



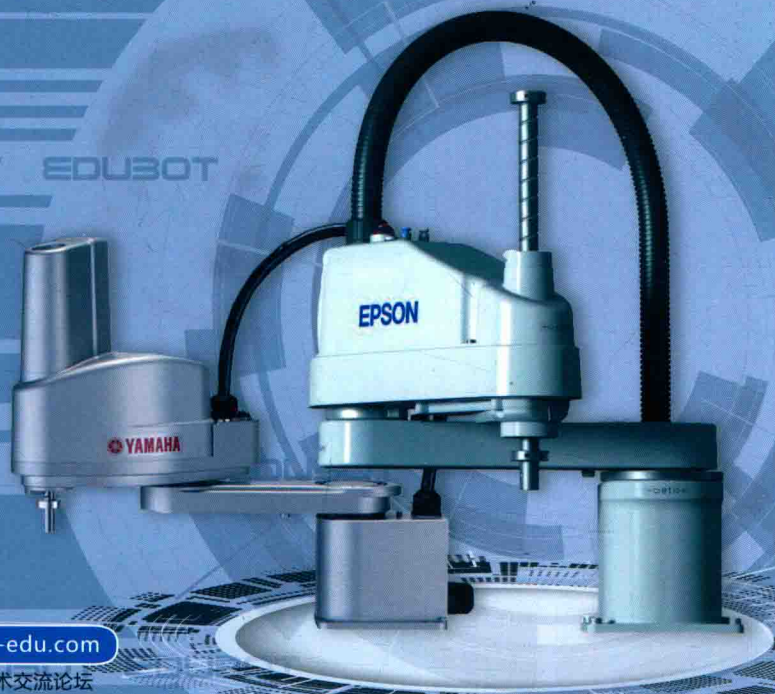
工业机器人技术专业“十三五”规划教材

工业机器人应用人才培养指定用书

# 工业机器人 入门实用教程

( SCARA机器人 )

张明文 于振中 主编◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频+电子教案+技术交流论坛

 哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



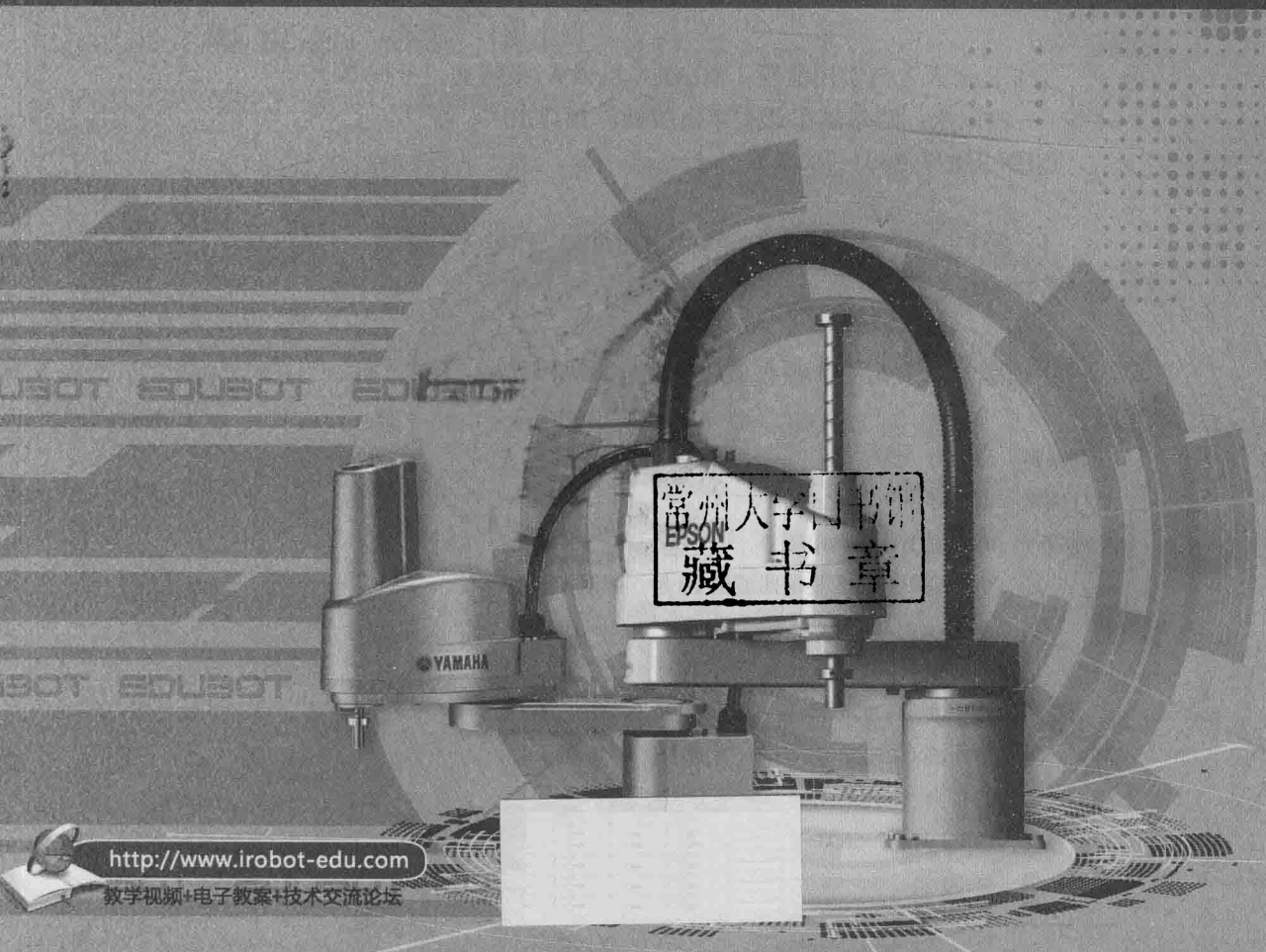
工业机器人技术专业“十三五”规划教材

工业机器人应用人才培养指定用书

# 工业机器人 入门实用教程

(SCARA机器人)

张明文 于振中 主编 ◆



<http://www.irobot-edu.com>

教学视频+电子教案+技术交流论坛



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书以水平关节机器人为主要对象,基于 SCARA 机器人主流机型,结合 SCARA 机器人在工业应用中所需的知识储备、操作技能、项目应用三大方向,由浅入深、循序渐进地介绍了水平关节机器人的入门实用知识。从 SCARA 机器人发展现状切入,分析讲解了 SCARA 机器人的基础知识,最后结合应用实例,以 LS3-401S 和 YK400XR 两款常用机型作为典型系统介绍了 EPSON 水平关节机器人及 YAMAHA 水平关节机器人的基础知识、基础操作、简单调试、初级应用等实用内容。

本书图文并茂,通俗易懂,具有很强的实用性和可操作性,既可作为高等院校和中高职院校工业机器人相关专业的教材,又可作为工业机器人培训机构用书,同时可供相关行业的技术人员参考。

本书配有丰富的教学资源,凡使用本书作为教材的教师可咨询相关机器人实训装备,也可通过书末“教学资源获取单”索取相关数字教学资源。咨询邮箱:edubot\_zhang@126.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人入门实用教程:SCARA 机器人/张明文,于振中  
主编. — 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2017.10

ISBN 978-7-5603-7023-1

I. ①工… II. ①张… ②于… III. ①工业机器人—教材  
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 261466 号

策划编辑 王桂芝 张 荣

责任编辑 范业婷 刘 威

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 336 千字

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-7023-1

定 价 36.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

**工业机器人技术专业“十三五”规划教材**  
**工业机器人应用人才培养指定用书**

## 编 审 委 员 会

名誉主任 蔡鹤皋

主 任 韩杰才 李瑞峰 付宜利

副 主 任 于振中 张明文

委 员 (按姓氏首字母排序)

包春红 蔡 琼 陈健健 陈 适 陈 霞

封佳诚 高文婷 龚艳丽 顾三鸿 赫英强

李 丹 李德新 李国太 李思幸 李晓聪

李智勇 刘馨芳 卢 昊 宁 金 齐建家

邵文涛 谭立新 滕 武 王亮清 王璐欢

王 伟 王伟夏 王 欣 吴冠伟 吴洪涛

吴颜吉 吴战国 霁学会 杨润贤 鄢 铨

殷 铨 尹 政 喻 杰 袁静云 张广才

庄咸霜





# 序 一

现阶段,我国制造业面临资源短缺、劳动成本上升、人口红利减少等压力,而工业机器人的应用与推广,将极大地提高生产效率和产品质量,降低生产成本和资源消耗,有效提高我国工业制造竞争力。我国《机器人产业发展规划(2016—2020)》强调,机器人是先进制造业的关键支撑装备和未来生活方式的重要切入点。广泛采用工业机器人,对促进我国先进制造业的崛起,有着十分重要的意义。“机器换人,人用机器”的新型制造方式有效推进了工业升级和转型。

工业机器人作为集众多先进技术于一体的现代制造业装备,自诞生至今已经取得了长足进步。当前,新科技革命和产业变革正在兴起,全球工业竞争格局面临重塑,世界各国紧抓历史机遇,纷纷出台了一系列国家战略:美国的“再工业化”战略、德国的“工业4.0”计划、欧盟的“2020增长战略”,以及我国推出的“中国制造2025”战略。这些国家都以先进制造业为重点战略,并将机器人作为智能制造的核心发展方向。伴随机器人技术的快速发展,工业机器人已成为柔性制造系统(FMS)、自动化工厂(FA)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造业的关键支撑装备。

随着工业化和信息化的快速推进,我国工业机器人市场已进入高速发展时期。国际机器人联合会(IFR)统计显示,截至2016年,中国已成为全球最大的工业机器人市场。未来几年,中国工业机器人市场仍将保持高速的增长态势。然而,现阶段我国机器人技术人才匮乏,与巨大的市场需求严重不协调。《中国制造2025》强调要健全、完善中国制造业人才培养体系,为推动中国制造业从大国向强国转变提供人才保障。从国家战略层面而言,推进智能制造的产业化发展,工业机器人技术人才的培养首当其冲。

目前,结合《中国制造2025》的全面实施和国家职业教育改革,许多应用型本科、职业院校和技工院校纷纷开设工业机器人相关专业,但作为一门知识面很广的实用型学科,普遍存在师资力量缺乏、配套教材资源不完善、工业机器人实训装备不系统、技能考核体系不完善等问题,导致无法培养出企业需要的专业机器人技术人才,严重制约了我国机器人技术的推广和智能制造的发展。江苏哈工海渡工业机器人有限公司依托哈尔滨工业大学在机器人方向的研究实力,顺应形势需要,产、学、研、用相结合,组织企业专家和一线科研人员开展了一系列企业调研,面向企业需求,联合高校教师共同编写了“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书。

该系列图书具有以下特点:

(1) 循序渐进，系统性强。该系列图书从工业机器人的入门实用、技术基础、实训指导，到工业机器人的编程与高级应用，由浅入深，有助于系统学习工业机器人技术。

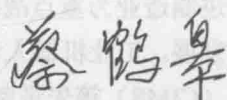
(2) 配套资源，丰富多样。该系列图书配有相应的电子课件、视频等教学资源，以及配套的工业机器人教学装备，构建了立体化的工业机器人教学体系。

(3) 通俗易懂，实用性强。该系列图书言简意赅，图文并茂，既可用于应用型本科、职业院校和技工院校的工业机器人应用型人才培养，也可供从事工业机器人操作、编程、运行、维护与管理等工作的技术人员参考学习。

(4) 覆盖面广，应用广泛。该系列图书介绍了国内外主流品牌机器人的编程、应用等相关内容，顺应国内机器人产业人才发展需要，符合制造业人才发展规划。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书结合实际应用，教、学、用有机结合，有助于读者系统学习工业机器人技术和强化提高实践能力。本系列图书的出版发行，必将提高我国工业机器人专业的教学效果，全面促进“中国制造 2025”国家战略下我国工业机器人技术人才的培养和发展，大力推进我国智能制造产业变革。

中国工程院院士



2017年6月于哈尔滨工业大学



## 序 二

自出现至今短短几十年中，机器人技术的发展取得长足进步，伴随产业变革的兴起和全球工业竞争格局的全面重塑，机器人产业发展越来越受到世界各国的高度关注，主要经济体纷纷将发展机器人产业上升为国家战略，提出“以先进制造业为重点战略，以‘机器人’为核心发展方向”，并将此作为保持和重获制造业竞争优势的重要手段。

作为人类在利用机械进行社会生产史上的一个重要里程碑，工业机器人是目前技术发展最成熟且应用最广泛的一类机器人。工业机器人现已广泛应用于汽车及零部件制造，电子、机械加工，模具生产等行业以实现自动化生产线，并参与焊接、装配、搬运、打磨、抛光、注塑等生产制造过程。工业机器人的应用，既保证了产品质量，提高了生产效率，又避免了大量工伤事故，有效推动了企业和社会生产力发展。作为先进制造业的关键支撑装备，工业机器人影响着人类生活和经济发展的方方面面，已成为衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。

伴随着工业大国相继提出机器人产业政策，如德国的“工业 4.0”、美国的先进制造伙伴计划、中国的“‘十三五’规划”与“中国制造 2025”等国家政策，工业机器人产业迎来了快速发展态势。当前，随着劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，中国制造业转型升级迫在眉睫。全球新一轮科技革命和产业变革与中国制造业转型升级形成历史性交汇，中国已经成为全球最大的机器人市场。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势、推动工业转型升级、加快制造强国建设、改善人民生活水平具有深远意义。

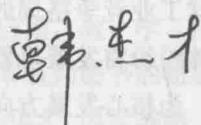
我国工业机器人产业迎来爆发性的发展机遇，然而，现阶段我国工业机器人领域人才储备数量严重不足，对企业而言，从工业机器人的基础操作维护人员到高端技术人才普遍存在巨大缺口，缺乏经过系统培训、能熟练安全应用工业机器人的专业人才。现代工业是立国的基础，需要有与时俱进的职业教育和人才培养配套资源。

“工业机器人技术专业‘十三五’规划教材”系列图书由江苏哈工海渡工业机器人有限公司联合众多高校和企业共同编写完成。该系列图书依托于哈尔滨工业大学的先进机器人研究技术，综合企业实际用人需求，充分贯彻了现代应用型人才培养“淡化理论，技能培养，重在运用”的指导思想。该系列图书既可作为工业机器人技术或机器人工程专业的教材，也可作为机电一体化、自动化专业开设工业机器人相关课程的教学用书；系列图书

涵盖了国际主流品牌和国内主要品牌机器人的入门实用、实训指导、技术基础、高级编程等系列教材,注重循序渐进与系统学习,强化学生的工业机器人专业技术能力和实践操作能力。

该系列教材“立足工业,面向教育”,填补了我国在工业机器人基础应用及高级应用系列教材中的空白,有助于推进我国工业机器人技术人才的培养和发展,助力中国智造。

中国科学院院士



2017年6月



# 前 言



机器人是先进制造业的重要支撑装备，也是未来智能制造的关键切入点。工业机器人作为机器人家族中的重要一员，是目前技术最成熟、应用最广泛的一类机器人。工业机器人的研发和产业化应用是衡量科技创新和高端制造发展水平的重要标志。发达国家已经把工业机器人产业发展作为抢占未来制造业市场、提升竞争力的重要途径。在汽车工业、电子电器行业、工程机械等众多行业大量使用工业机器人自动化生产线，在保证产品质量的同时，改善了工作环境，提高了社会生产效率，有力地推动了企业和社会生产力的发展。

当前，随着我国劳动力成本上涨，人口红利逐渐消失，生产方式向柔性、智能、精细转变，构建新型智能制造体系迫在眉睫，对工业机器人的需求呈现大幅增长。大力发展工业机器人产业，对于打造我国制造业新优势，推动工业转型升级，加快制造强国建设，改善人民生活水平具有深远意义。《中国制造 2025》将机器人作为重点发展领域的总体部署，推动了机器人产业发展上升到国家战略层面。

在全球范围内的制造产业战略转型期，我国工业机器人产业迎来爆发性的发展机遇。作为工业常用的一种机器人，SCARA 机器人广泛应用于多种行业。然而，现阶段我国工业机器人领域人才供需失衡，缺乏经系统培训的、能熟练安全使用和维护工业机器人的专业人才。针对以上现状，为了更好地推广机器人技术的运用，亟需编写一本系统、全面的 SCARA 机器人入门实用教材。

本书针对 SCARA 机器人，结合工业机器人离线编程系统和江苏哈工海渡工业机器人有限公司的 HRG-HD1XKS 型 SCARA 机器人技能考核实训台，遵循“由简入繁，软硬结合，循序渐进”的编写原则，依据初学者的学习需要科学地设置知识点，结合实训台典型实例讲解，倡导实用性教学，有助于激发学习兴趣，提高教学效率，便于初学者在短时间内全面、系统地了解工业机器人操作的常识。

本书图文并茂，通俗易懂，实用性强，既可以作为普通高校及中高职院校机电一体化、电气自动化及机器人等相关专业的教学和实训教材，以及工业机器人培训机构的培训教材，也可以作为 SCARA 机器人入门培训的初级教程，供从事相关行业的技术人员参考。

机器人技术专业具有知识面广、实操性强等显著特点，为了提高教学效果，在教学方法上，建议采用启发式教学，开放性学习，重视实操演练、小组讨论；在学习过程中，建议结合本书配套的教学辅助资源，如：机器人编程软件、工业机器人实训台、教学课件及视频素材、教学参考与拓展资料等，以上资源可通过书末所附“教学资源获取单”咨询获取。

本书由哈工大机器人（合肥）国际创新研究院的于振中和哈工海渡机器人学院的张明文主编。李晓聪和王欣任副主编，参加编写的还有王伟、顾三鸿等，由于振中和霰学会担任主审。全书由李晓聪和王欣统稿，具体编写分工如下：王伟编写第1章；顾三鸿编写第2章；李晓聪编写第3章；王欣编写第4章。本书编写过程中，得到了哈工大机器人集团、爱普生（中国）有限公司上海分公司和雅马哈发动机智能机器（苏州）有限公司的有关领导、工程技术人员，以及哈尔滨工业大学相关教师的鼎力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足，敬请读者批评指正。

编者

2017年7月



# 目 录

<b>第 1 章 SCARA 机器人概述</b> .....	1
1.1 SCARA 机器人的定义和特点 .....	1
1.2 SCARA 机器人的发展概况 .....	2
1.2.1 国外发展概况 .....	2
1.2.2 国内发展概况 .....	3
1.2.3 发展趋势 .....	3
1.2.4 品牌简介 .....	4
1.3 SCARA 机器人的应用 .....	8
思考题 .....	9
<b>第 2 章 SCARA 机器人的基础知识</b> .....	10
2.1 基本组成 .....	10
2.2 自由度 .....	11
2.3 坐标系 .....	13
2.4 主要技术参数 .....	15
2.5 安全操作注意事项 .....	19
2.6 SCARA 机器人项目实施流程图 .....	20
思考题 .....	20
<b>第 3 章 EPSON SCARA 机器人基础操作</b> .....	21
3.1 LS3-401S 的组成及安装 .....	21
3.1.1 机器人本体 .....	22
3.1.2 控制器 .....	27
3.1.3 电缆线连接 .....	29
3.1.4 首次组装机器人 .....	32

3.2	RC+7.0 简介及控制器连接	35
3.2.1	RC+7.0 简介及下载	35
3.2.2	计算机与控制器连接	45
3.3	手动操作	48
3.3.1	电机上电与下电	48
3.3.2	状态重置	52
3.3.3	重置编码器及原点校准	53
3.3.4	关节运动	56
3.3.5	线性运动	58
3.3.6	软件示教	59
3.3.7	拖动示教	62
3.3.8	工具坐标系	64
3.3.9	本地坐标系	73
3.4	机器人输入输出	83
3.4.1	输入输出简介	83
3.4.2	输入输出接口	83
3.4.3	输入输出硬件电路	85
3.4.4	输入输出信号线连接	87
3.4.5	输入输出标签	88
3.5	编程基础	90
3.5.1	数据类型	90
3.5.2	程序结构	92
3.5.3	常用指令	93
3.6	编程实例	100
3.6.1	实例 1: 直线运动	100
3.6.2	实例 2: 圆弧运动	110
3.6.3	实例 3: 输送带搬运	120

## 第 4 章 YAMAHA SCARA 机器人基础操作 130

4.1	水平关节机器人组成及安装	130
4.1.1	机器人组成	130
4.1.2	主要技术参数	136
4.1.3	机器人安装	137
4.1.4	控制器的配线连接	139

4.2 编程软件介绍及控制器连接 .....	145
4.2.1 RCX-Studio 软件介绍 .....	145
4.2.2 控制器与计算机连接 .....	155
4.3 手动操作 .....	160
4.3.1 基准坐标 .....	160
4.3.2 伺服上电与断电 .....	161
4.3.3 原点复归 .....	163
4.3.4 单轴运动 .....	165
4.3.5 直线运动 .....	166
4.3.6 软件示教 .....	167
4.3.7 拖动示教 .....	169
4.3.8 机械手标定 .....	172
4.3.9 新建位移 .....	179
4.4 机器人输入输出 .....	184
4.4.1 输入输出概述 .....	184
4.4.2 输入输出 .....	186
4.5 基础编程 .....	190
4.5.1 数据类型 .....	190
4.5.2 程序基础知识 .....	192
4.5.3 常用指令 .....	192
4.6 编程实例 .....	194
4.6.1 实例 1: 直线运动 .....	194
4.6.2 实例 2: 圆弧运动 .....	204
4.6.3 实例 3: 输送带搬运 .....	214

参考文献 .....	223
------------	-----





# 第 1 章

# SCARA 机器人概述

环境艺术设计(第2版)

## 1.1 SCARA 机器人的定义和特点

SCARA (selective compliance assembly robot arm) 机器人具有选择顺应性装配机器人手臂,它是一种平面多关节型工业机器人,也是应用较广泛的一种机器人构型。



\* SCARA 机器人的定义和特点

在结构上,SCARA 机器人具有串联配置的 2 个能够在水平面内旋转的机械臂,其作业空间为圆柱体。它依靠 2 个旋转关节实现  $XY$  平面内的快速定位和定向,依靠 1 个移动关节和 1 个旋转关节在  $Z$  方向上做伸缩和旋转运动,如图 1.1 所示。这种结构特性使得 SCARA 机器人擅长从一点抓取物体,然后快速地安放到另一点。

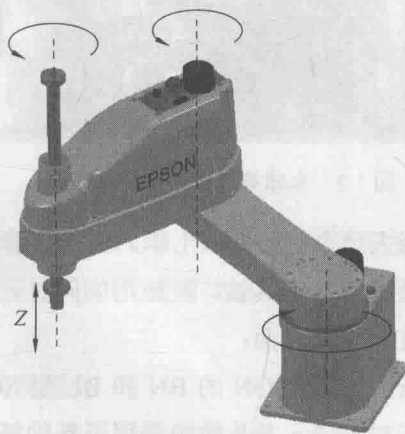


图 1.1 SCARA 机器人

SCARA 机器人的特点有:

- (1) 在水平方向上的运动具有较大的柔性,而垂直方向具有很强的刚性。
- (2) 结构紧凑,工作空间利用率大。

- (3) 动作灵活, 速度快, 重复精度高, 工作效率高。
- (4) 操作方便, 具有多种安装方式。
- (5) 部件少, 制造成本低, 易拆装维护。

## 1.2 SCARA 机器人的发展概况

### 1.2.1 国外发展概况

全球第一台 SCARA 机器人诞生于 1978 年, 由日本山梨大学的牧野洋发明, 如图 1.2 所示, 该机器人具有 4 个轴和 4 个运动自由度, 包括沿 X、Y、Z 方向的平移和绕 Z 轴的旋转自由度。



\* SCARA 机器人的发展概况

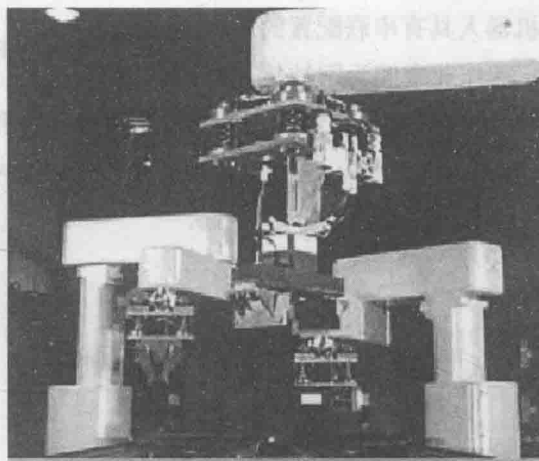


图 1.2 全球第一台 SCARA 机器人

从日本发明 SCARA 机器人至今已经近四十年, 但其凭借结构及应用优势仍被认为是自动化生产中不可或缺的重要元素。在其被广泛应用的同时, SCARA 机器人也得到了更多的发展与改进, 具体表现在以下几方面:

(1) 在机械制造方面的改进。EPSON 的 BN 和 BL 型 SCARA 机器人的设计都将与之配合的驱动齿轮组放在 J1、J2 轴上, 其齿轮组采用了新的精密铸造方法, 在减轻整个机械臂质量的同时, 还能在速度、可靠性、耐久性方面获得明显的改进。

(2) 在负载方面的突破性进展。EPSON 公司生产的 E2H853 型重型 SCARA 机器人最大负载可以达到 20 kg, 并拥有较小的惯性动量。

(3) 在体积和质量方面的改进。2013 年初, EPSON 发布了新款 H8 机器人, 这是目前 450~650 mm 臂长的 SCARA 机器人中体积最小、质量最轻的机型之一。

(4) 在移动小型、微型、超微型的物品等精密应用方面也有不小的收获。日本 YAMAHA 公司生产的 SCARA 机器人最小臂展为 120 mm, 重复定位精度高达  $\pm 0.005$  mm, 可应用于超微型、高精密场合。

综上所述, 新一代的 SCARA 工业机器人不仅采用了智能技术、流线型的部件, 而且在其他方面的性能, 如高精密合金材料、最大负载、最大合成速度、重复定位精度、简洁的电缆和更小的空间需要等方面都有了很大提升。

### 1.2.2 国内发展概况

由于国内工业机器人发展起步比较晚, 受较多关键技术的影响, SCARA 机器人的发展也受其影响。

1992 年, 熊猫电子集团有限公司设计制造了我国第一台 SCARA 机器人。

1995 年, 上海交通大学研制出了我国第一台高性能精密装配机器人——“精密 1 号”, 它是在国家“863”计划“智能机器人”主题下研制的一台 4 轴 SCARA 装配机器人。该机器人采用直接驱动技术, 减少了减速器等造成的传动误差, 具有较高的运动速度和定位精度, 并配有高性能的视觉和力觉传感器以及多任务操作系统, 可进行离线编程。

### 1.2.3 发展趋势

SCARA 机器人的发展趋势主要有: 结构的模块化和可重构化、控制技术的开放化、多传感器融合技术的实用化、伺服驱动技术的数字化和人机协作。

#### ➤ 结构的模块化和可重构化

机械结构向模块化可重构化发展。例如关节模块中的伺服电机、减速机、检测系统三位一体化, 将关节模块、连杆模块用重组方式构造机器人整机。国外已有模块化装配机器人产品问世。

#### ➤ 控制技术的开放化

SCARA 机器人控制系统向基于 PC 机的开放型控制器方向发展, 便于标准化、网络化; 器件集成度提高, 控制器日见小巧, 且采用模块化结构, 大大提高了系统的可靠性、易操作性和可维修性。

#### ➤ 多传感器融合技术的实用化

SCARA 机器人中的传感器作用日益重要, 除采用传统的位置、速度、加速度等传感器外, 装配、焊接机器人还应用了视觉、力觉等传感器。视觉、声觉、力觉、触觉等多传感器的融合配置技术在产品化系统中已有成熟应用。

#### ➤ 伺服驱动技术的数字化

数字控制技术取代模拟控制电路在伺服系统中是一种必然趋势。以模拟电子器件为主的伺服控制单元将会被采用全数字处理器的伺服控制单元全面取代。在伺服控制方面将逐

步转变为软件控制,以便在伺服系统中应用现代先进的控制方法。数字化控制相比传统控制方法,在响应速度和运动精度等方面得到了全面提升。

### ► 人机协作

近年来 SCARA 机器人(图 1.3)在人机协作方面取得了突破性进展,SCARA 机器人更加柔性化,采用引导式编程,降低了对系统集成技术人才的要求,便于自动化生产线改造。



图 1.3 Kawasaki duAro 协作机器人

## 1.2.4 品牌简介

SCARA 机器人的市场份额占有率较大的品牌主要有 EPSON 和 YAMAHA。

### ► EPSON

#### 1. 概述

EPSON 作为 SCARA 机器人全球市场占有率第一的公司,是世界上最早研究 SCARA 机器人的企业之一,其 SCARA 机器人因其高精度、高速度等优点而非常适合精密装配工作。EPSON SCARA 机器人的机械臂全长范围为 175~1 000 mm,最大负载可达 20 kg, J1 轴+J2 轴重复定位精度多为  $\pm 0.005 \text{ mm} \sim \pm 0.01 \text{ mm}$ ,并且分别针对粉尘环境和洁净环境开发了多个型号,因此用途广泛。

EPSON 于 2008 年在中国设立 FA 事业部门,2009 年开始 SCARA 机器人的营销推广,2010 年底在深圳启动了 EPSON 机器人在海外唯一的生产基地,目前在珠三角和长三角地区有多家代理商。截至 2013 年底,EPSON 机器人中国的装机量已超过 5 000 台,其中大部分为 SCARA 机器人。EPSON SCARA 机器人在中国主要应用于电子制造行业,除此之外,还应用于汽车零部件、光伏、食品、医药等行业。