

安川工业机器人应用工程师精通系列

工业机器人

编程高手教程

付少雄 编著

安川工业机器人实用应用技术必读
提升就业技能，赢得更好工作机会

学习交流QQ群428167524

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



安川工业机器人应用工程师精通系列

工业机器人编程高手教程

付少雄 编著



机械工业出版社

本书从工业机器人集成项目的角度出发,介绍安川工业机器人的机器人本体和柜体,并以安川工业机器人DX系列柜体的硬件(电气图、各个单元)为例,对常用和特殊功能(如宏命令、中断程序、结构化语言等)、编程命令、机器人基板的使用等做了全面、深入浅出的讲解,同时结合具体的程序实例来介绍编程命令及参数设置,加深对编程命令的理解。

通过本书的学习,读者能更熟练、科学地操作安川工业机器人,掌握和编程作业相关的每一项具体操作方法,从而对安川工业机器人软件、硬件有一个全面的认识。

本书可供工业机器人项目集成设计、应用的工程师,以及高等院校机械、电气控制、自动化及机电一体化等专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人编程高手教程 / 付少雄编著. —北京: 机械工业出版社, 2019.2

安川工业机器人应用工程师精通系列

ISBN 978-7-111-61617-7

I. ①工… II. ①付… III. ①工业机器人—程序设计—教材
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第287730号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 周国萍 责任编辑: 周国萍 张丹丹

责任校对: 王欣 责任印制: 孙炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2019年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9印张·1插页·176千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-61617-7

定价: 49.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

目前，中国制造业面临着向高端转变、承接国际先进制造、参与国际分工的巨大挑战，加快工业机器人技术的研究、开发与应用是抓住这个历史机遇的主要途径。工业机器人已广泛应用于点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运、包装、码垛等领域。工业机器人的普及是实现自动化生产、提高社会生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。

在发达国家中，工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电器行业、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量，提高生产效率，同时避免工伤事故。

本书从工业机器人集成项目的角度出发，介绍安川工业机器人的机器人本体和柜体，并以 DX 系列柜体的硬件（电气图、各个单元）为例，对常用和特殊功能（如宏命令、中断程序、结构化语言等）、编程命令、机器人基板的使用等做了全面、深入浅出的讲解，同时结合具体的程序实例来介绍编程命令及参数设置，加深对编程命令的理解。

本书具有以下几方面的特点：

1. 采用来自一线的典型案列

本书使用的案例是已经完成并投入生产的项目，以实际的项目来做讲解，更容易理解和上手。

2. 章节按由易到难的方式编排

本书根据作者多年实践与研发经验，并结合读者的反馈信息，来安排各章节的内容、结构等，使其符合学习者的认知规律，并在每章最后安排知识扩展与提升。

3. 注重能力的培养

本书的思想是授之以渔，让读者自己去实践，而不是纸上谈兵。

4. 内容全面，剪裁得当

书中内容全面具体，不留死角，适合有不同需求的读者。为了在有限的篇幅中，提高知识集中度，对所讲述的知识点进行了剪裁。具体采取的方法有两点：一，对安川工业机器人的软硬件逐一进行介绍，不对知识点进行重复性介绍；二，次要、生僻的知识点，只做简单说明，这样既节省了篇幅，也提高了读者的学习效率。

5. 例解与图解配合使用

本书最大的特点就是“例解 + 图解”。所谓“例解”是指抛弃传统知识点铺陈的方法，

直接让读者自己动手操作，使本书的操作性强，更容易上手，符合现在读者的需求，也避免枯燥。“图解”是指多图少字，图文结合，使本书的可读性大大提高。

通过本书的学习，读者能更熟练、科学地操作安川工业机器人，掌握和编程作业相关的每一项具体操作方法，从而对安川工业机器人软件、硬件有一个全面的认识。

为便于一线读者学习和理解，本书一些术语保留了企业习惯。

因编著者水平有限，书中难免有错漏和不当之处，恳请广大读者批评指正，并欢迎您对本书提出宝贵意见和建议。

编著者

目 录

CONTENTS

前 言

第 1 章	安川机器人概述	1
1.1	本体.....	3
1.2	柜体.....	5
1.3	安川机器人的选型.....	9
1.4	知识扩展与提升.....	12
第 2 章	安川机器人控制柜	19
2.1	DX 系列控制柜.....	21
2.2	DX100 控制柜 PCB 详解.....	22
2.2.1	电源输入部件.....	25
2.2.2	基本轴控制板.....	26
2.2.3	CPU 单元.....	26
2.2.4	CPS 单元.....	27
2.2.5	制动板.....	29
2.2.6	I/O 单元.....	29
2.2.7	机械安全部件.....	30
2.3	知识扩展与提升.....	31
第 3 章	安川机器人编程基础	34
3.1	安川机器人的 INFORM III 语言.....	35
3.2	安川机器人编程的基本知识储备.....	38
3.2.1	I/O 板的认识.....	39
3.2.2	I/O 板连接外部设备的注意事项.....	40
3.3	知识扩展与提升.....	42
第 4 章	编程流程图	47
4.1	流程图.....	47
4.2	编程流程示意图.....	48
4.2.1	大框架.....	48
4.2.2	小框架.....	50
4.2.3	汇总.....	52
4.2.4	论证.....	53

4.2.5 编制编程流程图	54
4.3 知识扩展与提升	57
第5章 安川机器人编程进阶	60
5.1 程序结构	60
5.2 结构化语言	62
5.2.1 结构化语言的处理结构和操作	62
5.2.2 结构化语言嵌套	65
5.3 常用选项功能的应用	66
5.3.1 伺服浮动	66
5.3.2 检索功能	78
5.3.3 定型切割功能	82
5.3.4 中断程序	91
5.3.5 宏命令	94
5.4 安川机器人常用的小功能	103
5.4.1 可名称指定功能	103
5.4.2 节能功能	105
5.4.3 信号输出定时指定功能	105
5.4.4 程序行注释功能	106
5.5 安川机器人视觉功能	107
5.6 知识扩展与提升	113
第6章 程序的优化	134
6.1 安川程序优化概述	134
6.2 知识扩展与提升	135
附录	138
附录 A 点检表	138
附录 B DX 100 电路总图	见书后插页
附录 C DX 200 电路总图	见书后插页

第 1 章

安川机器人概述

本章目标

- ★ 了解安川机器人的基本特点；
- ★ 清楚安川机器人的运动自由度；
- ★ 知道安川机器人的示教再现；
- ★ 学会安川机器人在实际应用中的选型步骤。

工业机器人行业有着深厚的历史基础，其在 20 世纪 50 年代萌芽于美国，经过不断的精进发展，相关衍生设备已被广泛地应用于人类社会诸多领域。正如计算机技术一样，机器人技术正日益改变着人们的生产方式，以及今后的生活方式。同时，工业机器人作为先进制造业中不可替代的重要装备，已成为衡量一个国家制造业水平和科技水平的重要标志之一。

目前我国经济社会发展正处于加速转型升级的重要时期，以工业机器人为主体的机器人产业，正是解决我国产业成本上升、环境制约等问题的重要途径。中国工业机器人市场近年来呈现迅猛的发展趋势，市场容量不断扩大。工业机器人产业的发展热潮带动机器人产业园不断设立，产业的发展急需大量高素质、高技能的专业人才，人才短缺已经成为产业发展的瓶颈。

我国机器人工业相对于欧美等国家起步晚，基础薄弱，技术不够成熟。正因如此，更要“师夷长技以自强”，结合中国国情发展出具有中国特色的机器人工业。

众所周知，工业机器人行业中日本、美国、韩国、欧洲是全球工业机器人市场的传统领导者，素有工业机器人“四大家族”之称的发那科和安川（日本）、ABB（瑞士）、库卡（德国）的商标如图 1-1 所示。

各大品牌厂家在经历了大浪淘沙般的时代变革依旧屹立不倒，其背后原因值得深思。本章将对其中进入中国市场较晚、发展潜力巨大的日本安川工业机器人（以下简称安川机器人）进行概述。

安川电机创立于 1915 年，是日本最大的工业机器人公司，其总部位于福冈县北九州市。1977 年，安川电机运用自主研发的运动控制技术生产了日本第一台全电气化的工业用机器

人，此后相继开发了焊接、装配、喷漆、搬运等各种各样的自动化作业机器人，并一直引领着全球产业用机器人市场。安川机器人如图 1-2 所示。



图 1-1



图 1-2

安川电机公司生产的伺服和运动控制器均为制造工业机器人的关键零件。安川电机掌握的核心科技源于近百年企业专业电气技术的历史底蕴，这让安川电机在机器人开发方面有着独特优势。安川电机的核心工业机器人产品包括点焊和弧焊机器人、喷漆和后期处理机器人、LCD 玻璃板搬运机器人和半导体芯片搬运机器人等。安川电机是将工业机器人应用到半导体生产领域最早的厂商之一。

安川电机以制造电机起家，把电机惯量控制技术做到了世界一流水平。安川机器人最大的特点就是负载大，稳定性高，可在满负载、满速度甚至过载状态下运行。因此，安川在重负载机器人应用领域（如汽车行业）份额较大，但在精度方面略逊于其他三大家族品牌。

1.1 本体

什么叫机器人本体呢？

在弄清楚这个问题之前，要先学会区分机械臂和工业用机器人。

机械臂是指以相互连接的关节构成，以抓取或移动对象（如产品、工具等）为目的的机械。

工业用机器人是指安装了自动化控制、再生程序等辅助功能软件系统，拥有3轴以上操作功能的机械，具有机械臂及记忆装置，根据记忆装置的信息控制机械臂伸缩、回转、上下移动，或能自动执行以上复合动作。

本体就是机械臂，一般来说，机器人在空间内能移动到任意位置，可做任意的姿势。

所以，互相独立的3个自由度，能在空间内移动到任意的位置上；要想在空间内能取得任意的姿势，共需要6个自由度。自由度在业界统称为轴，有多少个自由度的机器人就叫多少轴机器人。

下面以标准6轴MH系列安川机器人的轴为例介绍机器人轴的构成，如图1-3所示。

基本3轴：S轴（旋转，Swing）、L轴（下臂，Lower Arm）、U轴（上臂，Upper Arm）。

手腕3轴：R轴（手腕旋转，Wrist Rotation）、B轴（手腕弯曲，Wrist Bending）、T轴（手腕转动，Wrist Turning）。

如前文所述，要想在空间内取得任意的位置和姿势，必须配置6个轴。但是一些特殊情况除外，如使用机器人搬运、堆叠工件时，则不需要旋转、颠覆工件，这时虽然6轴机器人也可以完成相关任务，但4轴、5轴机器人的完成度会更专业和高效。所以在选型过程中，需要从多个方面综合考虑衡量，选择最合适的机器人完成工作。

要让机器人顺利转动需要什么软硬件呢？使机器人转动所需要的四大要素：①伺服电动机；②电动机的驱动程序（伺服包）；③减速机；④机械臂（承担本体和负载总重量的铸铁构件），如图1-4所示。

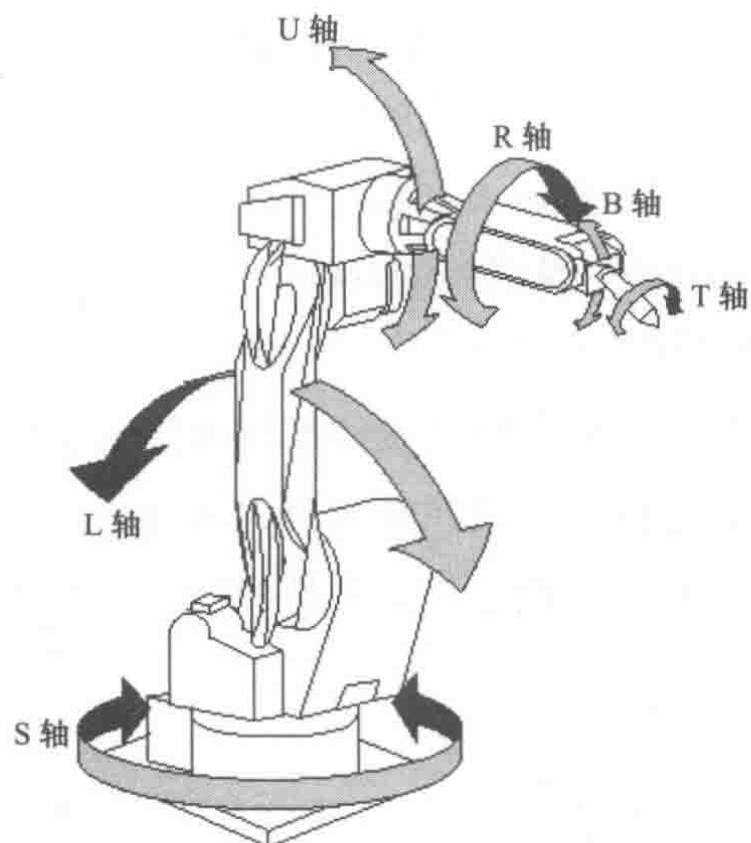


图 1-3

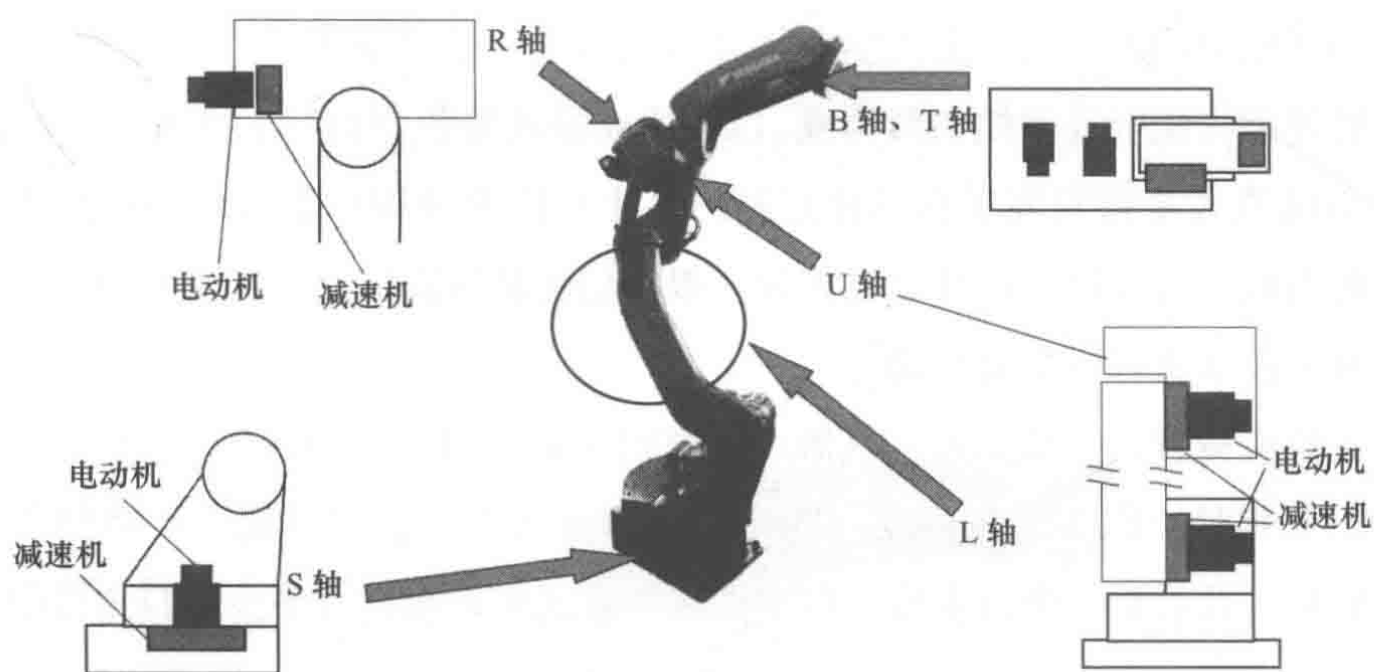


图 1-4

减速机前后速度与力度的关系如图 1-5 所示。

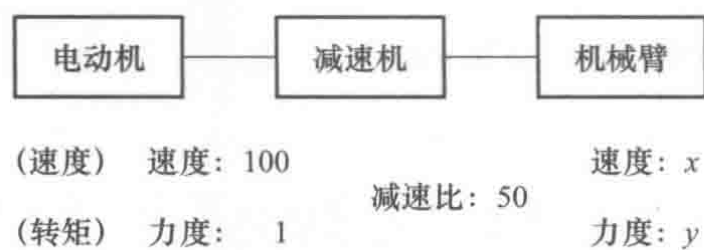


图 1-5

根据图 1-5 所示数据, 计算公式如下:

速度: $x=100/50=2$;

力度: $y=1 \times 50=50$ 。

另外, 在安川机器人中, 使用以下减速比:

基本 3 轴：150 左右；

手腕 3 轴：50 ~ 100。

安川机器人电动机转一圈是 4096 个脉冲。

如图 1-6 所示，安川机器人的构造可大致分为以下几大类：

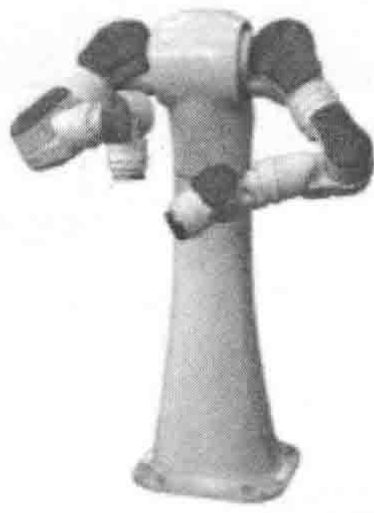
安川机器人 { 水平多关节型——液晶、半导体基板搬运系列
垂直多关节型——MH 系列、MPL 系列、MS 系列、MA 系列等
其他——如双臂、蜘蛛形等



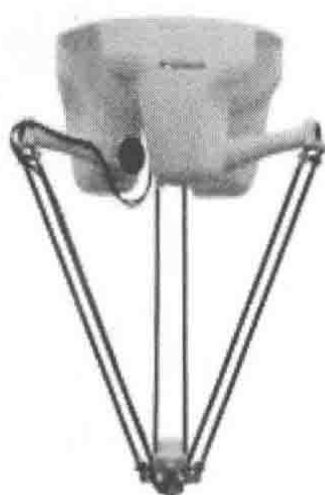
液晶玻璃面板搬运机器人



MH12 机器人



双臂机器人



蜘蛛形机器人

图 1-6

1.2 柜体

机器人柜体是机器臂控制的中枢系统。

工业机器人的控制技术是在传统机械系统的控制技术基础上发展起来的，因此两者之间并无本质差异。但是工业机器人的控制系统也有许多特殊之处，其特点如下：

1) 工业机器人有若干个关节，典型工业机器人有五六个关节，每个关节由一个伺服系统控制，多个关节的运动要求各个伺服系统协同工作。

2) 工业机器人的工作任务是要求机器人的手部（第六轴）进行空间点位运动或连续轨迹运动，对工业机器人的运动控制需要进行复杂的坐标变换运算，以及矩阵函数的逆运算。

3) 工业机器人的数学模型是一个多变量、非线性和变参数的复杂模型，各变量之间还存在着耦合关系，因此工业机器人的控制中经常会使用到前馈、补偿、解耦合自适应等复杂控制技术。

4) 较高级的工业机器人（自学习功能）能对环境条件、控制指令进行测定和分析，利用计算机建立庞大的信息库，用人工智能的方法进行控制、决策、管理和操作，按照既定的要求，自动选择最佳控制规律。

安川机器人控制柜（以 DX200 为例）的外部结构如图 1-7 所示。其内部结构如图 1-8 所示。

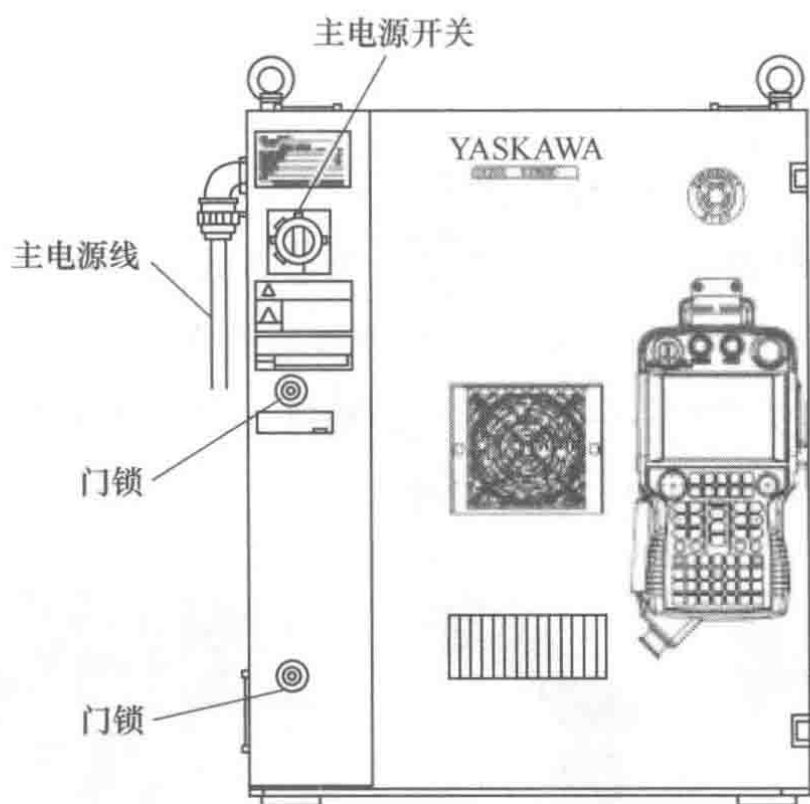


图 1-7

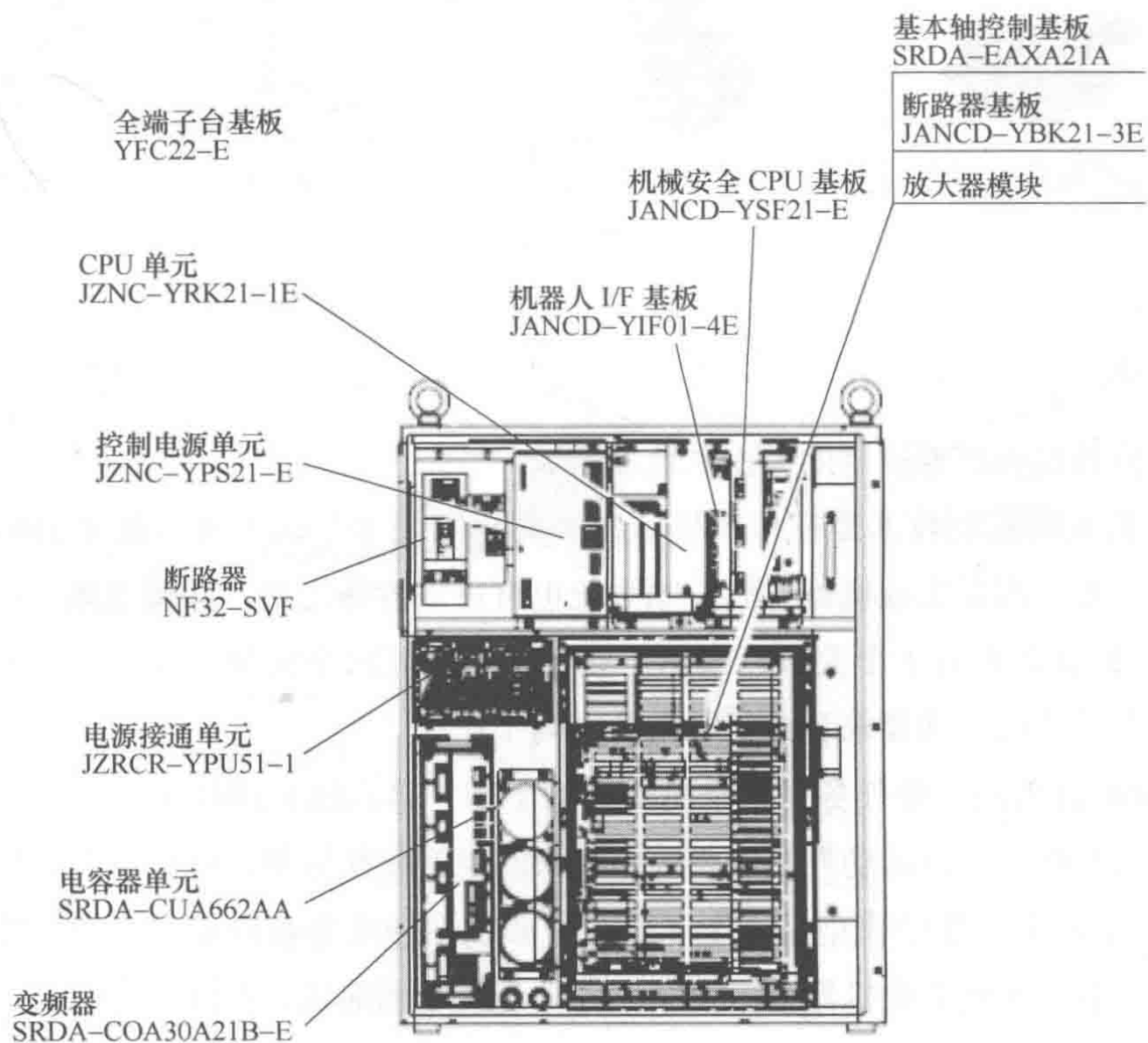


图 1-8

工业机器人控制系统的基本功能包括：

1) 对工业机器人的位置、速度、加速度等具有控制功能，对于连续轨迹运动的工业机器人，还必须具有轨迹的规划与控制功能。

2) 方便的人机交互功能。操作人员采用指令代码对工业机器人进行作用指示，所以工

业机器人需具有作业指示的记忆、修正和运行程序跳转等功能。

3) 具有对外部环境（包括作业条件）的检测和感知功能。为使工业机器人具有适应外部状态变化的能力，工业机器人应能做到对诸如视觉、力觉、触觉等有关信息进行收集、测量、识别、判断和理解等工作。在自动化生产线中，工业机器人应有与其他设备交换信息、协调工作的能力。

在满足以上要求的同时，因安川机器人的控制系统具有亚洲思维（库卡和西门子为欧洲思维）的编程方式，上手更快，对信息的交互更具人性化，其界面如图 1-9 所示。

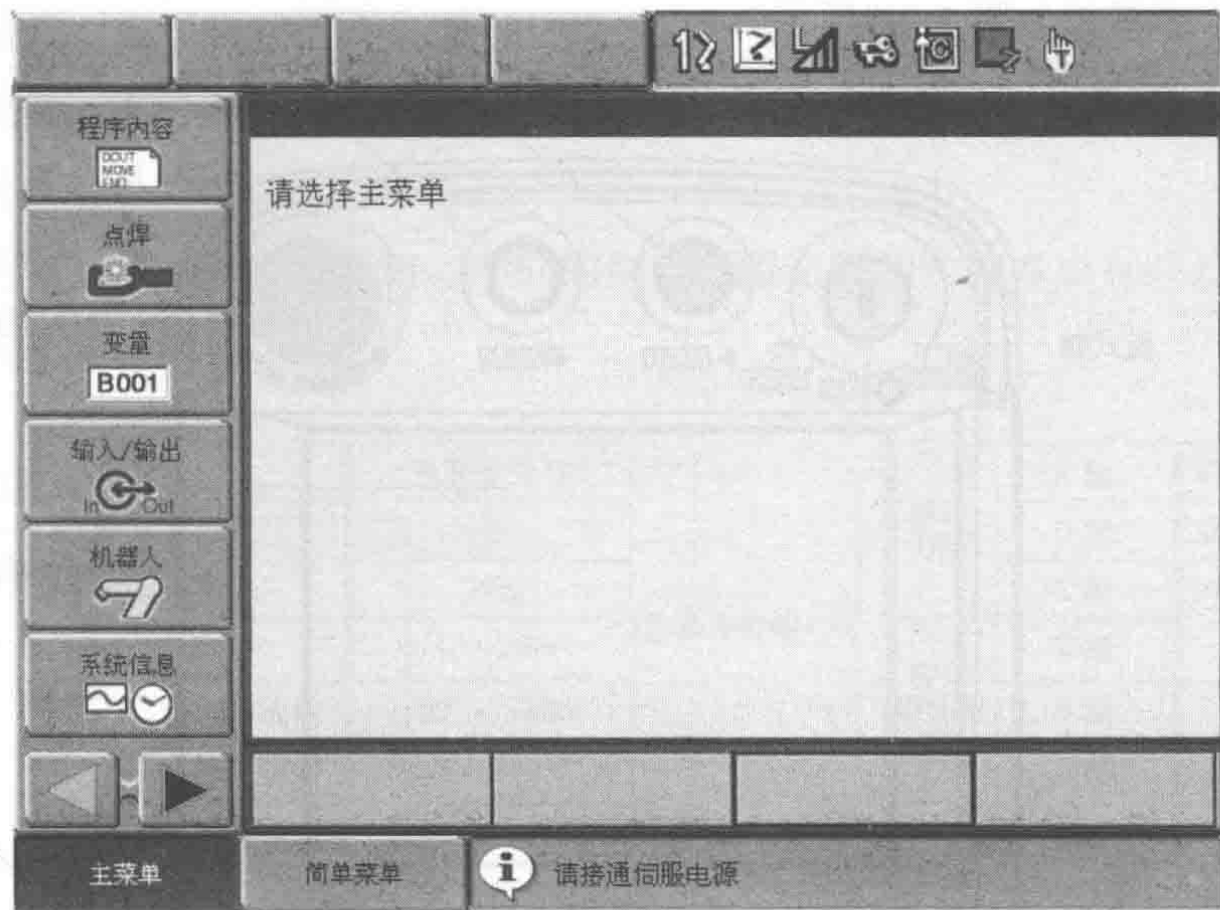


图 1-9

安川机器人控制柜的特征如下：

- 1) 一般机械以控制自身为中心，但工业用机器人把重点放在对象物体上。
- 2) 编程手段采用示教（Teaching）方式，会忠实地按照示教再现动作，被称为示教再现方式。
- 3) 考虑到机械臂本身的多轴性、低刚性、惯性等本体特征差异比较大，所以要求采用动作控制的编程方式。

在安川机器人中：

- 1) 示教记录机器人动作或有目的的工作内容称为“示教”。
- 2) 重现记忆数据并按照示教的条件动作的称为“再现”。

这就是常说的示教再现。示教再现是机器人普遍采用的编程方式，典型的示教过程是依靠操作员观察机器人及其夹持工具相对于作业对象的姿态，通过对示教器的操作，反复调整示教点处机器人的作业姿态、运动参数和工艺条件，然后将满足作业要求的这些数据记录下来，再转入下一程序点的示教。除此之外的编程方式就是离线示教编程，安川机器人离线编程软件是 MotoSimEG-VRC。

在使用安川机器人的过程中进行示教再现需要使用示教编程器。示教编程器（以下简称示教器，安川机器人官方称为PP）是应用工具软件与用户（机器人）之间的接口操作装置，是用户进行示教编程的工具。示教器通过电缆与控制柜连接。在机器人点动进给、程序创建、程序的测试执行、操作执行和姿态确认等操作时都会使用示教器。

安川机器人示教器有以下特点：

- 1) 装有用来控制动作的操作键。
- 2) 装有 LCD 显示装置，能显示登录在储存器中的各种情报、系统的动作状态等。

安川机器人示教器如图 1-10 所示。

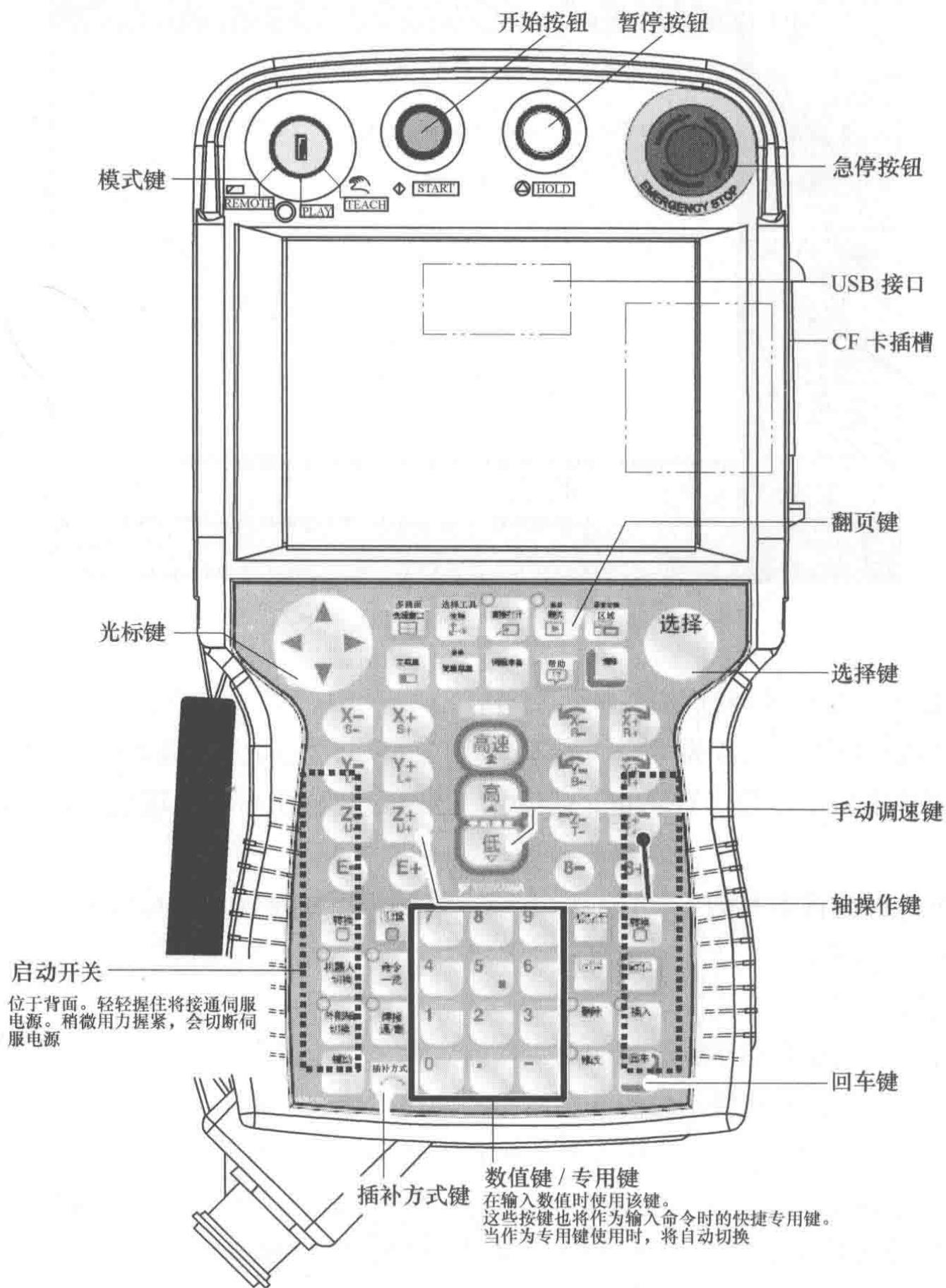


图 1-10

1.3 安川机器人的选型

在购买家电或汽车等产品时，常会先看产品目录，确认它的规格后再做选择。规格大都以表的形式呈现，通常被称作规格表。如果读懂了规格表，就能够了解这个产品的主要功能及特点，从而根据自己的需求进行选型。

同样的道理，对于机器人，读懂了目录或外形图上规格表所记载的内容，就能了解机械臂的主要规格。通过比较安川机器人与其他机器人的不同之处，甚至能知道怎样选择机械臂。下面将对规格表的内容进行说明。

规格表内记载了机械臂的规格。不同的制造方所记载的内容多少有些差异，图 1-11 所示为安川机器人的规格表。

①构造	动作形态	垂直多关节	⑦容许负载	容许力矩	R 轴	50.0N·m(5.1kgf·m)	
②轴数	控制轴	6			B 轴	50.0N·m(5.1kgf·m)	
③可搬运质量	可搬运质量	24kg			T 轴	30.4N·m(3.1kgf·m)	
④精度	重复定位精度	±0.06mm		容许惯性矩 ($GD^2/4$)	R 轴	2.1kg·m ²	
⑤动作范围	动作范围	S 轴(旋转)	-180° ~ +180°		B 轴	2.1kg·m ²	
		L 轴(下臂)	-105° ~ +155°		T 轴	1.1kg·m ²	
		U 轴(上臂)	-170° ~ +240°	机器人质量		268kg	
		R 轴 (手腕旋转)	-200° ~ +200°	设置环境	温度	0~45℃	
		B 轴 (手腕弯曲)	-150° ~ +150°		相对湿度	20%~80% (不应有结露现象)	
		T 轴 (手腕回转)	-455° ~ +455°		振动	4.9m/s ² (0.5g) 以下	
⑥动作速度	最大动作速度	S 轴	3.44rad/s,197°/s	其他	①无可燃性、腐蚀性的气体、液体		
		L 轴	3.32rad/s,190°/s		②无水、油、粉尘等挥发性物体		
		U 轴	3.67rad/s,210°/s		③不接近电气噪声源		
		R 轴	7.16rad/s,410°/s		电源容量		2.0kV·A
		B 轴	7.16rad/s,410°/s		⑧设置环境		
		T 轴	10.82rad/s,620°/s		⑨电源容量		

图 1-11

1. 机械臂结构

如图 1-11 所示，机械臂按构造不同分为以下两类：

- 1) 垂直多关节型，如 MH、MA、MS 型等。
- 2) 水平多关节型，如液晶、半导体基板搬运系列。

图 1-11 示出了机械臂所有的轴数（或自由度），通用机器人是 6 轴，但是限定用途的机器人也有 2~7 轴的，如图 1-12 所示。

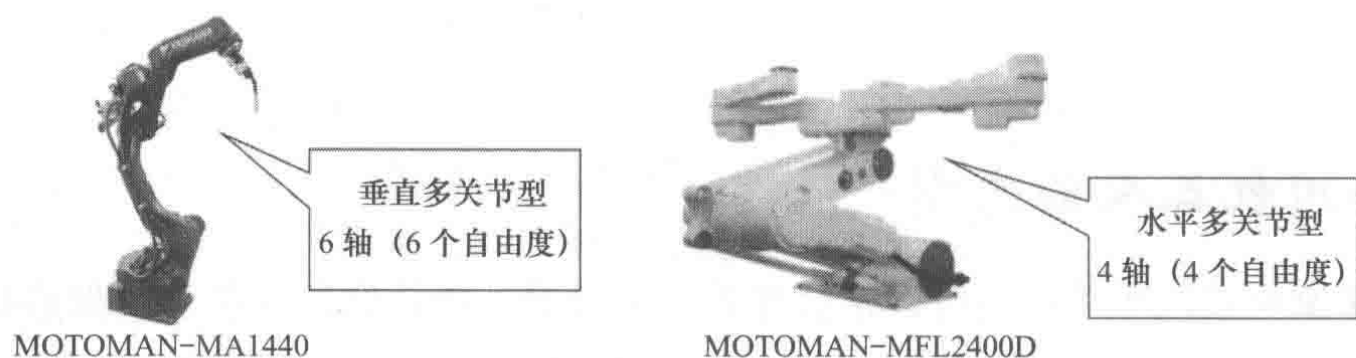


图 1-12

2. 可搬运质量

可搬运质量表示机械臂（严格地说是手腕末端部分）可拿起的最大质量。需要注意的是，例如 MH12 的末端最多能拿起 12kg 重物，这里的质量指的是包含工件和机械手的质量，如果在实际生产中搬运净重 12kg 的工件，会出现报错甚至发生车间事故。

此外，MH50 II 以上的大型机型手腕端部附近设有螺纹底座（其他品牌机器人也有同样的设计理念），可以在螺纹底座安装用于配线、配管的中转箱等，这种情况下中转箱的质量也包含在可搬运质量内。换句话说，当 MH50 II 的螺纹底座被装上了 5kg 的中转箱时，手腕端部就只剩下 45kg 负重了，如图 1-13 所示。

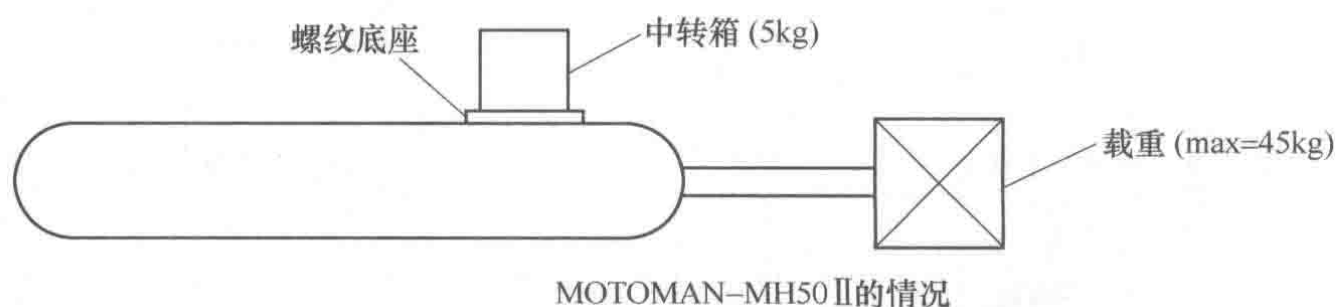


图 1-13

另外，即使荷重在目录的规格以内（MH50 II 的情况：50kg），也不能保证机械臂可以负担此荷重，必须考虑手腕轴周围的力矩与惯性力矩的合力矩。

3. 重复定位精度

重复定位精度是当机械臂转动到被示教的某一点时，该空间点重复到达的允许误差。

安川机器人重复定位精度如下：

MH5F—— $\pm 0.02\text{mm}$ ；

MHJ、MH3F、MH5LF—— $\pm 0.03\text{mm}$ ；

MH6F、MH12—— $\pm 0.08\text{mm}$ ；

MH20F、MH24—— $\pm 0.06\text{mm}$ ；

MH50 II、MH80 II、MH110—— $\pm 0.07\text{mm}$ ；

MH180、MH225、MH250 II—— $\pm 0.20\text{mm}$ ；

MH400 II、MH600—— $\pm 0.30\text{mm}$ 。