



机器人学(第三版)

蔡自兴 主编

中南大学

2016



11.1 应用工业机器人必须考虑的因素

11.1.1 机器人的任务估计

- 如果缺乏对应用机器人的透彻了解，就很难选择好机器人的作业任务。
- 在估计作业任务时，必须把当前进行的作业任务与应当由机器进行的作业任务加以区别。
- 采用机器人能够提供由改变过程变量来显著提高生产率的机会。



11.1.2 应用机器人三要素

■ 技术依据

技术依据包括下列各种要求：

- (1) 性能要求
- (2) 布局要求
- (3) 产品特性
- (4) 设备更换
- (5) 过程变更



11.1.2 应用机器人三要素

■ 经济理由

在经济方面所考虑的因素包括：

- (1) 劳力
- (2) 材料
- (3) 生产率
- (4) 能源
- (5) 设备
- (6) 费用



11.1.2 应用机器人三要素

■ 人的因素

在考虑人的因素时，包括：

- (1) 操作人员
- (2) 管理人员与部门
- (3) 维护及其它人员
- (4) 经理和工程师

■ 数据记录

提供了对观察过的应用项目的粗略估计。



11.1.3 使用机器人的经验准则

■ 埃斯蒂斯（Vernon E.Estes）于1979年提出八条使用机器人的经验准则，称为弗农（Vernon）准则，准则如下：

- （1）应当从恶劣工种开始执行机器人计划
- （2）考虑在生产率落后的部门应用机器人
- （3）要估计长远需要
- （4）使用费用不与机器人成本成正比
- （5）力求简单实效
- （6）确保人员和设备安全
- （7）不要期望卖主提供全套承包服务
- （8）不要忘记机器人需要人

11.1.4 采用机器人的步骤



■ 机器人应用于生产系统的具体步骤如下：

(1) 全面考虑并明确自动化要求，包括提高劳动生产率、增加产量、减轻劳动强度、改善劳动条件、保障经济效益和社会就业等问题。

(2) 制订机器人化计划。在全面和可靠的调查研究基础上，制订长期的机器人化计划，包括确定自动化目标、培训技术人员、编绘作业类别一览表、编制机器人化顺序表和大致日程表等。

(3) 探讨采用机器人的条件。根据预先准备好的调查研究项目表，进行深入细致的调查，并进行详细的测定和图表资料收集工作。

(4) 对辅助作业和机器人性能进行标准化。必须按照现有的和新研制的机器人规格，进行标准化工作。此外，还要判断各机器人具有哪些适于特定用途的性能，进行机器人性能及其表示方法的标准工作。

11.1.4 采用机器人的步骤



(5) 设计机器人化作业系统方案。设计并比较各种理想的、可行的或折衷的机器人化作业系统方案，选定最符合使用目的的机器人及其配套来组成机器人化柔性综合作业系统。

(6) 选择适宜的机器人系统评价标准。建立和选用适宜的机器人化作业系统评价标准与方法，既要考虑到能够适应产品变化和生计划变更的灵活性，又要兼顾目前和长远的经济效益。

(7) 详细设计和具体实施。对选定的实施方案进一步进行分部具体设计工作，并提出具体实施细则，交付执行。

11.1.4 采用机器人的步骤

- 上述将机器人应用于生产系统的步骤的大致顺序由图11.1所表示。

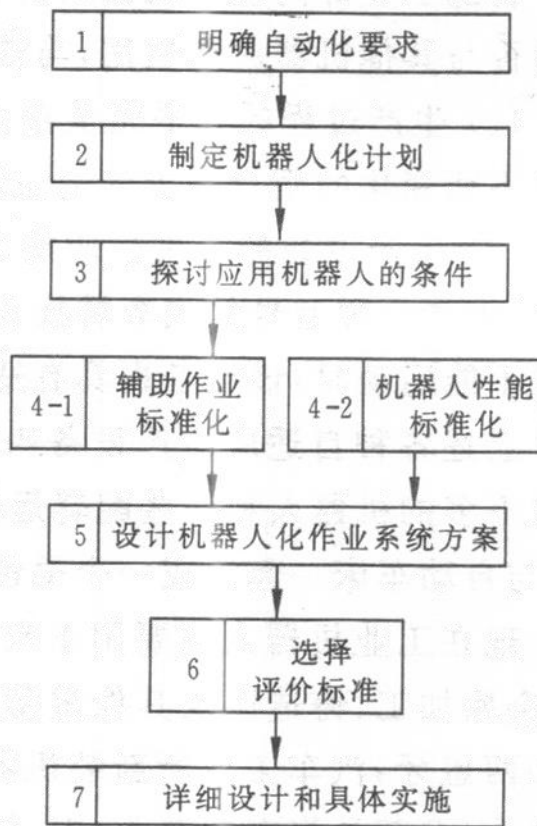


图11.1 采用机器人的步骤



11.2 机器人的应用领域

11.2.1 工业机器人

机器人与传统的机器相比，它具有两个主要优点：

- 生产过程的几乎完全自动化

带来了较高质量的成品和更好的质量控制，并提高对不断变化的用户需求的适应能力，从而提高产品在市场上的竞争能力。

- 生产设备的高度适应能力

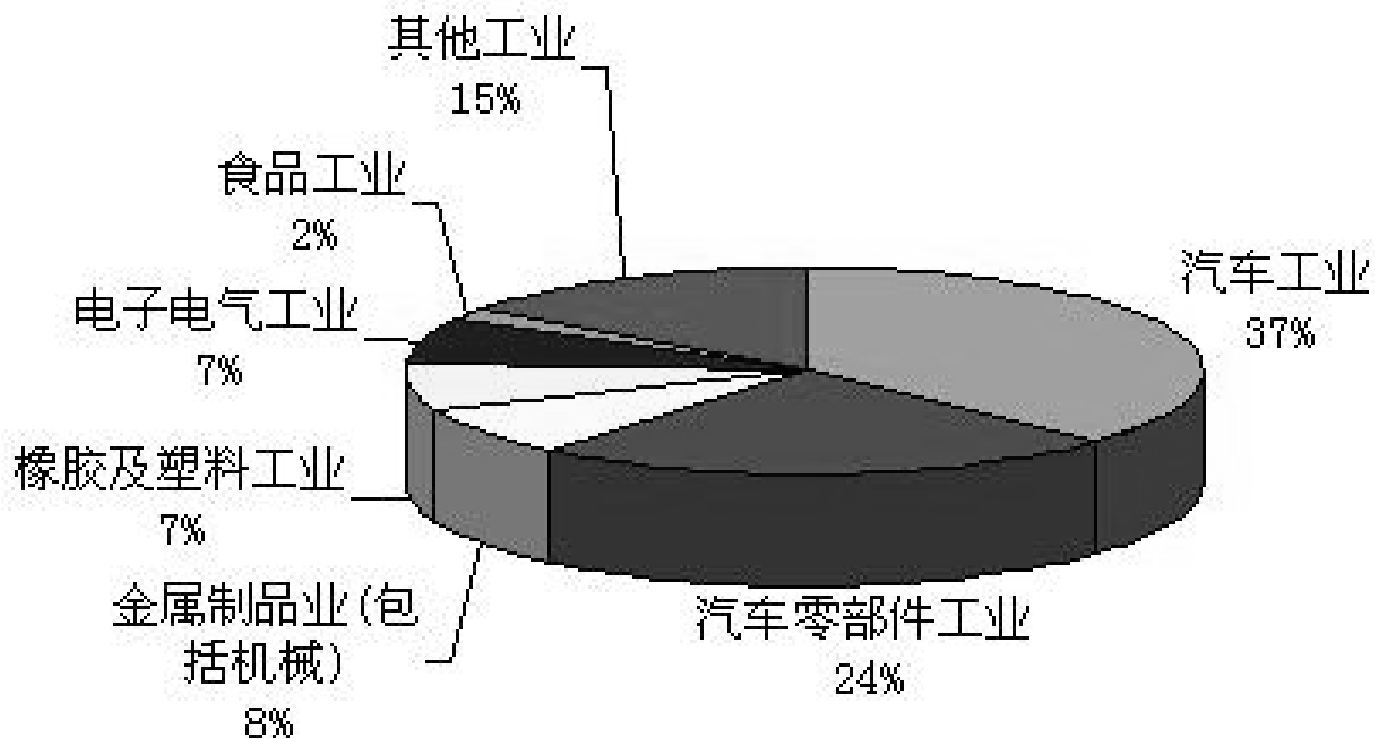
某个故障使生产设备上的一个零件不能运动时，该设备也具有适应故障的能力。



11.2.1 工业机器人

- 现在工业机器人主要用于：
 - (1) 汽车工业
 - (2) 机电工业（包括电讯工业）
 - (3) 通用机械工业
 - (4) 建筑业
 - (5) 金属加工
 - (6) 铸造
 - (7) 其它重型工业和轻工业部门

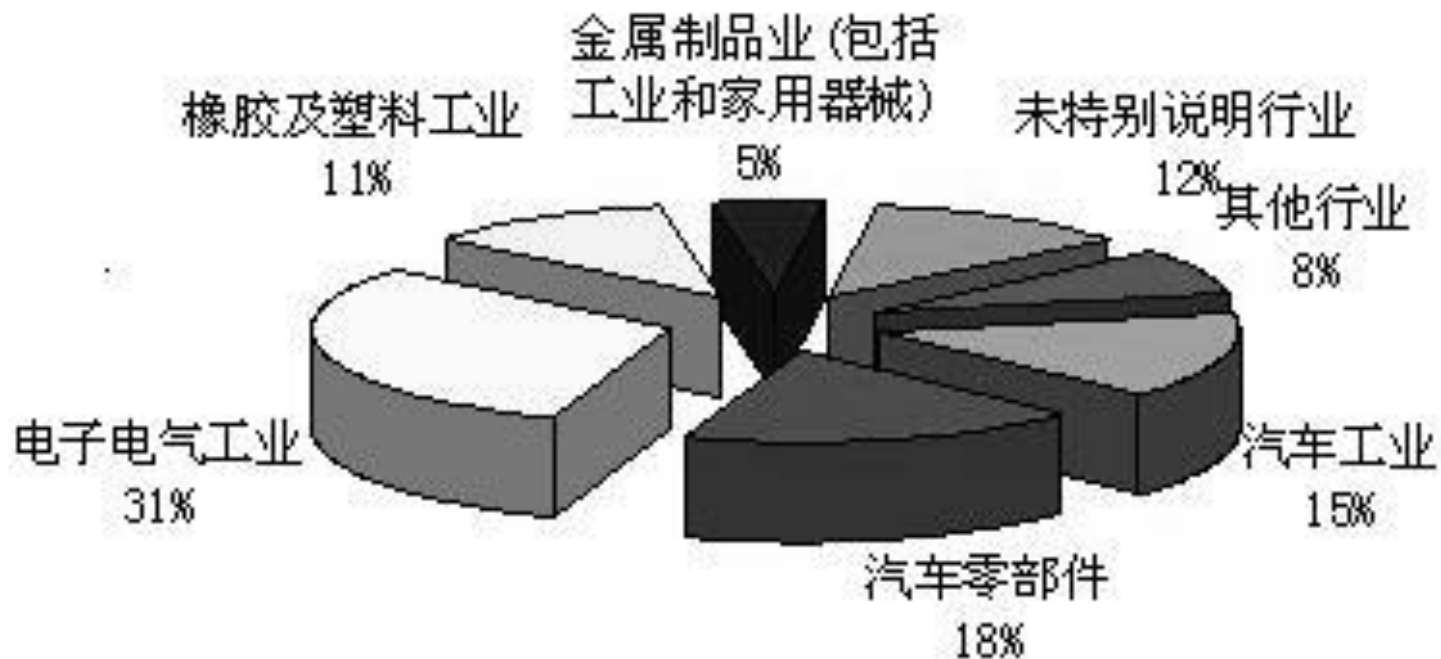
11.2.1 工业机器人



(资料来源: World Robotics 2006)

图11.2 2005年美洲地区主要行业对工业机器人需求比例分布图

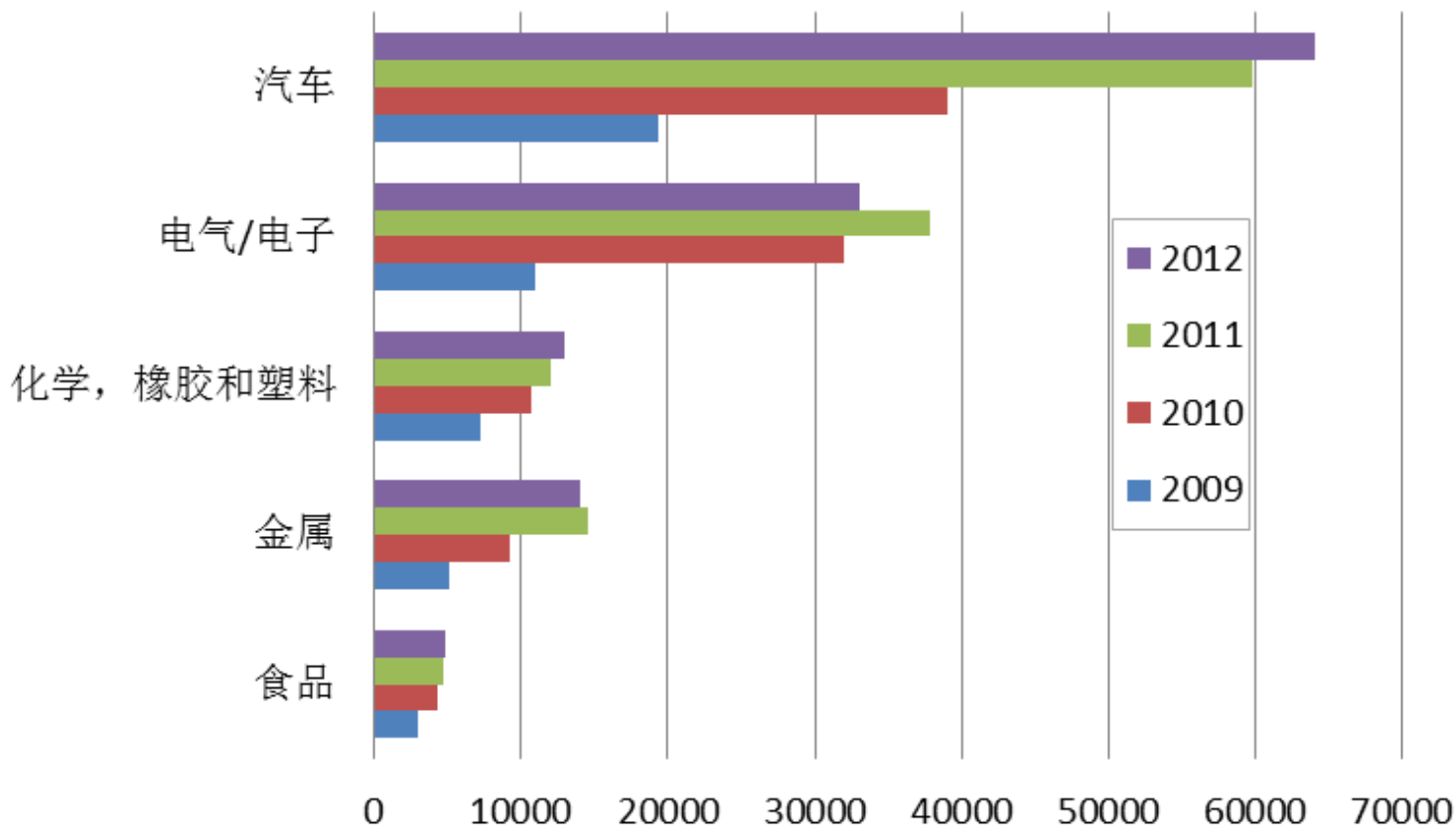
11.2.1 工业机器人



(资料来源: World Robotics 2006)

图11.3 2005年亚洲地区主要行业对工业机器人需求比例分布图

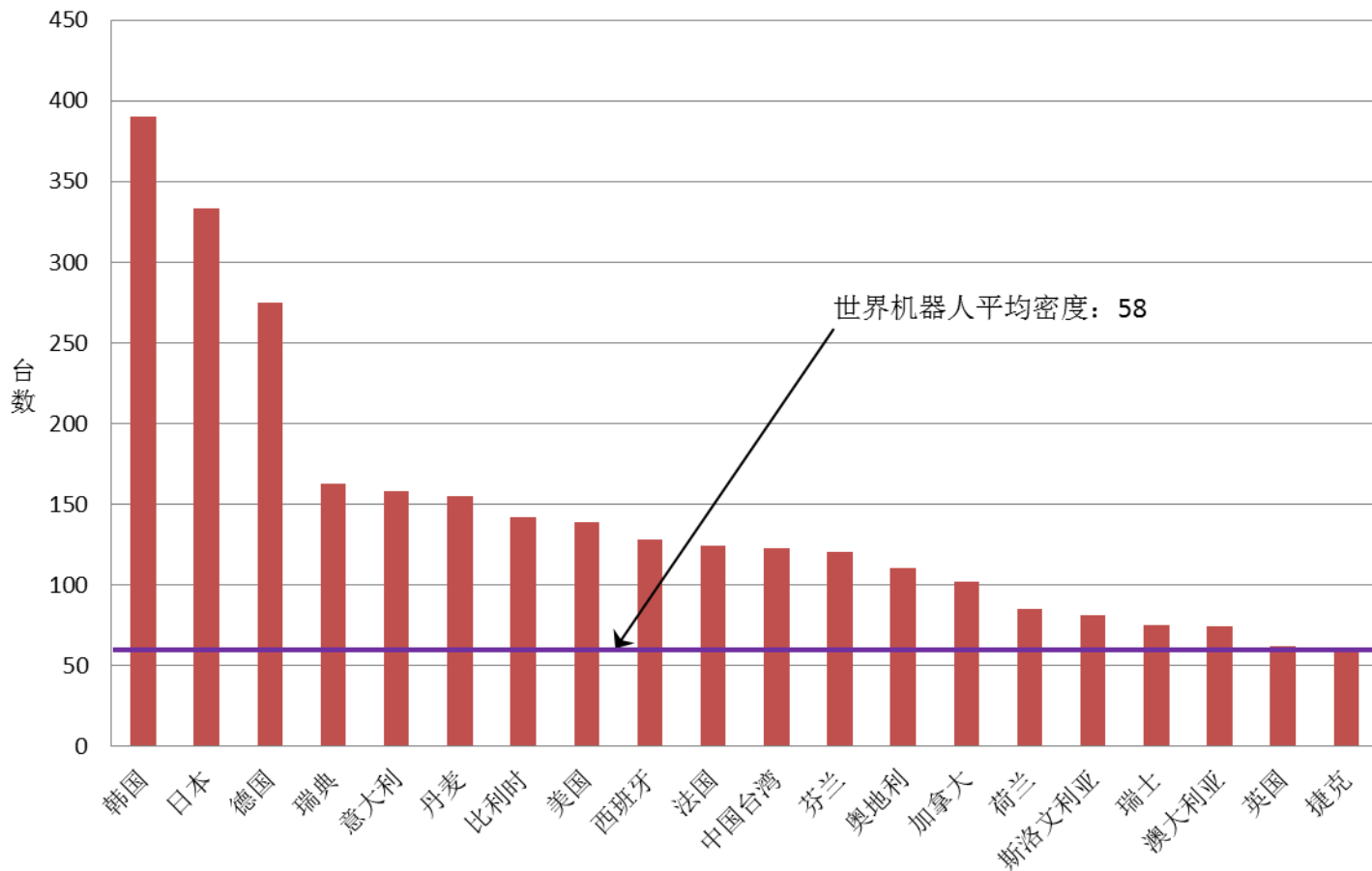
11.2.1 工业机器人



(资料来源: World Robotics 2013)

图11.4 2009—2012年制造业各行业对工业机器人的需求排名情况

11.2.1 工业机器人



(资料来源: World Robotics 2013)

图11.5 工业机器人密度高的国家和地区分布



11.2.1 工业机器人

- 机器人的工业应用分为：

- (1) 材料加工
- (2) 零件制造（包括：锻造、点焊、捣碎和铸造）
- (3) 产品检验（包括：显式检验、隐式检验）
- (4) 产品装配（包括：材料加工、在线检验、零件供给、配套、剂压和紧固等工序）



11.2.2 探索机器人

- 机器人除了在工农业上广泛应用之外，还用于进行探索，即在恶劣或不适于人类工作的环境中执行任务。

(1) 自主机器人

自主机器人能在恶劣环境中执行编程任务。

(2) 遥控机器人

遥控机器人是把机器人（称为从动装置）放置在某个危险、有害恶劣环境中，而由操作人员在远处控制主动装置，使从动装置跟随主动装置的操作动作，实现遥控。

11.2.2 探索机器人

■ 两种主要的探索机器人

■ 水下机器人

水下机器人按其在水中运动的方式可分为：

- (1) 浮游式水下机器人
- (2) 步行式水下机器人
- (3) 移动式水下机器人

按供电方式可分为：

- (1) 有缆水下机器人
- (2) 无缆水下机器人



11.2.2 探索机器人

■ 空间机器人

空间机器人的主要任务可分为两大方面：

(1) 在月球、火星及其它星球等非人居住条件下完成先驱勘探。

(2) 在宇宙空间代替宇航员做卫星的服务，空间站上的服务及空间环境的应用实验。

11.2.3 服务机器人

■ 定义1

服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人，它完成的是有益于人类健康的服务工作，但不包括那些从事生产的设备。

■ 定义2

服务机器人可看做一种可自由编程的移动装置，它至少有三个运动轴，可以部分地或全自动地完成服务工作。这些服务工作为个人或单位完成的，不指工业生产服务。

11.2.3 服务机器人

■ 医用机器人已应用于下列几方面：

- (1) 诊断机器人，即配备有医疗诊断专家系统的机器人。
- (2) 护理机器人，是一些具有丰富护理经验的机器人护士或护师。
- (3) 伤残瘫痪康复机器人，包括假肢、矫形以及遥控等技术。
- (4) 家用机器人，机器人已开始进入家庭和办公室，用于代替人从事清扫、洗刷、守卫、煮饭、照料小孩、接待、接电话、打印文件等。酒店售货和餐厅服务机器人、炊事机器人和机器人保姆已不再是一种幻想。
- (5) 娱乐机器人，包括文娱歌舞和体育机器人。
- (6) 医疗手术机器人近年来有所突破。



11.2.3 服务机器人

- 服务机器人还包括:
 - 送信机器人
 - 导游机器人
 - 加油机器人
 - 建筑机器人
 - 农业及林业机器人



11.2.4 军事机器人

- 地面军用机器人
 - (1) 智能机器人，包括自主和半自主车辆
 - (2) 遥控机器人，即各种用途的遥控无人驾驶车辆
- 海洋军用机器人
- 空间军用机器人



11.3 工业机器人应用举例

11.3.1 材料搬运机器人

CONSIGHT系统是美国通用汽车公司（GM）研制的一个用于零件搬运与装配的视觉控制机器人系统。它由视觉、机器人和监控三个独立的子系统组成。图11.3表示CONSIGHT系统的硬件框图（未画出装配系统），它由PDP11/34计算机（其操作系统为RSX-实时执行系统）、RL256C固态摄象机、斯坦福工业机器人、传送带及其编码器（用于测量传送带的位置和速度）系统组成。

11.3.1 材料搬运机器人

■ CONSIGHT系统的功能：

- 测定各种不同类型的机械零件（包括具有复杂曲线的物体）的位置和方向
- 通过插入新的零件数据，系统易于提供程序再编能力
- 系统子系统采用结构光，不需要高的景物对比度
- 能够对许多典型工厂环境中具有视频噪声的图象数据进行有效的处理

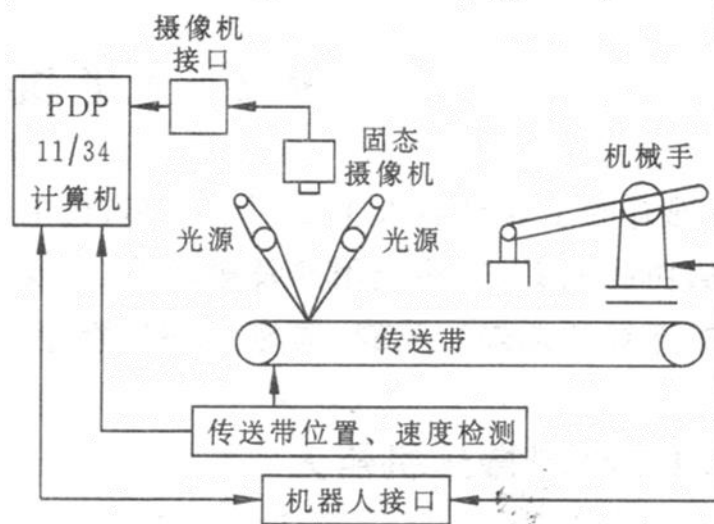


图11.6 CONSIGHT系统硬件框图

11.3.1 材料搬运机器人

- 视觉子系统和机器人子系统的功用是十分显然的，而监控子系统具有定标（测量视觉坐标系统与机器人坐标系间关系的过程）、零件编程（教会系统识别并捡起新零件的过程）以及CONSIGHT系统的操作状态等。
- 图11.7给出控制此系统操作状态的程序流程图。

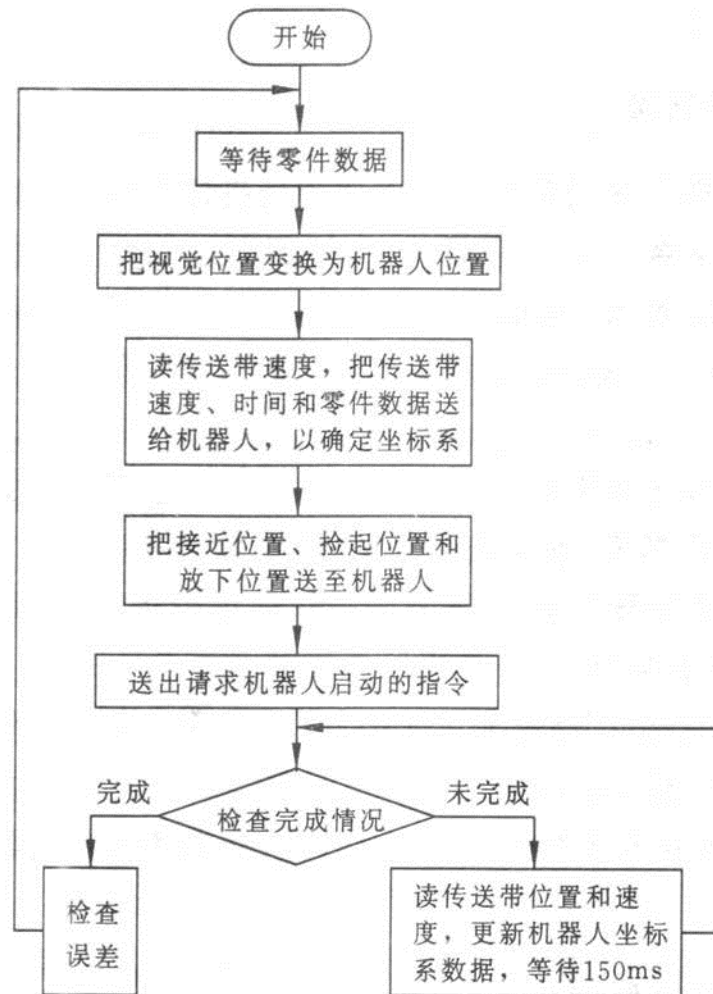


图11.7 CONSIGHT监控系统操作状态图

11.3.2 焊接机器人



- 焊接机器人是最大的工业机器人应用领域。图11.8给出HRGH- II弧焊机器人控制系统硬件简化框图。

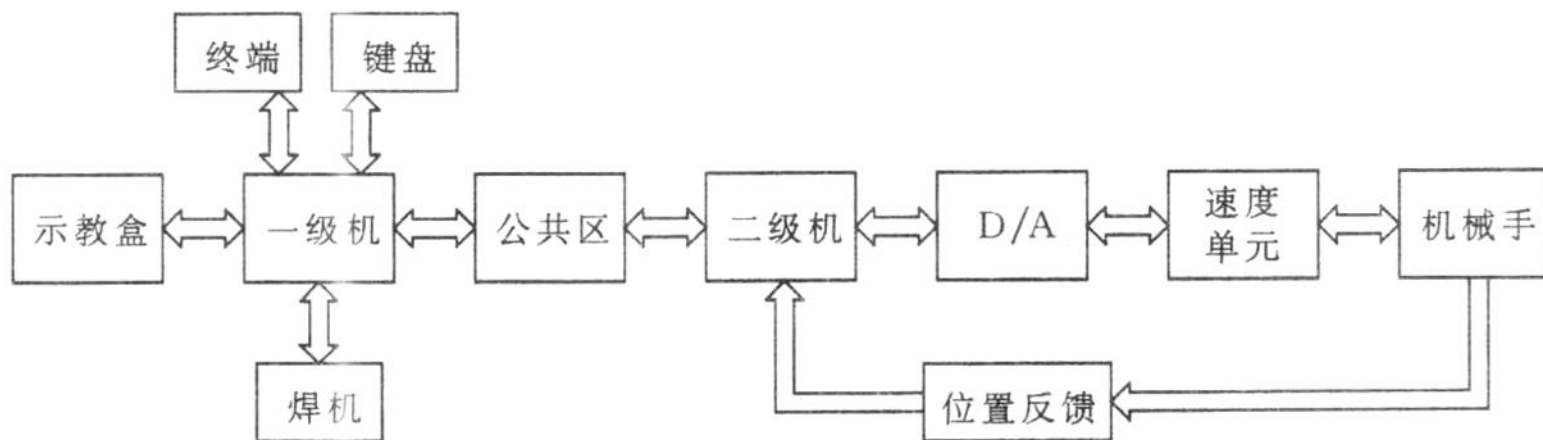


图11.8 HRGH- II 控制系统硬件简化框图

11.3.2 焊接机器人

- 该系统是由两级计算机组成控制系统：

（1）第一级微机系统。第一级控制选用微机IBM-PC/XT，它具有管理、故障诊断、机器语言编辑与编译等功能；它还能进行实时轨迹插补计算，并把计算出的各关节增量作为第二级数字伺服系统的给定值。两级微机通过公共内存储器交换信息。

通过串行接口RS-232，把IBM-PC机与示教盒连接起来，接受示教信息，完成示教动作。通过并行接口，使微机与焊机相连，以控制焊机的起动与熄弧。

（2）第二级单板机系统。第二级控制选用TP-86单板机，它与调节电路及外围电路一起，实现5个关节的位置伺服控制。它包括5套功率大器、电流和速度调节器，并集成在5套FANUCA速度伺服控制单元内。外围电路有5路反馈计数器及其附属电路、5路D/A转换器及其接口、定时器和中断控制器等。此外，为提高系统可靠性，在控制电路内均采用滤波电路，在电机控制系统和控制柜上装有各种保护报警装置。



11.3.2 焊接机器人

- 本弧焊机器人的软件系统包括二级机数字伺服软件和一级机程序。
- 一级机的软件包括初始化、示教程序编制和轨迹插补计算等。它们分别属于下列4种工作方式，即HOME（起动归零，确定坐标起始点）、TEACH（示教）、AUTO（自动计算与检验）和STEP（再现）。软件系统流程见图11.9。

11.3.2 焊接机器人

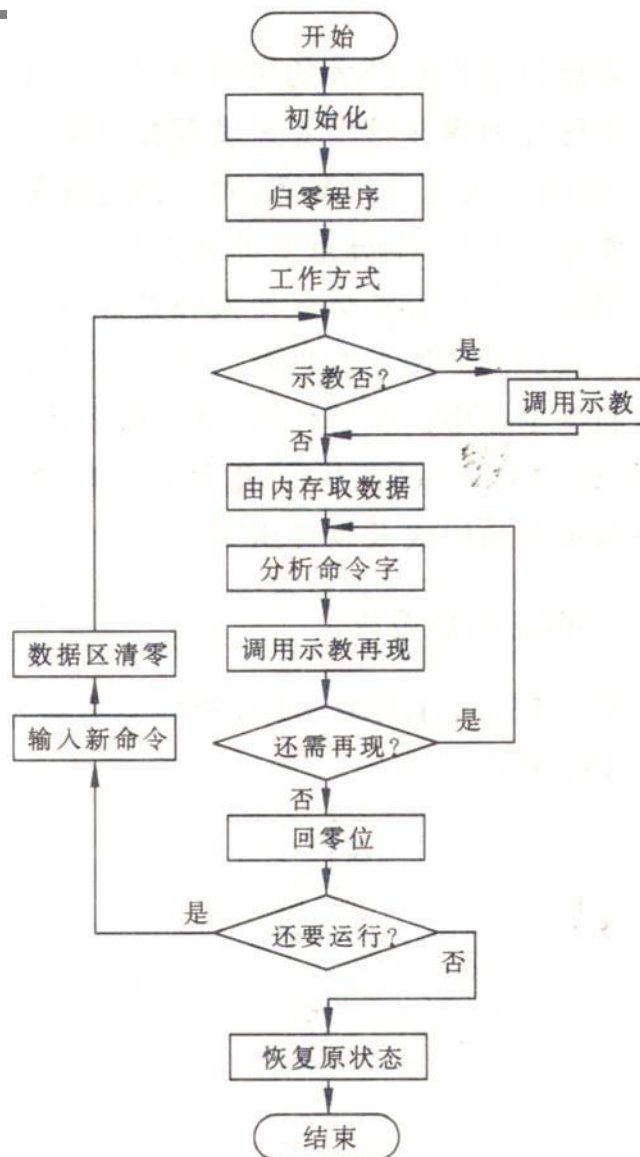


图11.9 HRGH-II 软件系统流程图

11.3.2 焊接机器人

(1) 初始化。包括定时器8253初始化、反馈计数器8259初始化、显示器6845初始化、串行接口8250初始化、协处理器8087初始化及内存数据区清零等。

(2) 示教程序编辑。示教编辑程序允许操作员输入指令字或指令键以确定焊枪头的运动轨迹，并配有各种程序修改功能。示教分轴坐标示教和直角坐标示教两种。

轴坐标示教时每次只使一个轴运动，其它轴（关节）则维持姿态不变。直角坐标是指焊枪头相对于基坐标系的直角坐标（X、Y、Z）。直角示教时，使焊枪头沿着定义的X、Y、Z方向运动，每次可能有几个轴同时运动。

(3) 轨迹插补计算。本系统的轨迹计算是在线完成的。在三维坐标系中，采用插补轨迹计算，包括直线插补和圆弧插补。

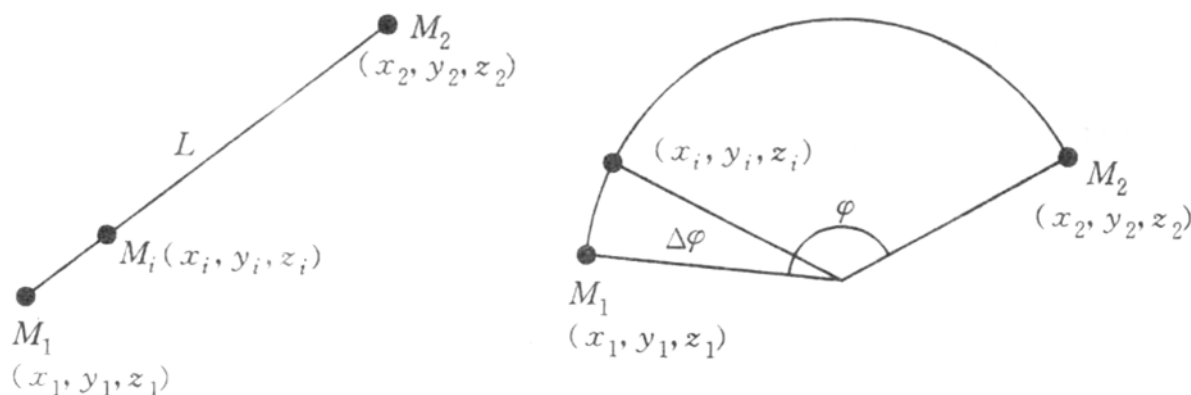


图11.10 轨迹插补计算说明

设两示教点为 $M1(x_1, y_1, z_1)$ 和 $M2(x_2, y_2, z_2)$ ，见图9.7(a),那么 $M1M2$ 两点间的距离 L 为:

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (11.1)$$

由要求的运动速度 V 及采样周期 T_s ，得步长和总步数 S 为

$$\Delta L = VT_s \quad (11.2)$$

$$S = INT(L / \Delta L) + 1 \quad (11.3)$$

于是可得插补点坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_1 + i(x_2 - x_1) / S \\ y_i &= y_1 + i(y_2 - y_1) / S \\ z_i &= z_1 + i(z_2 - z_1) / S \\ i &= 0, 1, \dots, S \end{aligned} \right\} \quad (11.4)$$

- 已知示教三点 $M1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $M2(x_2, y_2, z_2)$ 和 $M3(x_3, y_3, z_3)$ ，见图11.10(b)；由此三点求出圆心坐标、半径及圆心角。根据速度求步长，再求总步数 S ：

$$S = INT(\varphi / \Delta L) + 1 \quad (11.5)$$

- 最后据 $\Delta\varphi = \varphi / S$ 及圆弧曲线求插补点坐标 (x_i, y_i, z_i) 。

11.3.3 喷漆机器人

PJ-I喷漆机器人

(1) 系统构成及工作原理。PJ-I喷漆机器人的控制系统由主机DJK-20（即S-09微机）、接口、A/D、D/A、DI、DO、位置检测元件及电液伺服系统等部分组成，如图11.11所示。

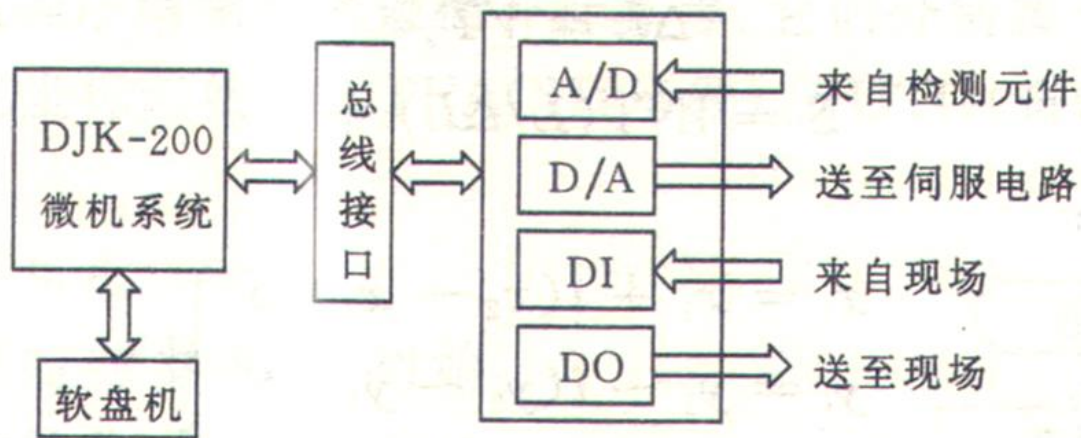


图11.11 PJ-I控制系统结构框图

11.3.3 喷漆机器人

(2) 控制软件。

控制软件由两个模块组成：示教模块和再现模块。由于示教和再现在结构上类似，所以下面仅介绍示教模块及其主流程图。

示教程序由三个任务组成。任务A完成初始化和创建新任务之后，主要执行作业内容、顺序、喷枪开关信号的采集，并把它们存入内存缓冲区。任务B主要完成从内存缓冲区中把所采集的数据写到磁盘上去的任务。任务C则实现对操作面板按键的监控。这些示教程序及其任务的流程图见图11.12（a）、（b）、（c）和（d）所示。

11.3.3 喷漆机器人

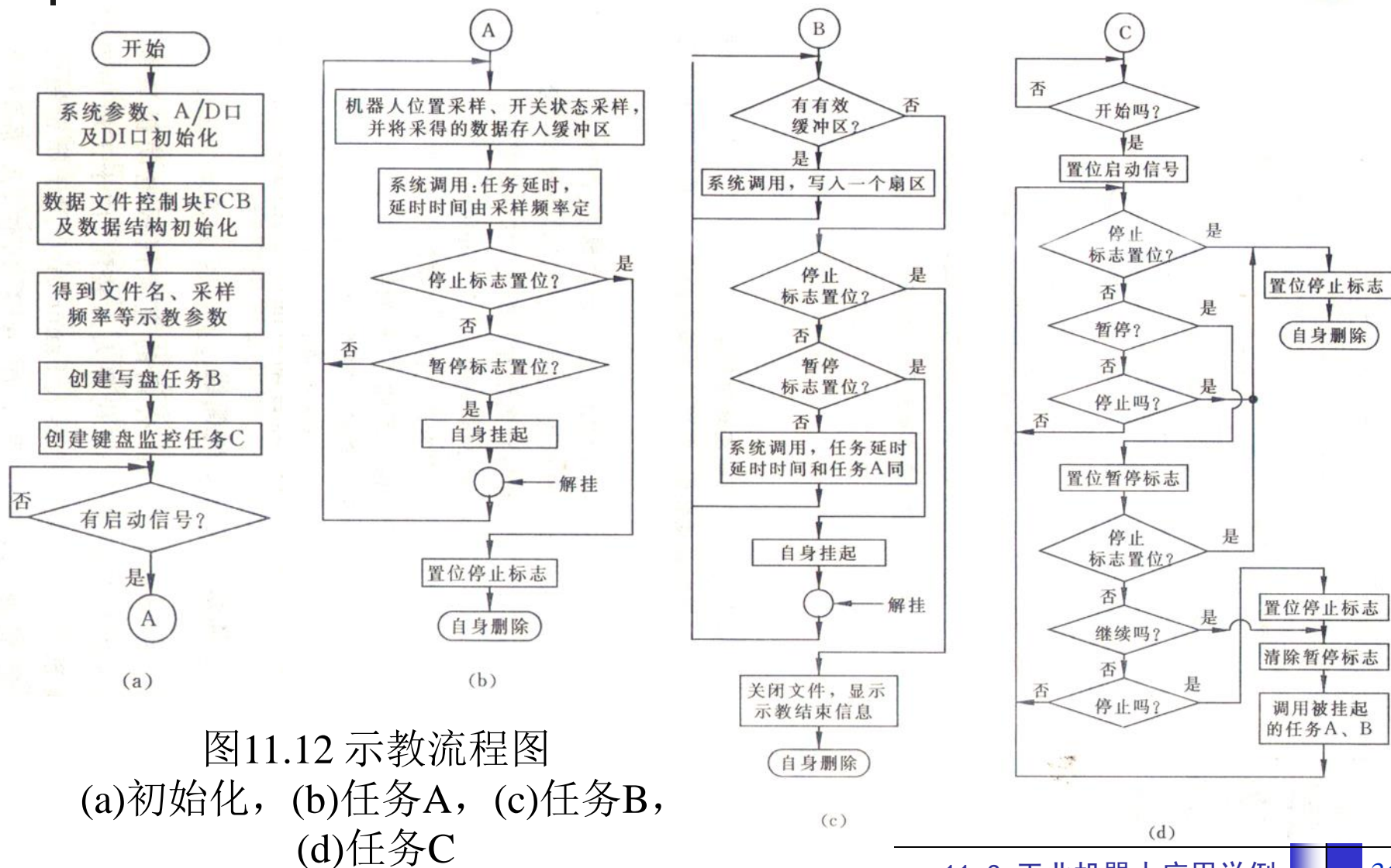


图11.12 示教流程图

(a)初始化, (b)任务A, (c)任务B, (d)任务C

11.3.3 喷漆机器人

■ NC喷漆系统

NC喷漆系统由一台管理计算机进行监控，并可在隔开的示教室内对新车体的喷漆作业进行训练编程。图11.13表示NC系统的硬件组成情况。

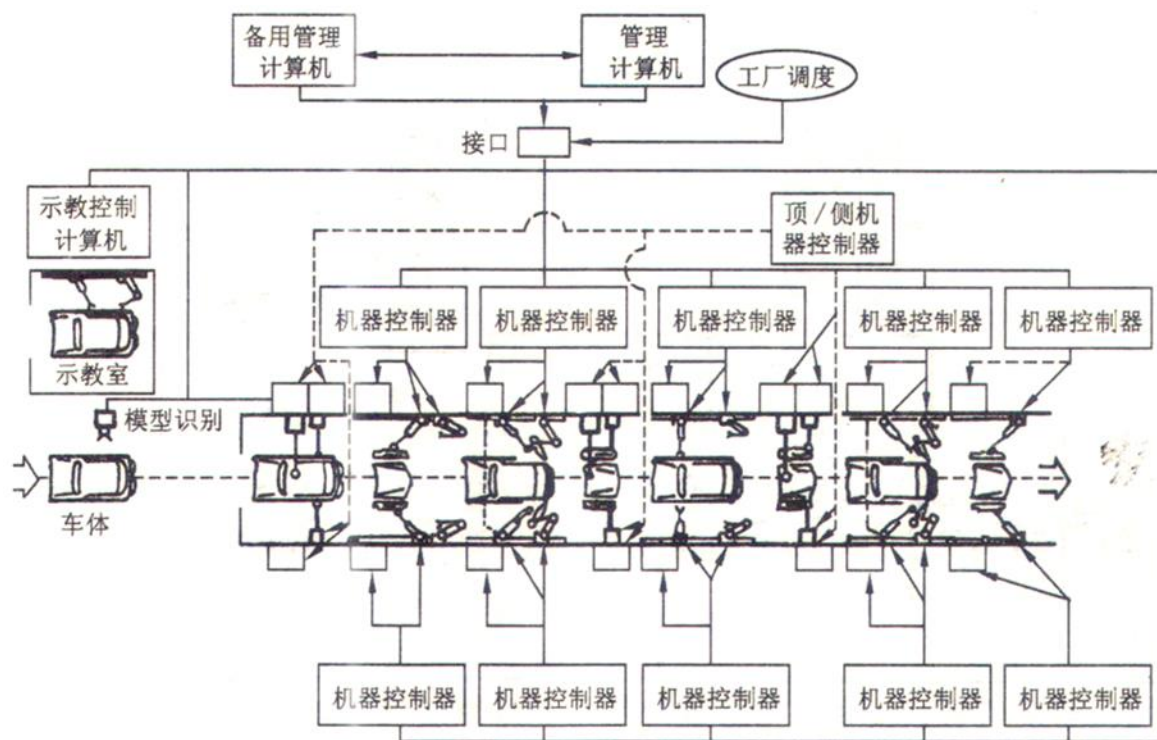


图11.13 NC全自动喷漆系统的组成

11.4 小结



- 本章论述了应用机器人必须考虑的因素，分别从任务、技术、经济和人员等方面探讨了应用机器人对应当注意的问题，并在此基础上进一步介绍了使用机器人时值得遵循的经验准则，即弗农准则，以及采用机器人的步骤。
- 列举了几个工业机器人应用的实例。
- 最后指出机器人必将获得越来越广泛的应用。