

工业机器人 工作站系统集成设计

彭赛金 张红卫 林燕文 | 主编

陈南江 卢亚平 | 副主编

微课版

学习平台、微课资源、多媒体课件、题库及答案、教学工作页

Design of Industrial Robot
Workstation System Integration



目 录

基础篇 初识系统集成 小试牛刀

项目一 走进机器人系统集成.....	2
项目引入.....	2
知识图谱.....	3
任务一 机器人系统集成规划.....	3
【任务描述】.....	3
【任务学习】.....	3
一、认识机器人系统集成... ..	3
二、机器人系统集成发展... ..	4
三、机器人系统集成技术	
方案.....	5
【思考与练习】.....	6
任务二 设计第一个工作站：搬运	
工作站.....	7
【任务描述】.....	7
【任务学习】.....	8
【思考与练习】.....	9
项目总结.....	10
拓展训练.....	10
项目二 机器人系统集成分析.....	11
项目引入.....	11
知识图谱.....	12
任务一 系统集成技术要求解析.....	12
【任务描述】.....	12
【任务学习】.....	12
【思考与练习】.....	13
任务二 工作站系统流程分析.....	13
【任务描述】.....	13
【任务学习】.....	13
【思考与练习】.....	14
项目总结.....	14
拓展训练.....	15

实战篇 再探集成设计 包罗万象

项目三 机械系统模块设计.....	18
项目引入.....	18
知识图谱.....	19
任务一 机器人本体选型.....	20
【任务描述】.....	20
【任务学习】.....	20
一、机器人选型方法... ..	20
二、机器人选型实践... ..	23
【思考与练习】.....	23
任务二 末端执行器设计.....	23
【任务描述】.....	23
【任务学习】.....	24
一、末端执行器设计方法... ..	24
二、末端执行器设计实践... ..	31
【思考与练习】.....	32
任务三 智能仓库模块设计.....	33
【任务描述】.....	33
【任务学习】.....	33
一、料库单元设计... ..	33
二、放料单元设计... ..	33
三、料井单元设计... ..	34
四、工作台设计... ..	34
【思考与练习】.....	36
项目总结.....	36
拓展训练.....	36
项目四 工件检测模块设计.....	38
项目引入.....	38
知识图谱.....	39
任务一 视觉模块设计.....	39
【任务描述】.....	39
【任务学习】.....	40



一、初识视觉系统	40
二、视觉系统设计方法	40
三、视觉系统设计实践	53
【思考与练习】	55
任务二 输送模块设计	55
【任务描述】	55
【任务学习】	55
一、初识控制电动机	55
二、控制电动机选型	
方法	58
三、控制电动机选型	
实践	65
【思考与练习】	66
项目总结	66
拓展训练	66
项目五 控制系统模块设计	68
项目引入	68
知识图谱	69
任务一 气动系统设计	71
【任务描述】	71
【任务学习】	71
一、初识气动系统	71
二、气动系统设计方法	93
三、气动系统设计实践	107
【思考与练习】	110
任务二 外部传感器选型	111
【任务描述】	111
【任务学习】	111
一、初识传感器	111
二、传感器选型方法	122
三、传感器选型实践	125
【思考与练习】	125
任务三 PLC 选型	126
【任务描述】	126
【任务学习】	126
一、PLC 选型方法	126
二、PLC 选型实践	130
【思考与练习】	130
项目总结	130
拓展训练	131

高级篇 深入集成开发 知行合一

项目六 工作站系统功能集成开发

项目引入	134
知识图谱	135
任务一 电气电路设计	135
【任务描述】	135
【任务学习】	136
一、供电电路	136
二、控制电路	137
【思考与练习】	139
任务二 PLC 与外部设备的数据	
交互	139
【任务描述】	139
【任务学习】	139
一、传感器与 PLC 的数据	
交互	139
二、按钮与 PLC 的数据	
交互	141
三、人机交互界面与 PLC 的	
数据交互	142
四、机器人与 PLC 的数据	
交互	143
【思考与练习】	144
任务三 工作站程序设计	144
【任务描述】	144
【任务学习】	145
一、初识机器人系统 PLC	
编程	145
二、工作站程序设计	152
【思考与练习】	162
项目总结	163
拓展训练	164

拓展篇 付诸应用实践 厚积薄发

项目七 焊接机器人系统集成设计

实践	168
项目引入	168

知识图谱.....	169	任务三 电气电路设计.....	187
任务一 认识弧焊机器人工作站...	169	【任务描述】	187
【任务描述】	169	【任务学习】	187
【任务学习】	169	一、供电电路.....	187
【思考与练习】	170	二、控制电路.....	187
任务二 关键部件选型.....	170	【思考与练习】	189
【任务描述】	170	任务四 工作站程序设计.....	189
【任务学习】	171	【任务描述】	189
一、焊接材料和设备.....	171	【任务学习】	190
二、机器人.....	182	一、安全程序.....	190
三、变位机.....	183	二、控制程序.....	190
四、送丝机.....	184	三、焊接程序.....	191
五、自动清枪站.....	184	【思考与练习】	191
六、焊烟净化器.....	185	项目总结.....	192
七、防护屋.....	186	拓展训练.....	192
八、PLC	186	附录 电气原理图.....	193
【思考与练习】	186	参考文献.....	209

教材系列项目设计

Wendy: 诸位, 我们现在接到了新的项目, 负责工业机器人系统集成的设计。今天我们会议的目的是了解系统集成设计流程。Amy, 你对系统集成都有哪些了解?

Amy: 我知道! 机器人在实际应用中针对客户现场的集成开发, 如上下料集成应用、码垛集成应用、喷涂集成应用、焊接集成应用、搬运集成应用、装配集成应用、涂胶集成应用、抛光集成应用、打磨集成应用及其他工业机器人集成应用等, 一个完整的系统调试开发过程, 就是机器人的系统集成。

.....

Wendy: 看来大家对系统集成都很了解啊, Jack, 你觉得我们应该如何着手开发?

Jack: 首先, 需先了解系统集成是什么; 其次, 设计系统中的各个模块; 再之, 设计各模块的供电电路、控制电路, 以及各模块间的通信; 最后, 设计系统程序。

Wendy: 嗯, 可以以研发中心的搬运工作站为例, 进行本次项目的开发。Jack, 你来负责这个项目的开发。

我叫 Anne, 刚刚大学毕业, 在一家公司担任机电工程师的职位, 主要负责机器人相关项目的开发工作。

刚入公司, 我便随着我的师傅 Jack 学习。听师傅讲, 我们刚刚接到了新的项目, 工业机器人系统集成设计。刚听到这个词的时候我是一头雾水, 有点担心自己做不好, 但是想到我能通过参与这个项目, 学到新的知识, 又感觉很开心。



项目一

走进机器人系统集成

项目引入

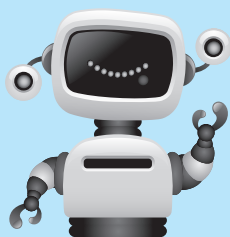
师傅负责这次新项目——工业机器人系统集成设计的研发，我也想参与其中，学到新的知识，但工业机器人系统集成是什么呢？我带着疑问去请教师傅 Jack。

Jack 耐心地讲解：“机器人系统集成是以机器人为核心，多种自动化设备提供辅助功能的自动化系统。该系统的主要功能是实现生产线的自动化生产加工，提高产品质量和生产能力。”

Jack 见我所不懂，又补充道：“只有机器人本体是不能完成任何工作的，需要加入其他设备之后才能为终端客户所用。”

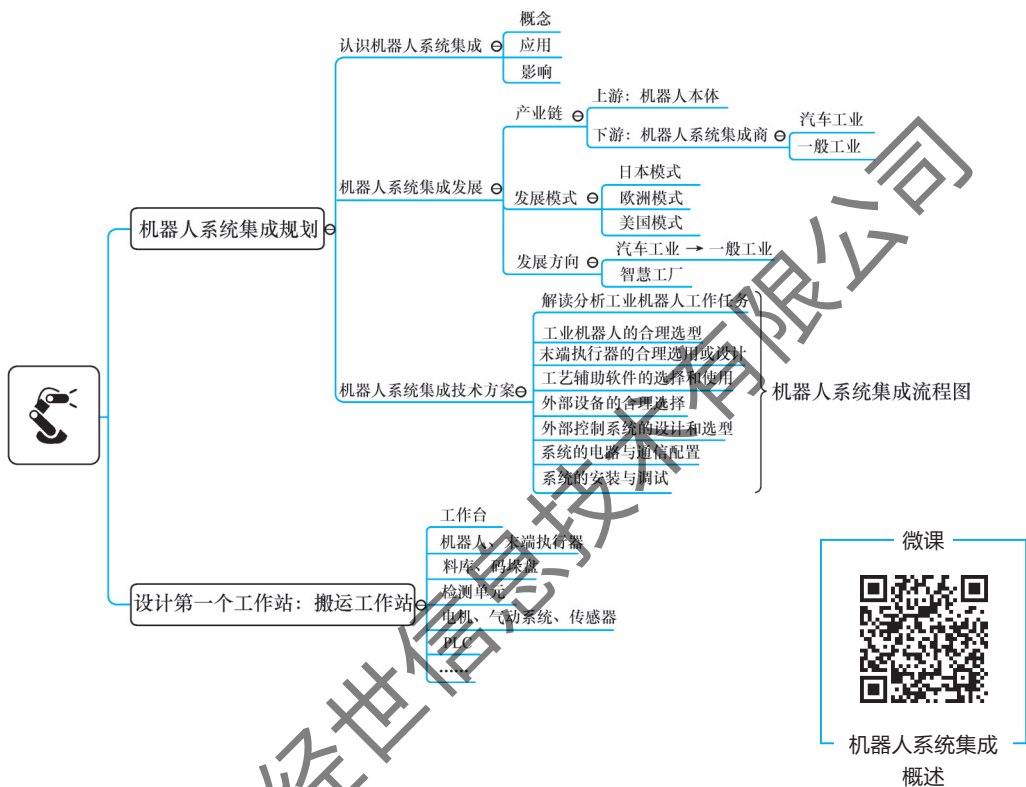
Jack 见我依然听得眉头紧锁，就说：“咱们研发中心的那台搬运工作站就是一个小型的工业机器人系统集成，有时间可以去研发中心找 Philip 了解一下。”

我当时将师傅的话一一记了下来，并通过在研发中心的实践，终于掌握了工业机器人系统集成的概念，并在此基础上，通过学习搬运工作站的设计了解了机器人系统集成设计的方法。





知识图谱



任务一 机器人系统集成规划

【任务描述】

听完师傅的话，我便来到了研发中心，去请教 Philip。

Philip 说道：“在学习搬运工作站的设计之前，你得先了解什么是机器人系统集成，它的发展是怎样的，以及机器人集成的技术方案又是如何规划的，这会增进你对机器人集成的认识，也能让你在之后的系统集成设计中有的放矢，事半功倍。”

【任务学习】

一、认识机器人系统集成

工业机器人系统集成是一种集硬件与软件于一体的新型自动化设备。硬件涉及机械部分与电气部分，如机器人本体、可编程逻辑控制器（PLC）、机器人控制器、传感器以及周边设备等。软件则是工业机器人系统集成的“灵魂”，它能够实现机器人末端执行器的运动和动作。



工业机器人集成的自动化设备，可以部分替代传统自动化设备。当工厂的产品需要更新换代或变更时，只需重新编写机器人系统的程序，便能快速适应变化，而且不需要重新调整生产线，大大降低了投资成本。

工业机器人系统集成也可替代人工进行多种操作，工艺可靠，而且速度提升明显。随着我国经济的快速发展，对制造的速度和质量有了越来越高的要求，但我国人口红利的消失，使制造业的发展面临越来越多的阻碍，同时国家提出了《中国制造 2025》智能制造的发展规划，工业机器人系统集成的应用将会呈现井喷的态势。

机器人系统集成应用广泛，从传统行业到新兴行业都有应用。在汽车制造领域，工业机器人系统集成主要对汽车的车身进行焊接作业，也会进行汽车发动机的装配工作；在仓储管理领域，工业机器人系统集成进行物品的搬运和码垛；在电子领域，工业机器人系统集成用于电子元器件的分拣和堆放等。

工业机器人的应用对社会的发展产生的影响是深远的，它的发展会进一步提高劳动生产力，由机器人代替人完成很多的工作，从而造成一些人下岗和失业，但是随着科技的发展，对于机器人的使用却需要更多的人来完成，因为机器人是由人类发明的。

二、机器人系统集成发展

在工业机器人系统集成中，机器人本体是系统集成的中心，它的性能决定了系统集成的水平。我国的机器人研发起步较晚，与国外的机器人性能水平有较大差距，因此目前的系统集成仍然以国际品牌为核心；但在我国科技工作者的不懈努力下，国产特种机器人研发水平后起之势明显。

工业机器人系统集成的主要目的是使机器人实现自动化生产过程，从而提高效率，解放生产力。从产业链的角度看，机器人本体（单元）是机器人产业发展的基础，处于产业链的上游，而工业机器人系统集成商则处于机器人产业链的下游应用端，为终端客户提供应用解决方案，负责工业机器人应用的二次开发和周边自动化配套设备的集成，是工业机器人自动化应用的重要组成部分。机器人下游终端产业可以大致分为汽车工业行业和一般工业行业。

汽车工业是技术密集型产业。在长期使用机器人的过程中，各汽车厂商形成了自己的规则和标准，对工业机器人系统集成的技术要求高且要契合车厂特有的标准，对于系统集成厂商来说，形成了较高的准入门槛。多数国内集成商主要还是做一些分包或者不太重要的项目，少数已经入围的系统集成商获得了先发优势。

一般工业按照应用可分为焊接、机床上下料、物料搬运码垛、打磨、喷涂、装配等。以喷涂应用为例，喷涂作业本身的作业环境恶劣，对喷漆工人技术熟练程度的要求比较高，导致喷涂的从业人员数量少。喷涂机器人以其重复精度高、工作效率高等优点使这一问题得到解决。喷涂机器人在喷涂领域的应用越来越广，从最开始的汽车整车车身制造，应用拓展到汽车仪表、电子电器、搪瓷等领域。

目前，在世界范围内的机器人产业化过程中，有 3 种发展模式，即日本模式、欧洲模式、美国模式。

在日本，机器人制造厂商以开发新型机器人和批量优质产品为主要目标，并由其子公司或社会上的工程公司设计制造各行业需要的机器人成套系统，完成交钥匙工程。欧洲是机器人制造商不仅要生产机器人，还要为用户设计开发机器人系统。美国则是采购与成套设计相结合。

中国和美国类似，也是主要集中在机器人系统集成领域，中国机器人市场起点低、潜力大，随着本土技术的不断崛起，中国机器人产业化的模式逐渐从低端化向高端化转变，从纯集成



方向向行业分工的方向转变。在国内，基本上不生产普通的工业机器人，企业需要时由工程公司进口，再自行设计并制造配套的外围设备，完成交钥匙工程。在现阶段，随着机器人产业的整合，机器人等专用设备和电气元件等的价格逐年下降，国内企业凭借性价比和服务优势逐渐替代进口，市场份额逐步上升。

工业机器人系统集成应用正逐渐由汽车工业向一般工业延伸，一般工业中应用市场的热点和突破点主要集中在3C电子（即计算机、通信和消费类电子产品）、金属、食品饮料及其他细分市场。除此之外，系统标准化的程度也将持续提高，这将有利于系统集成企业形成规模。系统集成的标准化不只是机器人本体的标准化，同时也是工艺的标准化。

工业机器人系统集成的未来向智慧工厂或数字化工厂方向发展，智慧工厂是现代工厂信息化发展的一个新阶段。智慧工厂的核心是数字化和信息化，它们将贯穿于生产的各个环节，降低从设计到生产制造之间的不确定性，从而缩短产品设计到生产的转换时间，并且提高产品的可靠性与成功率。

三、机器人系统集成技术方案

根据工业机器人应用及其系统集成定义，结合文献、资料及案例的分析研究后，可以将确定机器人系统集成技术方案的步骤与方法总结如下。

1. 解读分析工业机器人工作任务

工业机器人的工作任务是整个系统集成设计的核心问题和要求，所有的设计都必须围绕工作任务来完成。它决定了工业机器人本体的选型、工艺辅助软件的选用、末端执行器的选用或设计、外部设备的配合以及外部控制系统的设计。所以，必须准确、清晰地解读分析工业机器人的工作任务，否则将使系统集成设计达不到预期的效果，甚至完全错误。

2. 工业机器人的合理选型

工业机器人是应用系统的核心元件。由于不同品牌工业机器人的技术特点、擅长领域各不相同，所以首先根据工作任务的工艺要求，初步选定工业机器人的品牌；其次根据工作任务、操作对象以及工作环境等因素决定所需工业机器人的负载、最大运动范围、防护等级等性能指标，确定工业机器人的型号；之后再详细考虑如系统先进性、配套工艺软件、I/O接口、总线通信方式、外部设备配合等问题。在满足工作任务要求的前提下，尽量选用控制系统更先进、I/O接口更多、有配套工艺软件的工业机器人品牌和型号，以利于使系统具有一定的冗余性和扩充性。同时，成本也是选型时必须考虑的问题。综上所述，最终选定工业机器人的品牌和型号。

3. 末端执行器的合理选用或设计

末端执行器是工业机器人进行工艺加工操作的执行元件，没有末端执行器，工业机器人就仅仅是一台运动定位设备。选用或设计末端执行器的根本依据是工作任务。工业机器人需要进行何种操作，是焊接操作，或是搬运码垛操作，抑或是打磨抛光操作等，是否需要配备变位机、移动滑台等，以及操作需要达到的工艺水准，加工对象的情况，都是需要综合考虑的。只有正确、合理地选用或设计末端执行器，让它们与工业机器人配合起来，才能使工业机器人发挥出其应有的功效，更好地完成加工工艺。

4. 工艺辅助软件的选择和使用

当工业机器人应用系统涉及复杂工艺操作时，辅助技术人员用工艺辅助软件进行机器人工作路径规划、工艺参数管理和点位示教等操作，一般会与三维建模软件同时使用。功能强大的工艺辅助软件还可以进行如生产数据管理、工艺编制、生产资源管理和工具选择等操作，



甚至可以直接输出工业机器人运动程序。工业机器人的品牌不同，其核心控制器件也不同，从而导致了某些工业机器人生产供应商针对不同加工工艺，能提供配套的工艺软件，提升工艺水准，而另一些则没有相应的工艺软件。综合考虑工作任务和选定的工业机器人品牌，确定是否选用工艺软件，以及选用何种工艺软件。

5. 外部设备的合理选择

机器人本体是系统中动作的执行者，在执行动作时，需要其他的自动化设备提供辅助功能。例如，气动元件实现机器人末端执行机构的开合动作；传送带将物料传送到相应的工位；视觉系统和颜色传感器分别识别工件的形状和颜色。应根据工作任务合理选择所需的外部设备。

6. 外部控制系统的设计和选型

根据前面步骤选定的工业机器人型号、末端执行器、外部设备，综合考虑工作任务后，初步选定外部控制系统的核心控制器件。在一般情况下，都选用可编程控制器（PLC）作为外围控制系统的核心控制器件，但是在某些特殊的加工工艺中，例如在工艺过程连续、对时间要求非常精确的情况下，需要考虑 PLC 的 I/O 延迟是否会对加工工艺造成不良影响，否则必须选用其他控制器件，如嵌入式系统等。应尽量考虑在工业机器人以及各外部控制设备之间采用工业现场总线的通信方式，以减少安装施工工作量与周期，提高系统可靠性，降低后期维护维修成本。同时，安全问题在外部控制系统中也是非常重要的，在某些情况下甚至是首要考虑的因素。安全问题包括设备安全和人身安全，保护设备安全的器件有防碰撞传感器等，保护人身安全的设备有安全光幕等，都是外部控制系统必需的设备。

综合考虑以上因素，在整个系统集成设计与选型过程中，在充分考虑系统的先进性、安全性、可靠性、兼容性和扩充性的基础上，尽可能采用成熟的器件与设计思路。

7. 系统的电路与通信配置

选定所有硬件之后，还需给系统安装电路，为系统供电并控制元器件动作，以及选用合适的通信方式实现元器件之间的数据传输。硬件之间的数据传送是通过通信完成的，不同规模的系统集成，使用的通信方式也是不相同的。例如，大规模系统集成的通信一般都需要现场总线的通信协议，如 Profibus、Modbus、Profinet、CANopen、DeviceNet 等，而小型单台工作站的数据通信除了可以使用以上几种通信方式外，还可以使用其他多种通信方式，如西门子的 PPI、MPI，以及 Ethernet 等协议。

8. 系统的安装与调试

前述所有步骤均完成后，就可以进入系统安装、调试阶段。在工业机器人应用系统的安装阶段，需严格遵守施工规范，保证施工质量。调试时应尽量考虑各种使用情况，尽可能提早发现问题并反馈。不论是安装还是调试，安全问题都是重中之重，必须时刻牢记安全操作规程。

综上所述，机器人系统集成设计步骤可总结为根据客户要求确定设备的功能，设计方案，进行技术设计，包括关键零部件的选型及设备原理图的设计和绘制，最后加工和试制设备，以及进行系统的编程调试，当设备达到预定功能后进行交付和量产，如图 1-1 所示。

【思考与练习】

1. 机器人系统集成的主要部分包括_____、_____、_____等。其中_____是系统集成的基础，_____是系统中动作的执行者。
2. 简述机器人系统集成设计步骤。

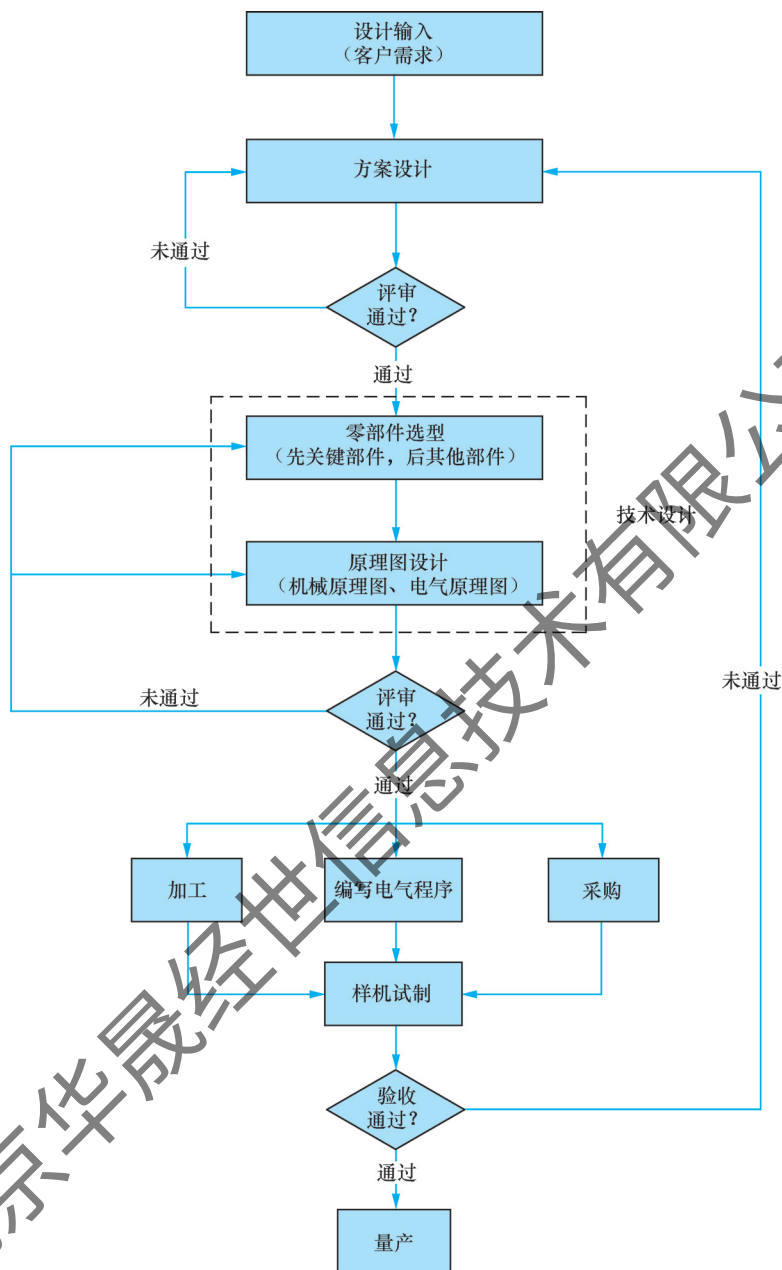


图 1-1 机器人系统集成设计流程图

任务二 设计第一个工作站：搬运工作站

【任务描述】

在上个任务中，我对机器人系统集成有了初步的认识。

Philip 带我参观了搬运工作站。“搬运工作站这么复杂，是怎样设计的呢？”我看着



眼前的搬运工作站，感觉自己的认识还不够。

Philip 说：“主要是依据工作站所要实现的功能来设计的，你刚开始接触系统集成，可先运用仿真软件设计一个搬运工作站，进一步加深对系统集成的认识。”

我回答道：“好的。”

【任务学习】

微课



搬运工作站的仿真

搬运工作站是一种集成化的系统，由机器人完成工件的搬运，即将传送带输送过来的工件搬运到平面仓库中，给机器人安装不同类型的末端执行器，可以完成不同形态和状态的工件搬运工作。它包括机器人本体、控制器、PLC、机器人末端执行器等，并与控制系统相连接，形成一个完整的、集成化的搬运系统。

本次任务设计的搬运工作站的主要功能是实现机器人搬运物料、检测物料颜色、识别物料形状等，对这些功能的实现形成了一整套的工序，每一个工序都需要一种或多种元件配合实现，因此可以根据要完成的工序选用相应的硬件，并进行电气电路连接以及编程调试，即可设计搬运工作站。为避免危险的工作环境，可采用仿真软件设计搬运工作站，构造虚拟机器人及其工作环境。SolidWorks 是一款基于 Windows 操作系统的三维计算机辅助设计（CAD）软件，其特点是功能强大、技术创新和易学易用，在目前的 CAD 软件市场上有很高的占有率，本任务就使用 SolidWorks 软件 CAD 三维建模的方法进行搬运工作站的仿真设计（提供源文件：搬运工作站装配体）。

由于工作站的所有元件都要安装到工作台上，以执行后续的动作，故在工作站设计之初应先确定工作台，如图 1-2 所示。

由于机器人本体和末端执行器是工作站的主体，因此确定工作台后，需安装机器人本体和末端执行器。如果机器人需执行不同的工作，就需要安装快换接头，执行不同工作时在快换接头处替换不同的末端执行器，如图 1-3 所示。

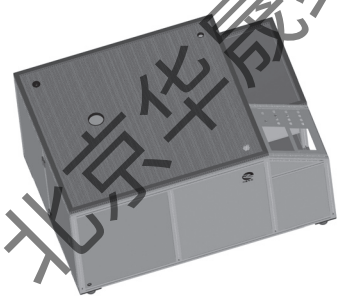


图 1-2 工作台

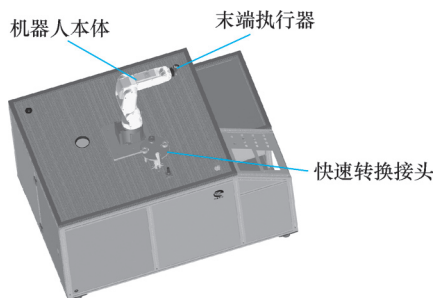


图 1-3 机器人和末端执行器的安装

机器人抓取工件后需要将其存放到指定的仓库，即料库和码垛盘，如图 1-4 所示。

机器人存放工件之前，还需检测工件是否合格，这就需要安装工件检测单元，以及显示检测结果的显示屏，如图 1-5 所示。对于不合格的工件需剔除，因此还需有废料剔除及废料暂存单元。

以上的动作需要在动力元件的控制和传感器的监测下执行，即需安装动力元件，以及在需检测位置安装相应的传感器，如图 1-6 所示。图 1-6 中的动力元件为电机和气动系统。