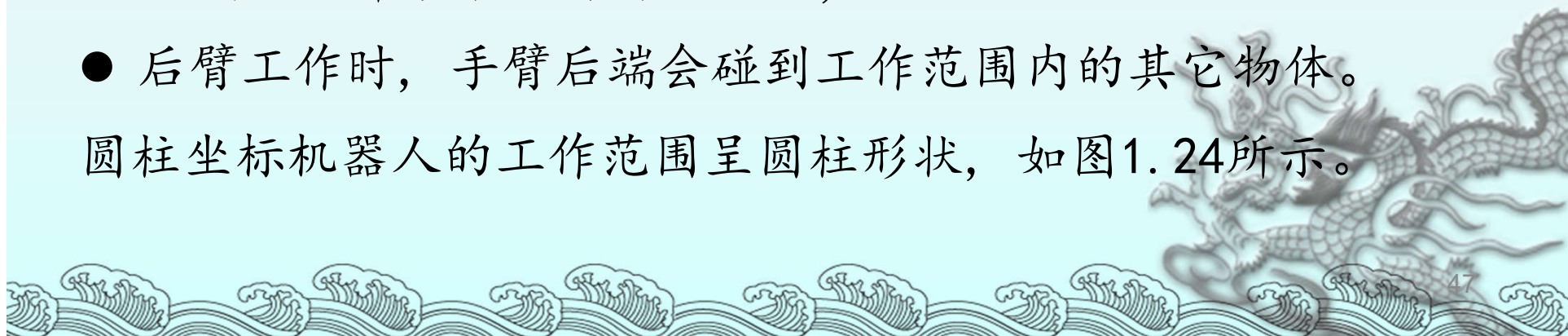


## (2) 圆柱坐标型(R2P) 1 rotating joint +2 prismatic joint

圆柱坐标机器人由两个滑动关节和一个旋转关节来确定部件的位置，再附加一个旋转关节来确定部件的姿态。

- 这种机器人可以绕中心轴旋转一个角，工作范围可以扩大，且计算简单；
- 直线部分可采用液压驱动，可输出较大的动力；
- 能够伸入型腔式机器内部。但是，它的手臂可以到达的空间受到限制，不能到达近立柱或近地面的空间；
- 直线驱动部分难以密封、防尘；
- 后臂工作时，手臂后端会碰到工作范围内的其它物体。

圆柱坐标机器人的工作范围呈圆柱形状，如图1.24所示。





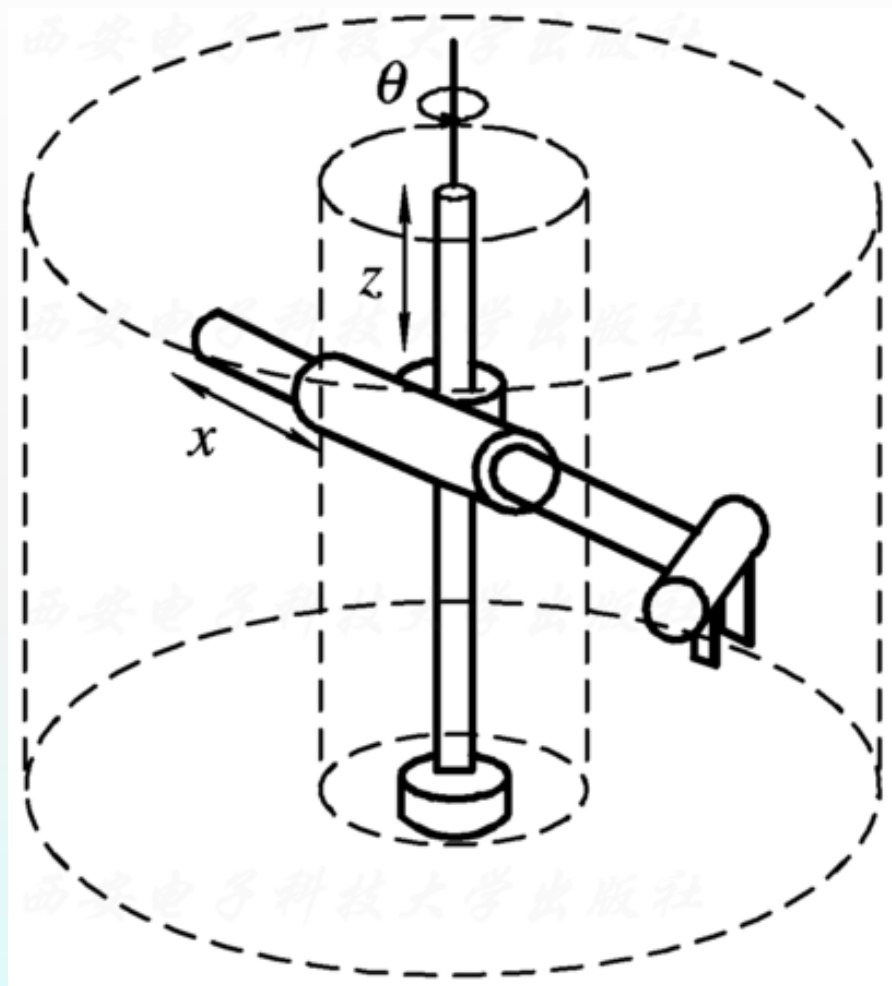


图 1.24 圆柱坐标机器人的工作范围

### (3) 球坐标型(2RP) 2 rotating joint +1 prismatic joint

球坐标机器人采用球坐标系, 它用一个滑动关节和两个旋转关节来确定部件的位置, 再用一个附加的旋转关节确定部件的姿态。这种机器人可以绕中心轴旋转, 中心支架附近的工作范围大, 两个转动驱动装置容易密封, 覆盖工作空间较大。但该坐标复杂, 难于控制, 且直线驱动装置仍存在密封及工作死区的问题。球坐标机器人的工作范围呈球缺状, 如图1.25所示。



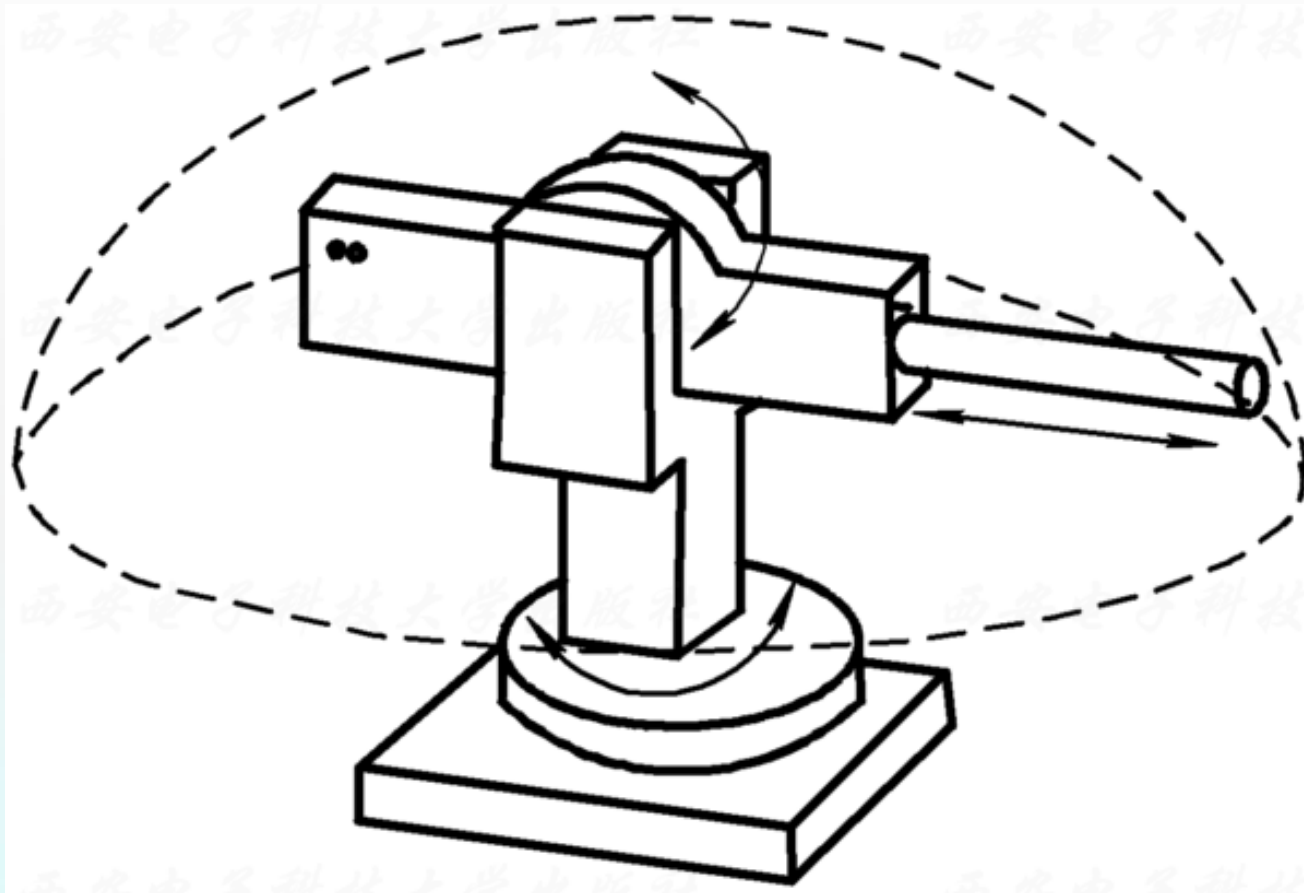
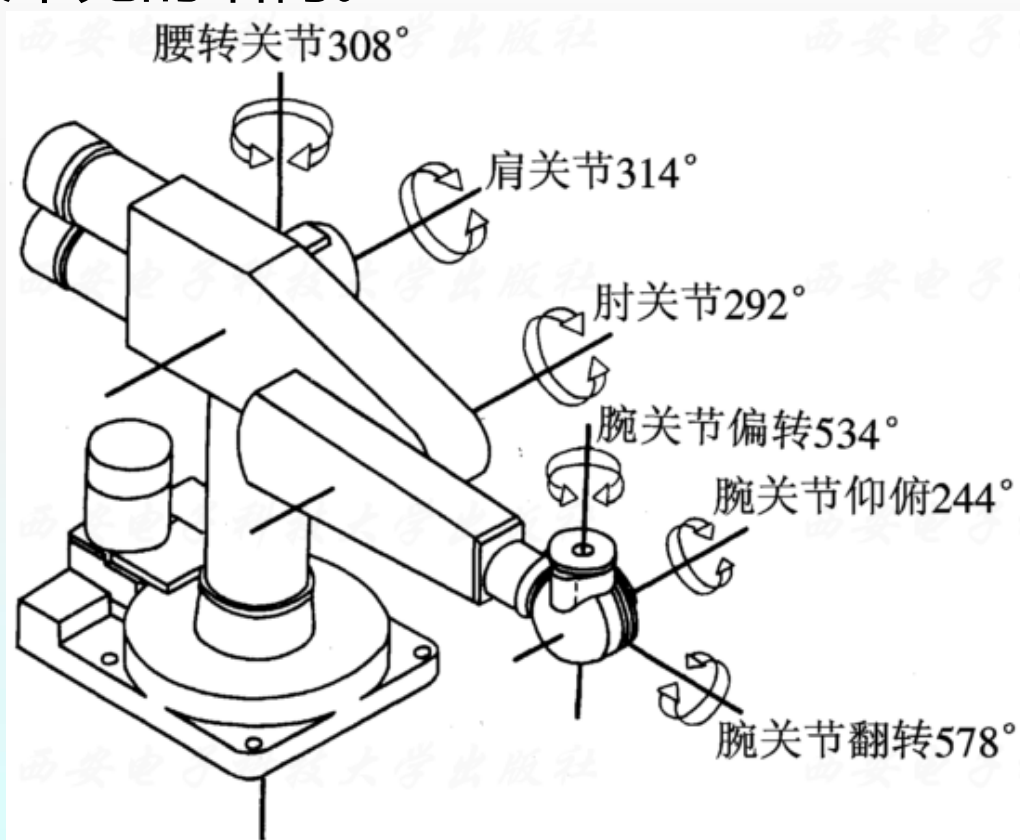


图 1.25 球坐标机器人的工作范围



#### (4) 关节坐标型/拟人型(3R)

关节机器人的关节全都是旋转的, 类似于人的手臂, 是工业机器人中最常见的结构。



PUMA 562工业机器人

## (5) 平面关节型

这种机器人可看做是关节坐标式机器人的特例，它只有平行的肩关节和肘关节,关节轴线共面。如SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm)机器人有两个并联的旋转关节,可以使机器人在水平面上运动,此外,再用一个附加的滑动关节做垂直运动。



SCARA机器人常用于装配作业，最显著的特点是它们在 $x$ - $y$ 平面上的运动具有较大的柔性，而沿 $z$ 轴具有很强的刚性，所以，它具有选择性的柔性。这种机器人在装配作业中获得了较好的应用。平面关节机器人的工作空间如图1.26所示。

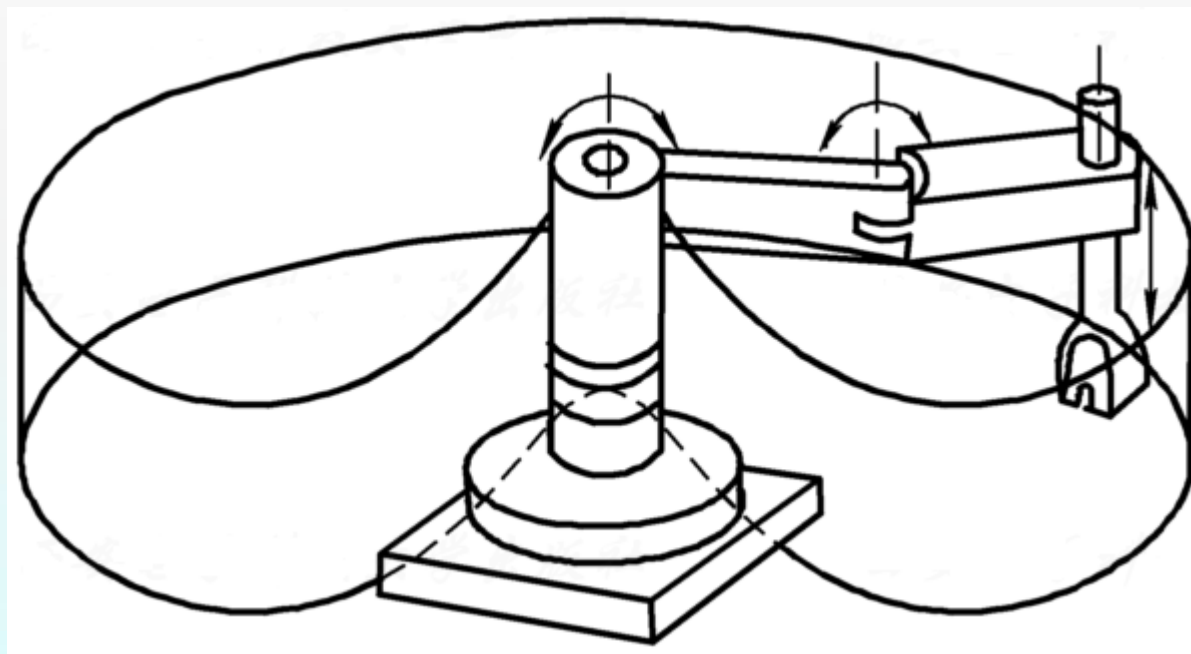


图 1.26 平面关节机器人的工作空间

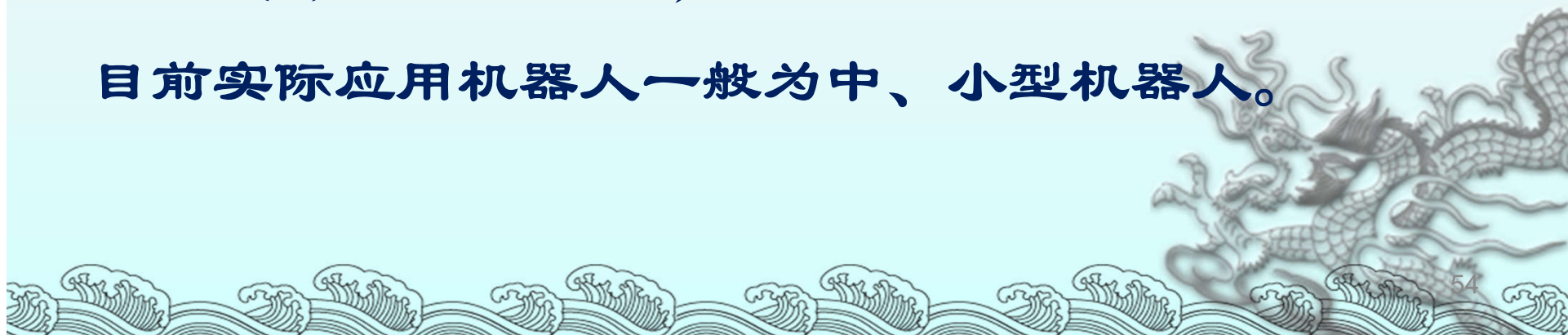


## 4. 按照承载能力分类

根据提取重力的不同，可将机器人分为：

- (1) 微型机器人，提取重力在10 N以下；
- (2) 小型机器人，提取重力为10-50 N；
- (3) 中型机器人，提取重力为50-300 N；
- (4) 大型机器人，提取重力为300-500 N；
- (5) 重型机器人，提取重力在500N以上。

目前实际应用机器人一般为中、小型机器人。



## 任务四 （工业）机器人的技术参数

- 工业机器人的基本组成
- 工业机器人的技术参数



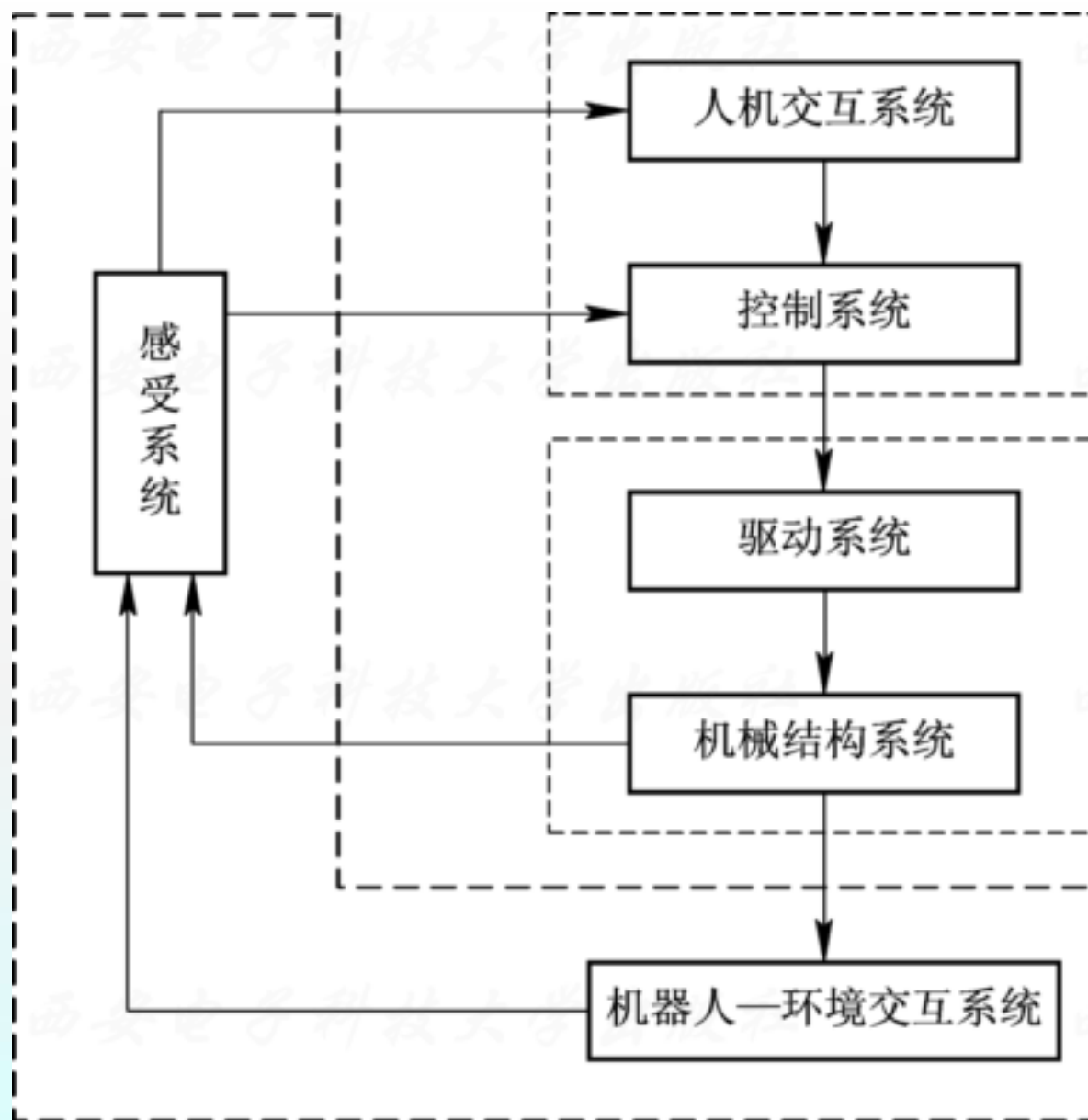
# 1. 工业机器人的基本组成

工业机器人由3大部分6个子系统组成：

- 3大部分是机械部分、传感部分和控制部分。
- 6个子系统是驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人-环境交互系统、人机交互系统和控制系统。







机器人系统组成



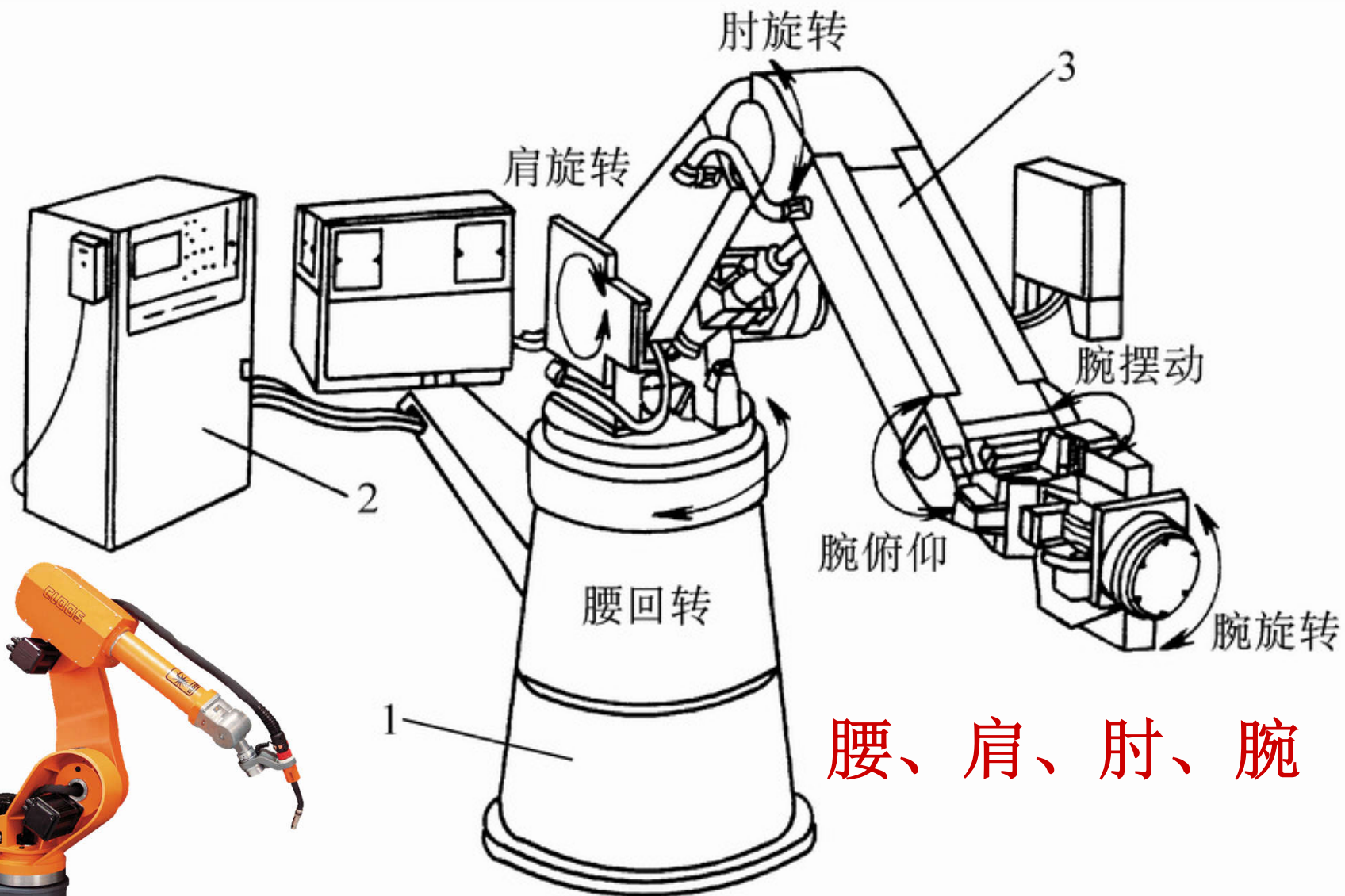
(1) 驱动系统 驱动系统是按照控制系统发出的控制指令将信号放大，驱动执行机构运动的传动装置。

常用的有电气、液压、气动和机械等四种驱动方式。

有些机器人采用这些驱动方式的组合, 如电—液混合驱动和气—液混合驱动等驱动方式。



## (2)机械结构系统



腰、肩、肘、腕



工业机器人的机械结构系统由基座、手臂、末端操作器三大件组成。每一大件都有若干自由度，构成一个多自由度的机械系统。若基座具备行走机构，则构成行走机器人；若基座不具备行走及腰转机构，则构成单机器人臂 (Single Robot Arm)。手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件，它可以是二手指或多手指的手爪，也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

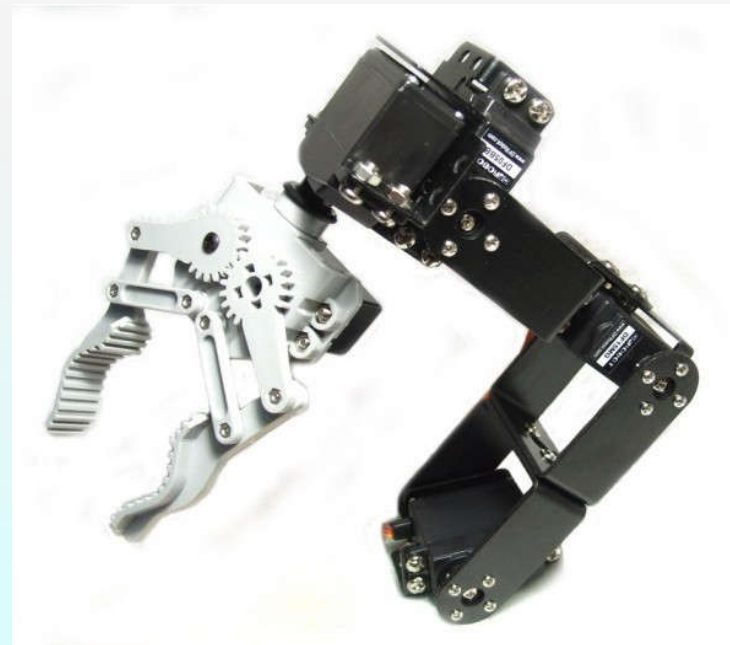




(1)末端执行器（或称手部）是机器人直接执行工作的装置，可安装夹持器、工具、传感器等。

夹持器可分为机械夹紧、真空抽吸、液压夹紧、磁力吸附等。

●在手部安装的某些专用工具，如焊枪、喷枪、电钻、螺钉螺帽拧紧器等，可视为专用的特殊手部。



(2)手腕 手腕是连接手臂和末端执行器的部件，用以调整末端执行器的方位和姿态。

(3)手臂 手臂是支承手腕和末端执行器的部件。它由动力关节和连杆组成，用来改变末端执行器的空间位置。

(4)机座 机座是工业机器人的基础部件，承受相应的载荷，机座分为固定式和移动式两类。

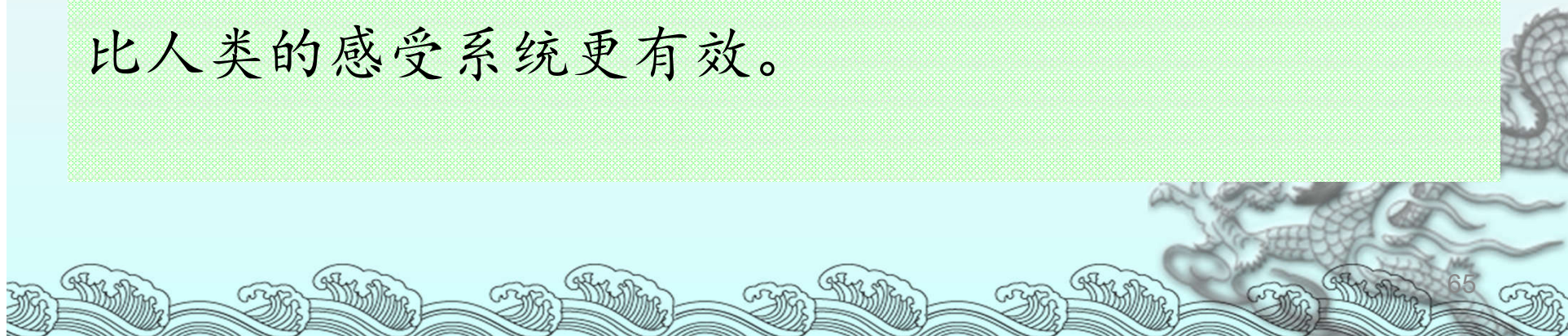


(3) 控制系统是机器人的大脑，支配着机器人按规定的程序运动，并记忆人们给予的指令信息(如动作顺序、运动轨迹、运动速度等)，同时按其控制系统的信息控制执行机构按规定要求动作。



## (4) 感受系统

感受系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成，用以获取内部和外部环境状态中有意义的信息。智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化的水准。人类的感受系统对感知外部世界信息是极其灵巧的，然而，对于一些特殊的信息，传感器比人类的感受系统更有效。



## 位置检测

主要检测工业机器人**执行系统**的**运动位置、状态**，并随时将**执行系统的实际位置反馈给控制系统**，并与**设定的位置进行比较**，然后通过控制系统进行调整，使执行系统以一定放入精度达到设定位置状态。

常用**力、位置、触觉、视觉**等传感器



## (5)机器人-环境交互系统

机器人-环境交互系统是实现工业机器人与外部环境中的设备**相互联系和协调的系统**。工业机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工制造单元、焊接单元、装配单元等。当然，也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个去执行复杂任务的功能单元。





## (6) 人机交互系统

人机交互系统是使操作人员参与机器人控制并与机器人进行联系的装置，例如，计算机的标准终端，指令控制台，信息显示板，危险信号报警器等。

该系统归纳起来分为两大类：

指令给定装置和信息显示装置。





## 2. 工业机器人的技术参数

工业机器人的技术参数是各工业机器人制造商在产品供货时所提供的技术数据。尽管各厂商提供的技术参数不完全一样, 工业机器人的结构、用途等有所不同, 且用户的要求也不同, 但工业机器人的主要技术参数一般应有**自由度、重复定位精度、工作范围、最大工作速度和承载能力**等。

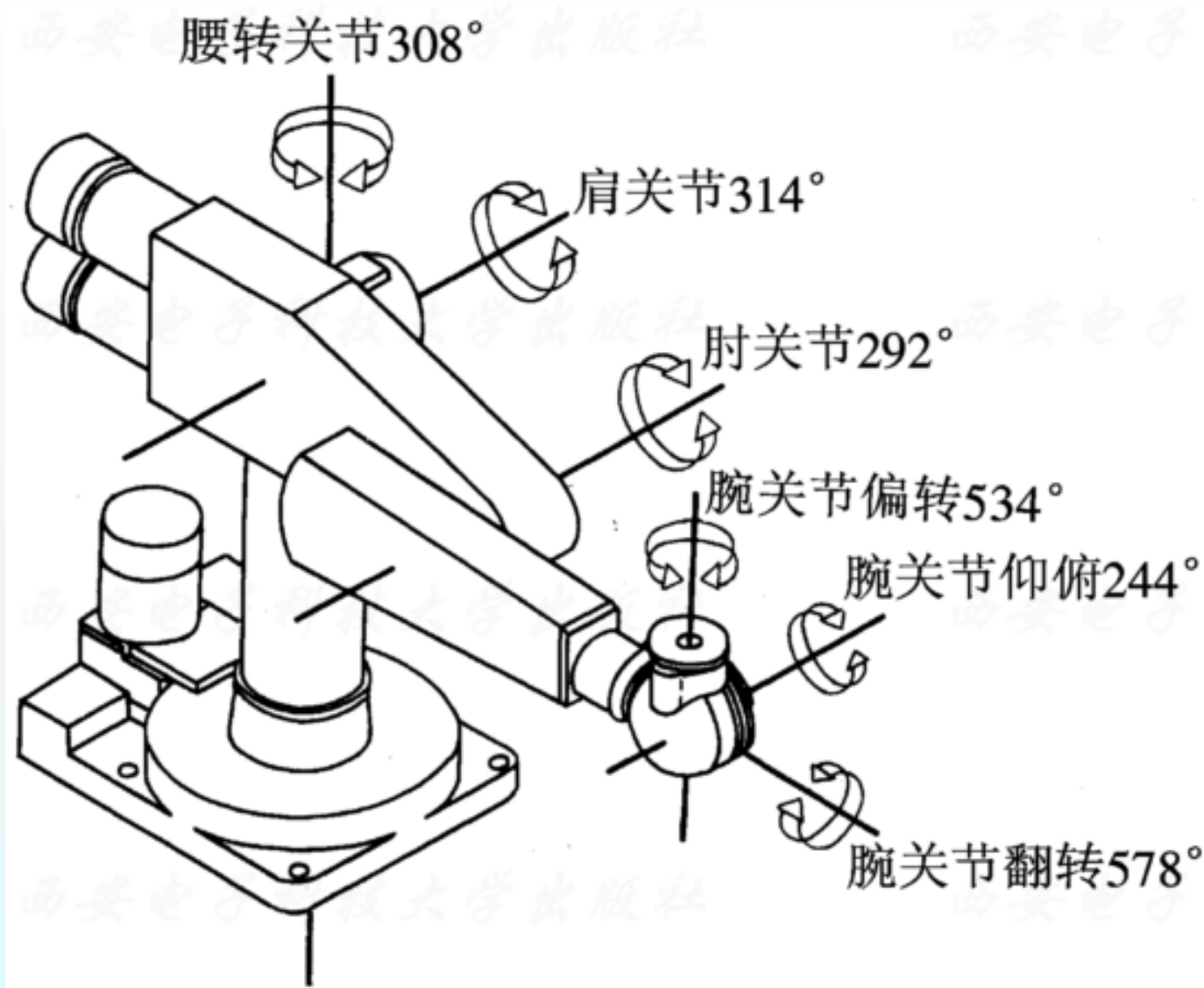


## (1) 自由度(Degrees of Freedom)

- 自由度是指机器人各关节在三维空间对于独立坐标轴运动的数目,各关节自由度的总和就是工业机器人的自由度数。
- 注意: 不应包括手爪(末端操作器)的开合自由度。
- 在三维空间中描述一个物体的位置和姿态(简称位姿)需要六个自由度。但是,工业机器人的自由度是根据其用途而设计的,可能小于六个自由度,也可能大于六个自由度。
- 从运动学的观点看,在完成某一特定作业时具有多余自由度的机器人,就叫做冗余自由度机器人。利用冗余自由度可以增加机器人的灵活性、躲避障碍物和改善动力性能。
- 人的手臂(大臂、小臂、手腕)共有七个自由度,所以工作起来很灵巧,手部可回避障碍而从不同方向到达同一个目的点。



- ▣ 自由度数越高，机器人可以完成的动作越复杂，通用性越强，应用范围也越广。
- ▣ 每个自由度需要一个伺服轴进行驱动，相应地带来的技术困难也越大。
- ▣ 一般情况下，通用工业机器人有3~6个自由度。



**PUMA 562工业机器人**

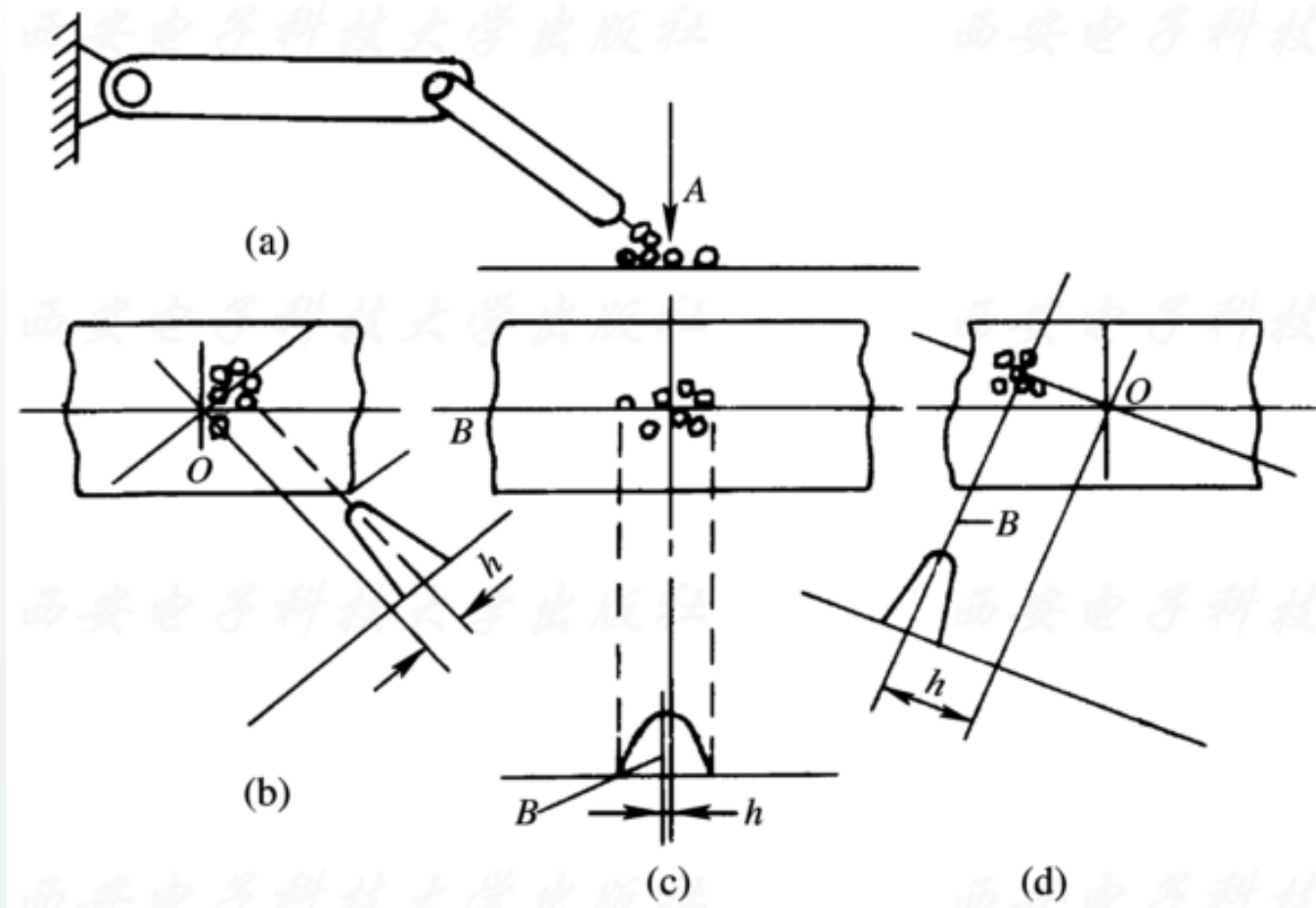


## (2) 精度(Accuracy)

工业机器人精度是指定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人手部实际到达位置与目标位置之间的差异。重复定位精度是指机器人重复定位其手部于同一目标位置的能力，可以用标准偏差这个统计量来表示，它是衡量一系列误差值的密集度(即重复度)。

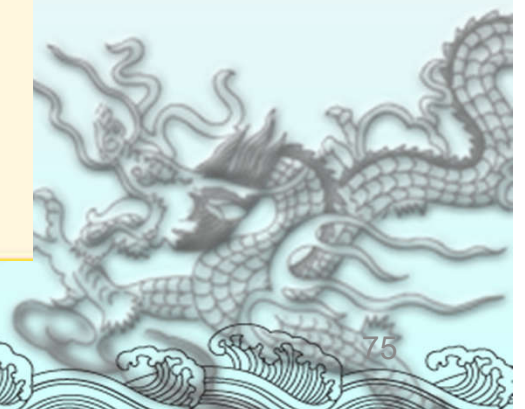
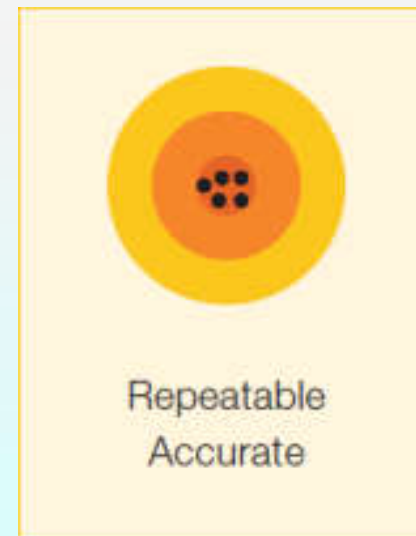
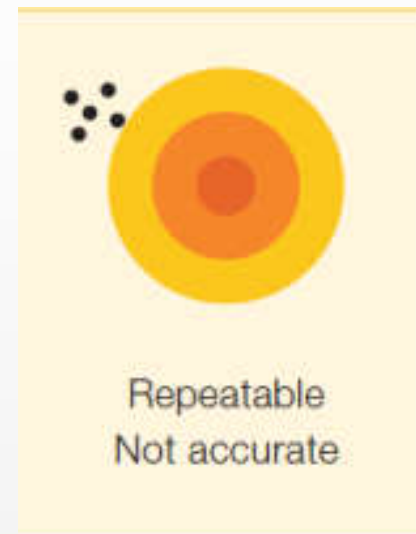
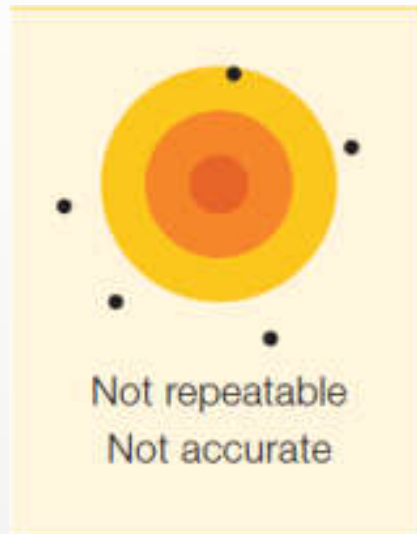
定位精度的高低取决于位置控制方式以及机器人运动部件本身的精度和刚度，此外还与提取重力和运动速度等因素有密切的关系。





## 工业机器人定位精度和重复定位精度的典型情况

- (a) 重复定位精度的测量； (b) 合理定位精度， 良好重复定位精度；  
 (c) 良好定位精度, 很差重复定位精度； (d) 很差定位精度， 良好重复定位精度



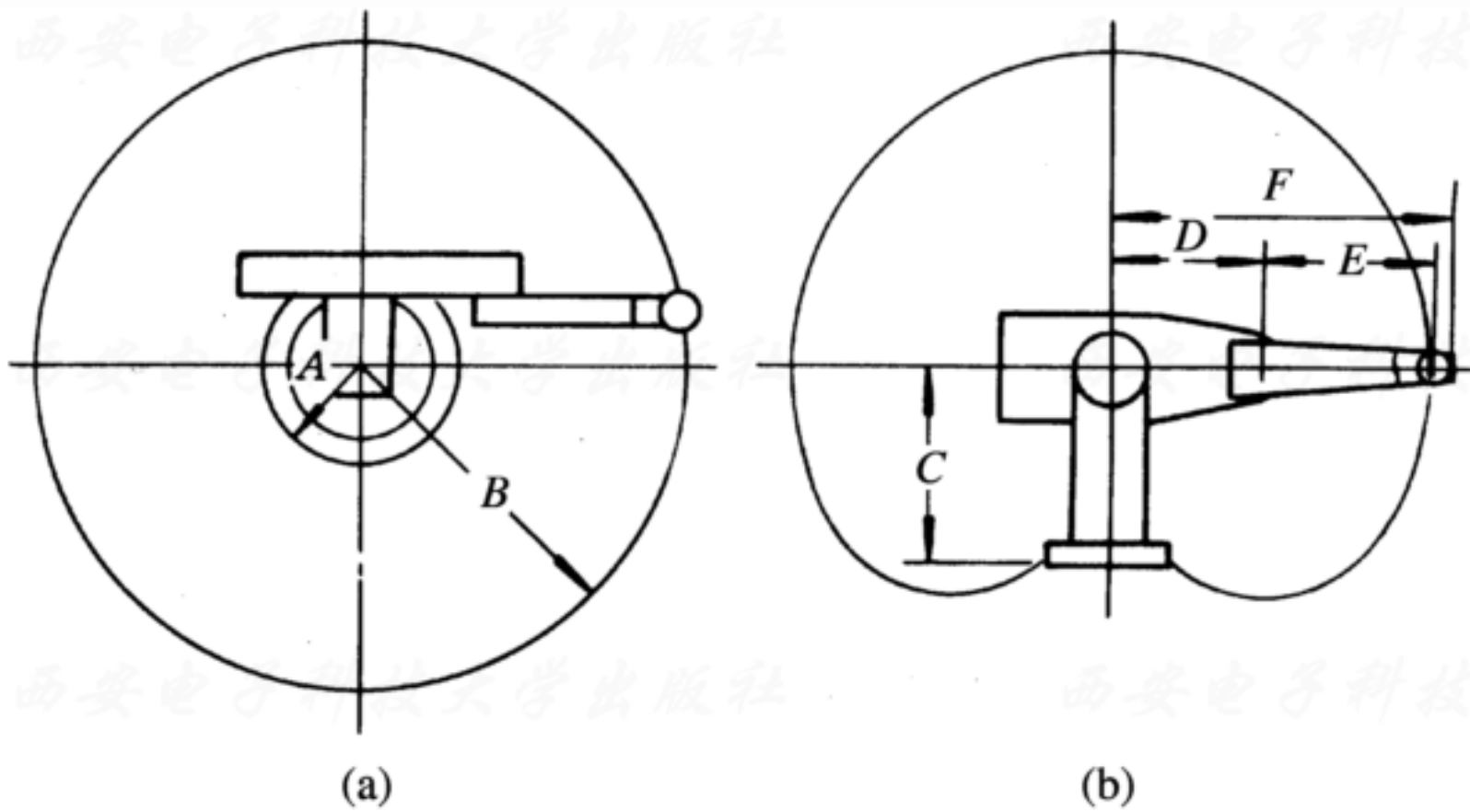
### (3) 工作空间(Work Space)

**工作空间**是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**。因为末端操作器的尺寸和形状是多种多样的，为了真实反映机器人的特征参数，所以，这里是指不安装末端操作器时的工作区域。工作范围的形状和大小是十分重要的，机器人在执行作业时可能会因为存在手部不能到达的作业死区(Dead Zone)而不能完成任务。

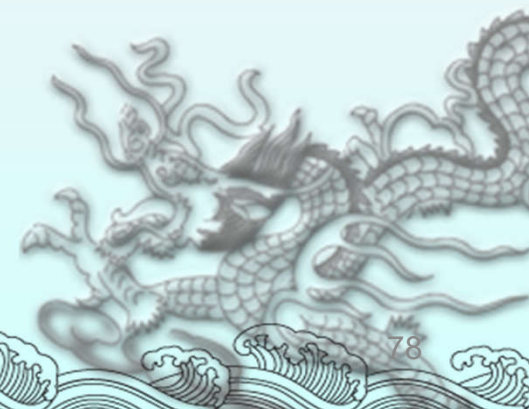




- 机器人的工作空间主要取决于臂部的自由度和每个关节的运动范围。
- 腕部的自由度主要用来调整手部在空间的方位。
- 手指的开闭动作，仅用于夹放工件或工夹具，它不改变工件或工夹具的空间位置和方位，所一般不计入机器人的自由度数。



**PUMA机器人工作范围**  
**(a) 顶视图; (b) 侧视图**

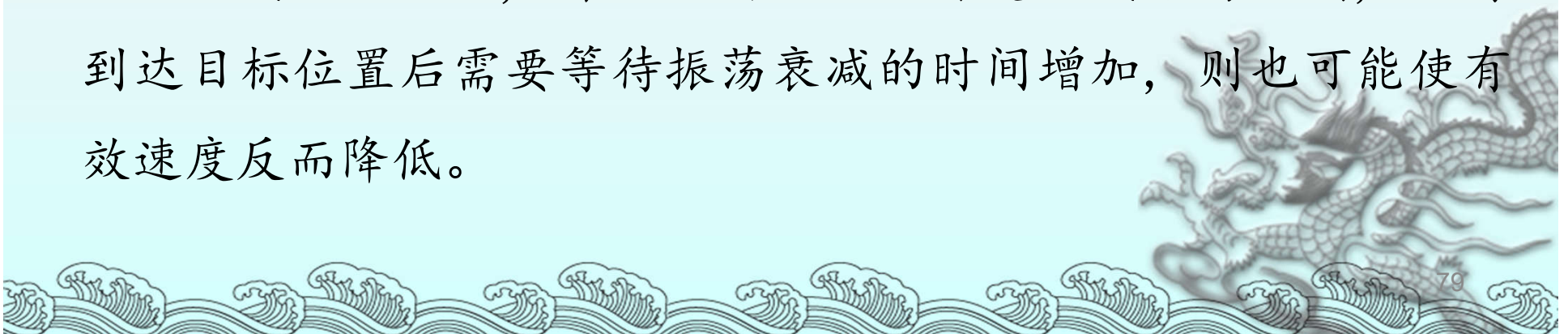


## (4) 速度(Speed)

速度和加速度是表明机器人运动特性的主要指标。运动速度影响机器人的工作效率，它与机器人所提取的重力和位置精度均有密切的关系。说明书中通常提供了主要运动自由度的最大稳定速度。（思考：最大稳定速度高，是否代表机器人的性能好？）

□运动速度高，机器人所承受的动载荷增大，必将在加减速时承受较大的惯性力，影响机器人的工作平稳性和位置精度。

□加速或减速过快，有可能引起定位时超调或振荡加剧，使得到达目标位置后需要等待振荡衰减的时间增加，则也可能使有效速度反而降低。





所以，考虑机器人运动特性时，除注意最大稳定速度外，还应注意其最大允许的加减速速度。

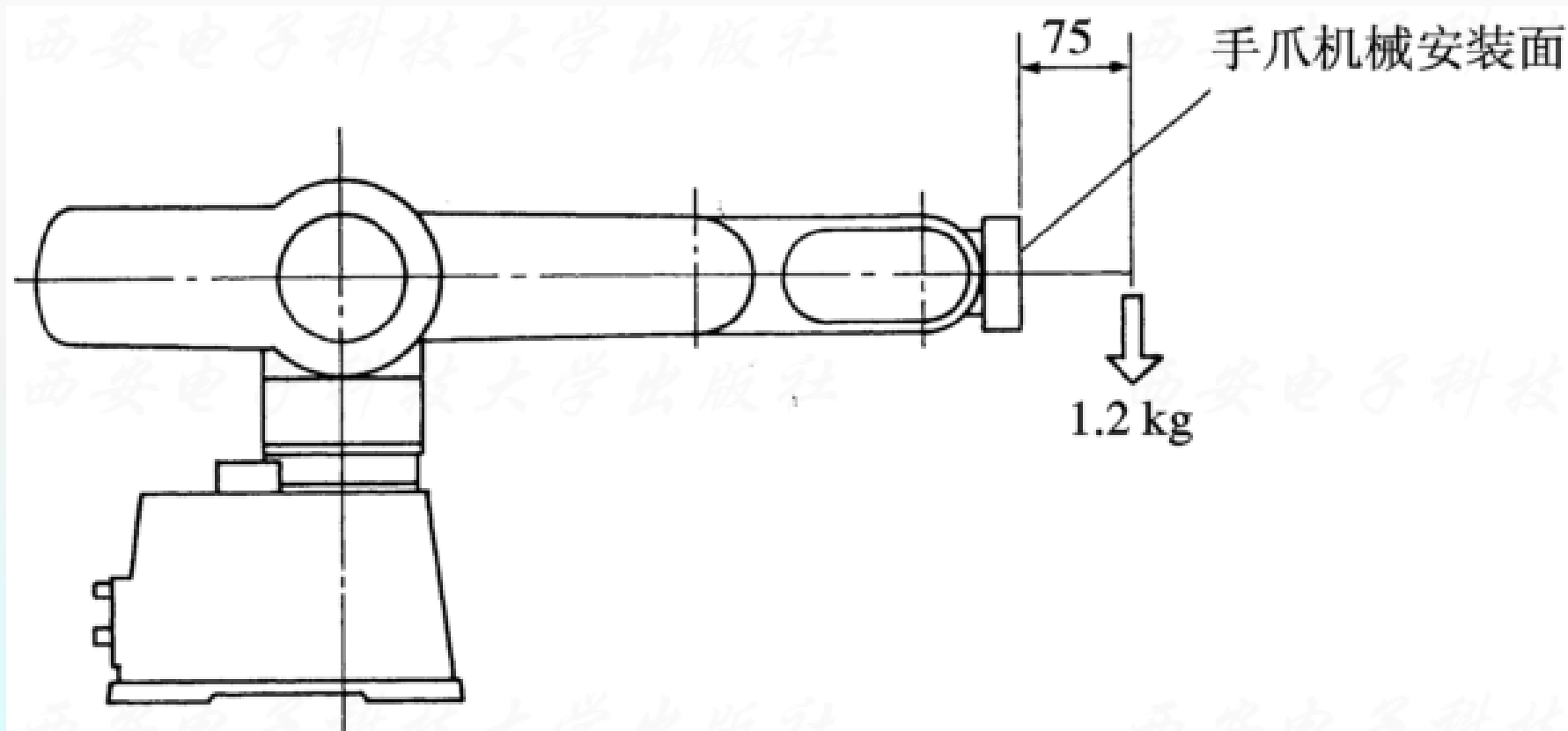
目前的技术水平而言，通用机器人的最大直线运动速度大多在1000 mm/s以下。

## (5) 承载能力(Payload)

承载能力是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**。承载能力不仅决定于负载的质量，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，承载能力这一技术指标是指**高速运行时的承载能力**。通常，承载能力不仅指负载，而且**还包括了机器人末端操作器的质量**。

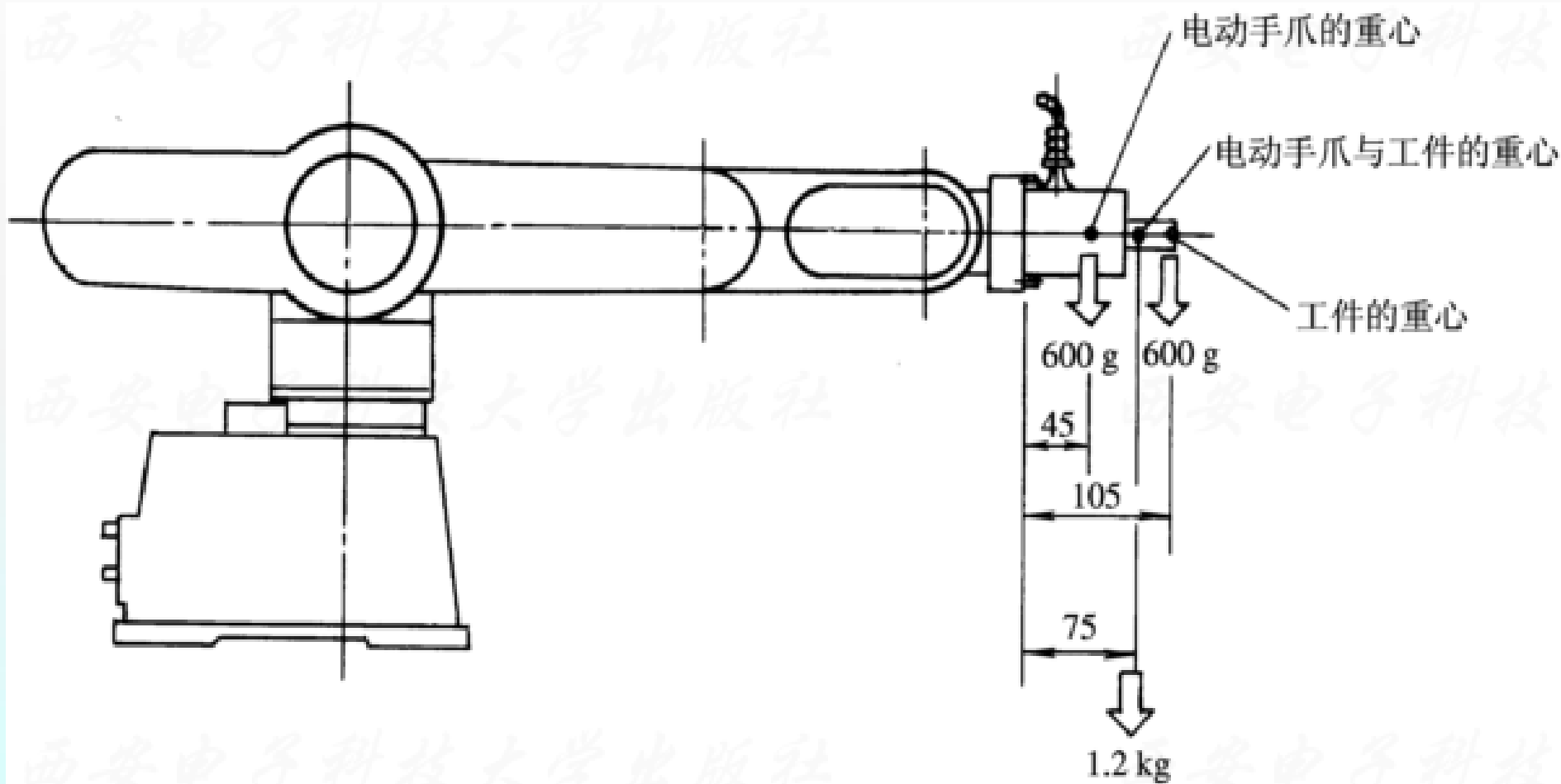
机器人**有效负载的大小除受到驱动器功率的限制外，还受到杆件材料极限应力的限制，因而它又和环境条件(如地心引力)、运动参数(如运动速度、加速度以及它们的方向)有关。**

## 三菱装配机器人不带电动手爪时的承载能力





## 三菱装配机器人带电动手爪时的承载能力



# 思考与练习



1. 人有哪些功能？智能机器人所谓智能的表现形式是什么？
2. 工业机器人的定义是什么？工业机器人与数控机床有什么区别？
3. 机器人由哪几部分组成？各部分的功能是什么？
4. 机器人按应用场合和分为哪几类？这些应用场合有什么特点？
5. 工业机器人的技术参数有哪些？各参数的意义是什么？
6. 工业机器人按坐标形式分为哪几类？各有什么特点？
7. 什么是SCARA机器人？应用上有何特点？
8. 什么是自由度？自由度如何计算？按照自由度的定义，请思考一下人的手臂有几个自由度？人手有几个自由度？

