

职业教育自动化类专业新形态教材

智能装备机电集成技术

主 编 王文斌

副主编 宋振东 赵伟 王振华 黄焕聪

电子工业出版社版权所有
盗版必究

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内 容 简 介

智能制造装备离不开机械本体、传感器、动力源、计算机、执行元件这五大要素的支撑。在将智能制造生产线要素进行抽象和融合的基础上,按照学习的渐进规律,全书分为7个任务,主要内容包括智能装备要素组成及接口认识、智能装备机电传动平台机械传动系统、直流电动机间歇输送机构往返调速控制、三相异步电动机轴传动变频调速控制、步进电动机双轴运动控制编程、交流伺服电动机传动模块角度运动控制编程、机电传动平台综合任务编程。

本书配备了机电传动实训平台的数字化资源,可以基于数字化资源完成本书的所有任务。本书还提供了丰富的微课、电子课件等资源,方便教师教学和学生自主学习。可通过扫描二维码的方式观看相关微课。

本书可以作为高等学校和职业院校工业机器人技术、机电一体化技术、自动化技术等专业的教材,也可作为广大机电一体化、自动化生产线、机器人应用等领域的技术人员自学和参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能装备机电集成技术/王文斌主编. —北京:电子工业出版社,2022.10

ISBN 978-7-121-34800-6

I. ①智… II. ①王… III. ①模块式机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第243832号

责任编辑:朱怀永

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:480千字

版 次:2022年10月第1版

印 次:2022年10月第1次印刷

定 价:56.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254608 或 zhy@phei.com.cn。

前言

智能制造是推进制造强国战略的主攻方向，是国家制造业发展的必然趋势，而智能制造技术的发展和應用离不开智能装备。在此背景下，企业人才需求结构发生巨大变化，工作环境逐渐复杂化，技能要求逐渐复合化。本书编者在总结长期的学校教学和企业培训经验的基础上，结合企业对智能制造生产线相关岗位技能人才需求的反馈，将智能制造生产线典型的要素进行抽象和融合，梳理出四个模块，即直流电动机间歇输送机构、三相异步电动机轴传动模块、步进双轴运动控制平台模块和伺服传动角度控制模块。将这四个模块集成在一起，形成智能装备机电传动平台（以下简称“机电传动平台”）。该平台具有四个特征，第一，将常见的传动方式都集成在一起。平台集成齿轮、同步带、蜗轮蜗杆等工业现场常见的传动方式，便于学生了解不同的传动特征、应用场景和安装方式。第二，这四个模块覆盖了常见的执行驱动机构和传感器。集成伺服电动机、步进电动机、交流电动机和直流电动机等工业常用典型执行驱动机构和传感器，结合 PLC 和触摸屏，便于开展模块化教学，并能使学生掌握生产线上典型模块的电气集成、编程、调试和控制。第三，通过这些模块的组合，还可以模拟生产线上工作单元的集成控制。第四，对该平台进行数字孪生技术开发，可提供机电传动平台仿真资源。

本书先从整体的角度分析智能装备五大组成要素和接口；接着围绕组成要素介绍机电传动系统的传动链和机电匹配选型、常用传感器的使用、常见运动控制等；最后通过模拟玻璃切割设备的运动控制将所学的要素进行集成应用。本书根据“总一分一总”的结构分为 7 个任务。

任务 1 智能装备要素组成及接口认识。通过本任务的学习和训练，使学生能分析典型机电一体化智能装备的组成要素，以及这些要素在机电一体化智能装备中的应用，对智能装备的机电系统组成建立宏观认识。

任务 2 智能装备机电传动平台机械传动系统。本任务依托机电传动平台使学生进一步认识机电一体化智能装备常见的传动机构，分析各模块的传动系统组成，并能进行电动机选型。

任务 3 直流电动机间歇输送机构往返调速控制。本任务以直流电动机间歇传动机构的往返调速为对象，通过学习和训练，使学生掌握机电传动平台 PLC 的组态、直流电动机调速的原理、直流电动机间歇输送机构电气接线、模拟量输出调试，以及通过 PLC、触摸屏并结合光电限位传感器实现对直流电动机间歇输送机构的往返运动控制和编程。

任务 4 三相异步电动机轴传动变频调速控制。本任务以机电传动平台的轴变频调速为对象，通过学习和训练，使学生掌握变频调速的接线、常用参数的设置、内外部控制，以及通过 PLC 和触摸屏实现无级调速、多段速调速和速度反馈等变频器应用场合的编程和监控。

任务 5 步进电动机双轴运动控制编程。本任务以工业上典型的 X、Y 轴位置控制平台为

对象,通过学习和训练,使学生掌握步进电动机驱动的原理、双轴运动控制平台 PLC 系统电气接线、运动控制的轴组态、回零运动、绝对运动和相对运动,通过 PLC 和触摸屏的结合实现点到点的运动控制编程和触摸屏监控。

任务 6 交流伺服电动机传动模块角度运动控制编程。本任务以工业上典型的角度控制平台为对象,通过学习和训练,使学生掌握交流伺服电动机驱动的原理、角度控制平台电气接线、运动控制的轴组态、回零运动、相对运动、角度运动控制和示教再现运动,通过 PLC 和触摸屏的结合实现角度和示教再现的运动控制编程和触摸屏监控。

任务 7 机电传动平台综合任务编程。本任务模拟玻璃切割设备的工作流程,通过学习和训练,使学生进一步掌握智能装备机电集成的控制与编程。

本书的特点如下:

(1) 实用性强。本书基于任务导向的教学理念,以抽象于智能制造生产线的机电传动平台为载体,比较全面地讲述了机电传动平台的传动机构、执行机构、接口、传感器、PLC 及触摸屏控制的应用及编程方法。

(2) 内容丰富。通过从简单到复杂的实训任务使学生初步了解和掌握典型智能装备的组成要素(如机械传动、传感器、步进电动机、直流电动机、三相异步电动机、伺服电动机、触摸屏、PLC 运动控制编程等),以及这些要素的组合在典型智能装备中的应用。

(3) 配套资源丰富。本书配套电子课件、微课等数字化资源,便于教师在课堂上按照“做中学、学中做”的方式开展线上、线下教学。

本书以大量的实例为载体,并给出了机械示意图、电气接线图、控制程序编程思路、控制源程序等,使学生通过对本书的学习,可以在机电一体化要素及接口的分析、选型、编程应用及系统集成等方面获得能力提升,并可以很快地扩展到其他相关的工业应用领域。

本书由深圳职业技术学院机电学院王文斌主编,深圳职业技术学院宋振东、赵伟,江苏汇博机器人技术股份有限公司王振华和深圳 TCL 华星光电技术有限公司黄焕聪担任副主编。参加本书相关任务开发及程序调试工作的还有陈伟、张亮、王涛、鲍丹阳、王志荣、钟毅、杨海波等,在此一并表示感谢。

由于技术发展日新月异,加之编者水平有限,书中难免有遗漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。



课程导读

编 者
2022 年 3 月

目 录

任务 1 智能装备要素组成及接口认识	1
项目描述	1
学习导图	1
任务 1.1 机电一体化智能装备 5 大要素的组成分析	2
任务提出	2
知识准备	2
1.1.1 机电一体化产品和智能装备	2
1.1.2 机电一体化产品的要素组成	4
任务实施	7
1.1.3 智能装备机电传动平台 5 大要素的组成分析	7
任务小结	11
任务拓展	12
任务 1.2 智能装备组成要素的接口分析	13
任务提出	13
知识准备	13
1.2.1 机电一体化智能装备的接口组成	13
1.2.2 机电一体化智能装备的发展趋势	15
任务实施	16
1.2.3 智能装备机电传动平台各模块的接口分析	16
任务小结	18
任务拓展	18
任务 2 智能装备机电传动平台机械传动系统	20
项目描述	20
学习导图	20
任务 2.1 典型机电传动模块的传动系统分析	21
任务提出	21
知识准备	21
2.1.1 机电一体化智能装备机械传动系统的组成及特征	21
2.1.2 常见机械传动机构	22
2.1.3 支撑及导向部件	28
任务实施	30
2.1.4 智能装备机电传动平台传动链分析	30
任务小结	32

任务拓展	32
任务 2.2 典型传动系统的电动机选型	35
任务提出	35
知识准备	36
2.2.1 转动惯量	36
2.2.2 电动机选型的惯量匹配原则和容量匹配原则	39
任务实施	41
2.2.3 丝杆传动平台的电动机选型	41
任务小结	46
任务拓展	46
任务 3 直流电动机间歇输送机构往返调速控制	48
项目描述	48
学习导图	48
任务 3.1 智能装备机电传动平台 1200 PLC 开发环境组态及程序开发	49
任务提出	49
知识准备	49
3.1.1 1200 PLC 硬件简介	49
3.1.2 1200 PLC 的程序块、变量与基本数据类型	52
任务实施	58
3.1.3 机电传动平台 1200PLC 组态	58
3.1.4 采用函数和函数块的双模式抢答器 PLC 实现	65
任务小结	73
任务拓展	73
任务 3.2 基于按钮控制直流电动机间歇输送机构往返运动控制	74
任务提出	74
知识准备	74
3.2.1 直流电动机驱动原理和 PWM 直流调速	74
3.2.2 PLC 与模拟量	78
3.2.3 PLC 模拟量输出值的计算	79
任务实施	82
3.2.4 按钮控制直流电动机间歇输送机构任务实施概况、电气原理及相关配置	82
3.2.5 按钮控制直流电动机间歇输送机构往返运动 PLC 编程	84
3.2.6 PLCSIM 仿真调试	88
任务小结	92
任务拓展	92
任务 3.3 基于触摸屏控制直流电动机间歇输送机构往返运动控制	92
任务提出	92
知识准备	93

3.3.1 西门子人机界面开发环境	93
3.3.2 光电开关的类型与接线	94
任务实施	97
3.3.3 触摸屏控制直流电动机间歇输送机构任务实施概况及相关配置	97
3.3.4 触摸屏控制直流电动机间歇输送机构往返运动触摸屏与 PLC 编程	98
任务小结	110
任务拓展	111
任务 4 三相异步电动机轴传动变频调速控制	112
项目描述	112
学习导图	113
任务 4.1 基于 BOP 的变频器调速测试	113
任务提出	113
知识准备	114
4.1.1 三相异步电动机的调速原理	114
4.1.2 变频器与典型系统的接线	116
4.1.3 变频器基本操作面板 (BOP) 的功能及参数设置	117
任务实施	120
4.1.4 电动机的试运行	120
4.1.5 变频器的启动上升与制动下降	123
任务小结	125
任务拓展	125
任务 4.2 按钮控制三相交流电动机模块变频器模拟量调速	126
任务提出	126
知识准备	126
4.2.1 SINAMICS V20 型变频器控制回路的接线	126
4.2.2 标准化与缩放指令	128
任务实施	129
4.2.3 按钮控制三相交流电动机变频器模拟量调速任务实施概况、电气原理 及相关配置	129
4.2.4 按钮控制交流电动机变频器模拟量调速 PLC 编程	132
任务小结	134
任务拓展	134
任务 4.3 按钮控制三相交流电动机多段速调速	135
任务提出	135
知识准备	135
4.3.1 变频器连接宏快速调试	135
4.3.2 SCL 编程语言	137
任务实施	140

4.3.3 按钮控制三相交流电动机多段速调速任务实施概况、电气原理 及相关配置	140
4.3.4 按钮控制三相交流电动机多段速调速 PLC 编程	143
任务小结	145
任务拓展	145
任务 4.4 触摸屏控制三相交流电动机多段速调速与转速反馈	146
任务提出	146
知识准备	147
4.4.1 变频器项目的实施	147
4.4.2 测速发电机模拟信号的采集	148
任务实施	149
4.4.3 触摸屏控制三相交流电动机多段速调速任务实施概况及相关配置	149
4.4.4 触摸屏控制三相交流电动机多段速调速与转速反馈及 PLC 编程	152
任务小结	157
任务拓展	158
任务 5 步进电动机双轴运动控制编程	159
任务描述	159
学习导图	159
任务 5.1 运动控制直线轴的组态及调试	160
任务提出	160
知识准备	160
5.1.1 步进电动机控制基础	160
任务实施	163
5.1.2 基于线性运动的直线轴组态	163
5.1.3 轴控制面板调试和诊断	169
任务小结	173
任务拓展	173
任务 5.2 触摸屏控制步进电动机双轴运动模块回原点实训	173
任务提出	173
知识准备	174
5.2.1 步进电动机控制系统的驱动方式	174
5.2.2 回原点相关指令	177
任务实施	180
5.2.3 单轴回原点任务实施概况、电气原理及相关配置	180
5.2.4 单轴回原点触摸屏与 PLC 编程	182
任务小结	187
任务拓展	187
任务 5.3 触摸屏控制步进电动机双轴运动模块手动和绝对位置运动控制	191

任务提出	191
知识准备	191
5.3.1 手动、绝对位置运动等相关指令	191
任务实施	196
5.3.2 手动和绝对位置运动任务实施概况、电气原理及相关配置	196
5.3.3 手动和绝对位置运动触摸屏与 PLC 编程	198
任务小结	205
任务拓展	205
任务 6 交流伺服电动机传动模块角度运动控制编程	207
项目描述	207
学习导图	207
任务 6.1 交流伺服电动机传动模块角度运动控制	208
任务提出	208
知识准备	208
6.1.1 伺服系统	208
6.1.2 交流伺服电动机	209
6.1.3 旋转编码器	211
6.1.4 交流伺服电动机驱动器的电气连接	212
任务实施	214
6.1.5 旋转轴运动控制任务实施概况、电气原理及相关配置	214
6.1.6 旋转轴运动控制触摸屏与 PLC 编程	220
任务小结	225
任务拓展	225
任务 6.2 角度运动控制的示教再现	226
任务提出	226
知识准备	226
6.2.1 伺服驱动器的面板操作	226
6.2.2 角度控制平台伺服驱动器的关键参数设置	229
6.2.3 角度控制平台伺服驱动器的参数简单自整定	231
6.2.4 1200 PLC 的复合数据类型	232
6.2.5 示教再现操作	236
任务实施	237
6.2.6 旋转轴运动控制示教再现任务实施概况及相关配置	237
6.2.7 旋转轴运动控制示教再现触摸屏与 PLC 编程	239
任务小结	248
任务拓展	249
任务 7 机电传动平台综合任务编程	252
任务描述	252

学习导图	252
知识准备	253
7.1.1 模拟玻璃切割设备的切割任务流程分析	253
7.1.2 PLC 顺序控制编程方法	254
任务实施	259
7.1.3 模拟玻璃切割设备任务实施概况、电气原理及相关配置	259
7.1.4 模拟玻璃切割设备触摸屏与 PLC 编程	263
任务小结	290
参考文献	291

电子工业出版社版权所有
盗版必究

任务1 智能装备要素组成及接口认识

项目描述

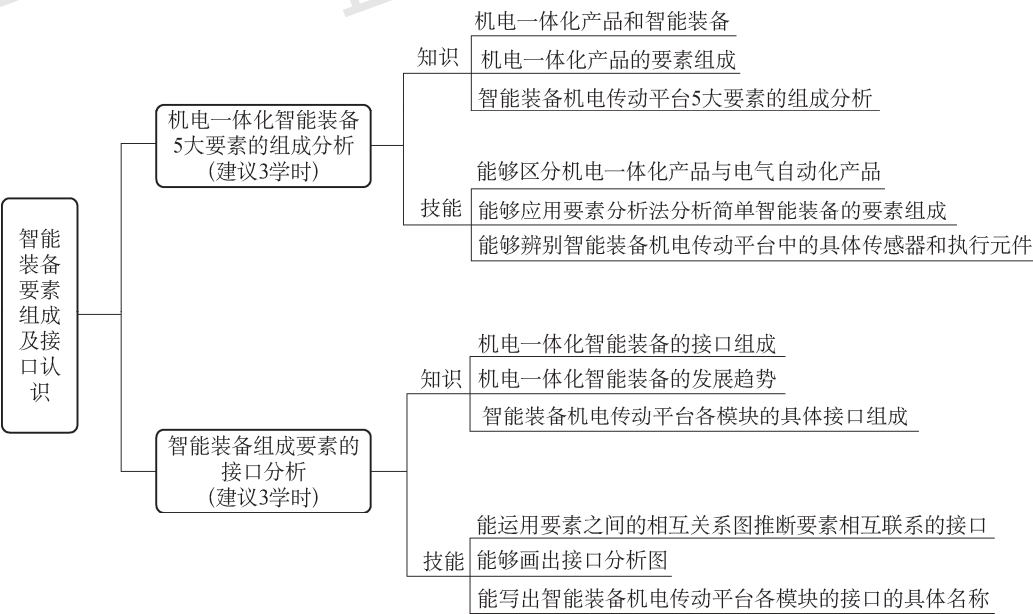
我国在“十二五”期间提出了“智能装备”概念，希望通过大力发展智能装备以提升我国的工业化水平，促进我国从制造大国向制造强国转变。而智能装备作为典型的机电一体化产品，其组成包括机械本体、传感器、动力源、计算机和执行元件 5 大要素，并且要素之间需要通过接口连接到一起。通过本任务的学习，使学生能分析典型机电一体化产品的 5 大要素并了解 5 大要素的连接接口，以及这些要素在机电一体化智能装备中的应用，形成对智能装备系统的宏观认识。本任务在课程中起到提纲挈领的作用，虽难度低，但由于涉及各要素的结构、接口及功能，是后续任务学习顺利进行的基础。

本任务共设置了两个子任务：

1.1 机电一体化智能装备 5 大要素的组成分析。

1.2 智能装备要素的接口分析。

学习导图



任务 1.1 机电一体化智能装备 5 大要素的组成分析

任务提出

智能装备代表我国的工业化水平，认识智能装备需要利用一定的方法。本任务提出认识智能装备的要素组成分析法。在任务实施中，以直观的智能装备机电传动平台（以下简称“机电传动平台”）为对象，通过操作各模块，观察该平台的各组成模块的功能和运动，分析各模块的传感器、执行元件、机械本体、计算机及动力源的具体组成和对应功能，从而达到对智能装备系统的认识。本任务的内容可进一步细分如下：

- （1）机电一体化产品和智能装备；
- （2）机电一体化产品的要素组成；
- （3）智能装备机电传动平台 5 大要素的组成分析。

知识准备

1.1.1 机电一体化产品和智能装备



机电一体化智能
装备介绍

20 世纪 70 年代，随着当时微电子技术的发展，计算机逐渐小型化和集成化，机电一体化技术开始在日本普及，众多企业开始将计算机控制技术创新性地应用于机械产品中，如数控机床、点焊机器人等机电一体化工业设备，打印机、复印机等机电一体化办公设备，智能

烤箱、智能洗衣机等家电设备。新技术的创新应用使得企业所生产的机电一体化产品性能显著提升，使得日本的制造产业获得升级，经济快速增长。例如，图 1-1 所示的电动机丝杠传动的精密定位，在机械技术中只能通过提高齿轮和丝杠螺母等传动机构的加工和安装精度来实现。而采用机电一体化技术，就可利用传感器对定位过程的位置和定位误差进行动态检测，并将信息反馈到具有信息处理功能的计算机中，再利用控制算法和手段对定位误差进行“修正”或“补偿”，从

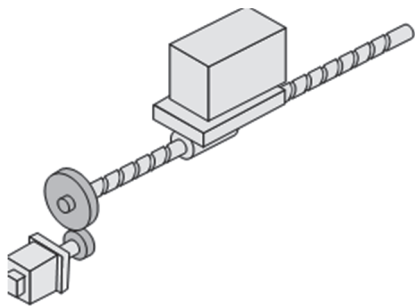


图 1-1 电动机丝杠传动的精密定位

而达到提高定位精度的目的。

当前，关于机电一体化，国际上普遍采用日本机械振兴协会的定义，即在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能的基础上引进微电子技术，并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成的系统总称。由于微电子技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化，使机械工业的技术结构、产品结构、功能、生产方式及管理体系均发生了巨大的变化，使得工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。而

进入 21 世纪以来,人工智能作为一项引领未来的战略技术,驱动着发展模式创新,正在深刻改造着制造行业。人工智能与机电一体化产品的深度融合,形成和推动了智能制造装备及其发展。智能制造装备,通常简称“智能装备”,是具有感知、分析、推理、决策和控制功能的制造装备的统称,它是先进制造技术、信息技术和智能技术在装备产品上的集成和融合,体现了制造业的智能化、数字化和网络化的发展要求。智能装备的发展水平已成为当今衡量一个国家工业化水平的重要标志。“智能装备”的概念是我国在“十二五”期间提出的,重点面向高档数控机床、机器人等智能专用设备、自动化成套生产线等领域,为实现我国从制造大国向制造强国转变奠定坚实基础。图 1-2 所示为安装武汉华中数控系统的加工中心。该加工中心配备一套智能数据采集分析系统,由传感器采集刀头数据,传输到计算机,并将刀头的每次细小波动用不同颜色标记,捕捉肉眼难以观测到的误差数据,利用数据寻找加工误差并进行优化,主轴在 24000 r/min 的高转速下,工件表面的加工精度可以达到 $0.01\mu\text{m}$ 。图 1-3 所示为中国研制的空间站机械臂。该机械臂可完成货运飞船载荷转移、拆卸转移太阳能板、空间站外表面爬行、舱体检查等高难度、多样化的任务。这些智能装备都向世界展示了中国智慧和力量。



图 1-2 安装武汉华中数控系统的加工中心

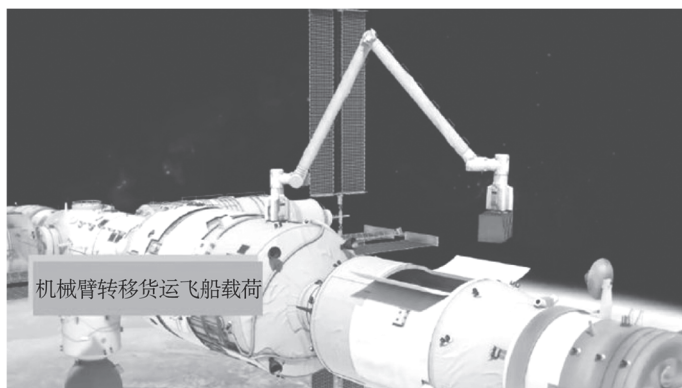


图 1-3 中国研制的空间站机械臂

1.1.2 机电一体化产品的要素组成



简单机电一体化产品
5大要素分析

图 1-4 所示的智能搬运机器人，其从比赛地图（见图 1-5）的下方出发，将位于字母标识圆形区的不同颜色料块搬运到比赛场地所对应的颜色环内而获得成绩。为实现不同颜色料块的准确搬运，在机械本体部分，需要通过机器手爪和车载平台的运动来实现料块搬运；在执行元件部分，需要伺服电动机实现车载平台的运动；在传感器部分，需要循线传感器来实现对地图上线条的跟踪，需要超声波传感器检测料块的距离，以及通过颜色传感器识别料块的颜色，并将不同颜色的料块放入地图末端对应的颜色环内；在计算机部分，需要有一个单片机作为控制大脑来实现机器人的智能控制；在动力源部分，需要有为计算机、执行元件和传感器供电的电池。

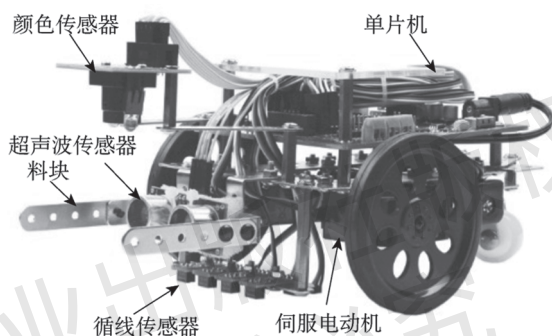


图 1-4 智能搬运机器人

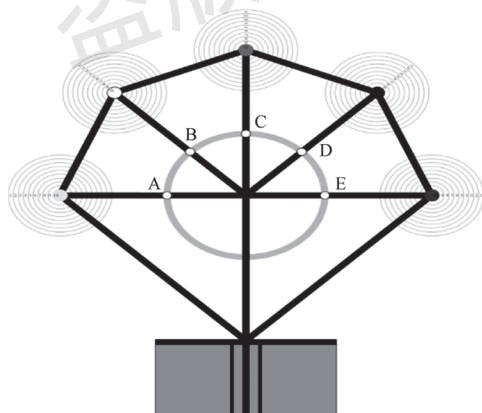


图 1-5 比赛地图

不失一般性，不管哪类机电一体化系统（或产品），必须具备如图 1-6 所示的几种组成部分，即机械本体部分、动力源部分、传感器部分、计算机部分、执行元件部分。其中，机械本体部分是实现系统功能的载体，该部分不仅为构成系统的其他单元、部件提供位置场所，还在时间和空间上对各部件相互位置关系提供约束，以实现机电一体化系统的主功能；动力源部分为系统的运行提供动力；传感器部分提供检测功能；计算机部分提供控制功能；执行元件提供运转功能。

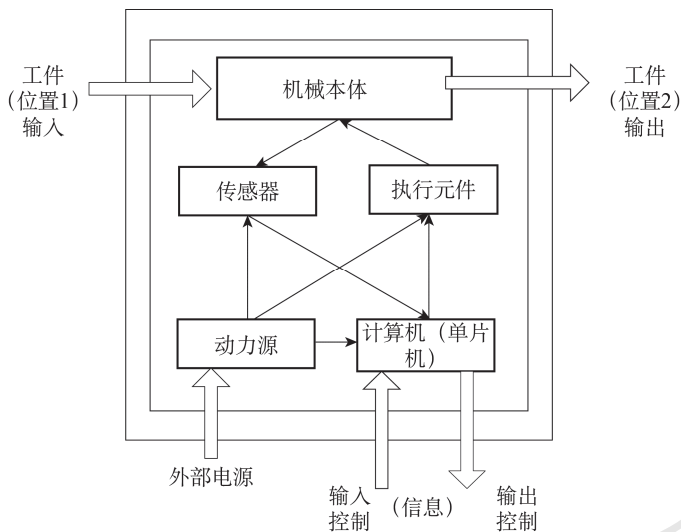


图 1-6 搬运机器人组成示意图

综上所述，机电一体化系统的 5 大组成部分就是构成机电一体化系统的 5 大要素，该 5 大要素及其对应的功能如图 1-7 所示。为了便于理解，将人体系统与智能装备系统做类比，图 1-8 所示为人体系统的 5 大要素及其对应的功能。

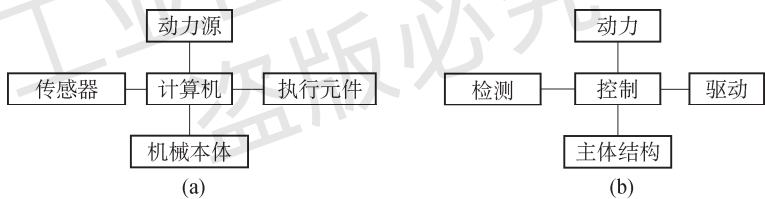


图 1-7 机电一体化系统的 5 大要素及其对应的功能

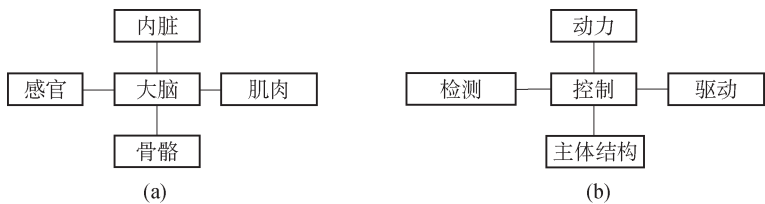


图 1-8 人体系统的 5 大要素及其对应的功能

动力源部分，就像人体内脏产生能量去维持生命运动一样，为系统提供能量和动力以驱动执行元件，使系统正常运转。

传感器部分，就像是人的感官，将检测到的信息传递给大脑，再由大脑做出相应的反应一样，其功能是将系统运行中所需要的各种参数及状况检测出来，转变成一种可以测定的物理量，传递到信息处理部分（计算机部分），经过处理后根据需要做出“反应”。

执行元件部分，就像人体的肌肉接受大脑指挥而驱动四肢运动一样，在控制部分的指挥

下，驱动各执行元件完成各种动作和功能。

机械本体部分，如同人体的骨骼，提供主体结构支撑。

计算机部分，犹如人的大脑指挥和控制全身运动并能记忆、思考和判断问题一样，将来自各传感器的检测信息集中、存储并进行处理，然后按照一定的程序和节奏发出各种指令去指挥和控制整个系统的运行。

机电一体化系统 5 大要素的具体功能如下。

(1) 机械本体。机械本体包括机架、机械连接、机械传动、机械支撑等部件。所有的机电一体化系统都含有机械本体部分，它是机电一体化系统的基础，起着支撑系统中其他功能单元，传递运动和动力的作用。

(2) 传感器。该部分包括各种传感器及其信号检测电路，其作用是监测机电一体化系统工作过程中本身和外界环境有关参数的变化，并将信息传递给计算机，计算机根据信息向执行元件发出相应的控制指令。

(3) 计算机。该部分是机电一体化系统的核心，负责将来自各传感器的检测信号和外部输入命令进行集中、存储、计算、分析，根据信息处理结果，按照一定的程序和节奏发出相应指令，控制整个系统有目的地运行。

(4) 执行元件。执行元件的作用是根据计算机的指令驱动机械部件的运动。工业机器人、CNC 机床、各种自动机械、信息处理设备、办公室设备、车辆电子设备、医疗器械、光学装置、智能家电、楼宇安全系统等机电一体化系统（或产品）都离不开执行元件的驱动。如数控机床主轴的转动、工作台的进给运动，以及工业机器人手臂的运动等。执行元件能在电子控制装置的控制下，将输入的各种形式的能量转换为机械能。如电动机、液动机、气缸、内燃机等，分别把输入的电能、液压能、气能或化学能转换为机械能。

执行元件接收控制器的指令，通过传动机构实现某种特定的功能。根据使用能量的不同，可将执行元件分为电气式、液压式和气压式等几种类型，如图 1-9 所示。电气式执行元件是通过电能产生电磁力，并用该电磁力驱动机构运动。液压式执行元件是先将电能转化为液压能，并用电磁阀改变压力油的流向，从而驱动机构运动。气压式与液压式执行元件的工作原理相同，只是介质不同。其他执行元件与使用材料有关，如使用形状记忆合金或利用压电元件的压电效应等。

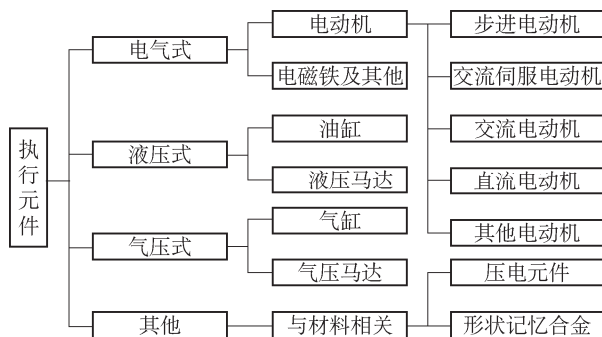


图 1-9 执行元件分类图

(5) 动力源。动力源是机电一体化产品能量供应部分，其功能就是按照系统控制要求向



精密机械传动平台
5 大构成要素分析

机械系统提供能量和动力使系统正常运行。提供能量的方式包括电能、气能和液压能，以电能为主。除了要求可靠性好，机电一体化产品还要求动力源的效率高，即用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功率输出。

任务实施

1.1.3 智能装备机电传动平台 5 大要素的组成分析

智能装备机电传动平台（简称机电传动平台）如图 1-10 所示，主要由三相异步电动机轴传动模块、直流电动机间歇输送机构模块、 X 和 Y 步进双轴运动控制模块（又称“步进电动机双轴运动控制模块”）、交流伺服电动机传动模块、触摸屏和铝合金工作台等几个部分组成。开机后，触摸屏显示设备操作的界面，下面通过实际操作来观察 4 个模块的功能、运动和组成，从而分析对应模块的具体构成要素和对应的功能。

1. 三相异步电动机轴传动模块

触摸屏主界面通过触发“交流模块”，进入三相异步电动机轴传动模块控制界面（见图 1-11），在“速度调节”区设置交流电动机的转速，设置完毕按下“启动”按钮，交流电动机按照设定的转速运动，此时“末端转速”区显示电动机轴的输出转速。

三相异步电动机轴传动模块（见图 1-12）模拟机床主轴变速箱结构，采用变频调速三相异步交流减速电动机驱动，电动机轴输出依次经过同步带、斜齿轮、蜗轮蜗杆和锥齿轮传动。其中，蜗轮输出端和锥齿轮输出端分别连接两个刻度盘，用于标识转过的转角；斜齿轮输出端安装有测速发电机，通过对测速发电机数据进行读取和换算可得出电动机的输出转速。

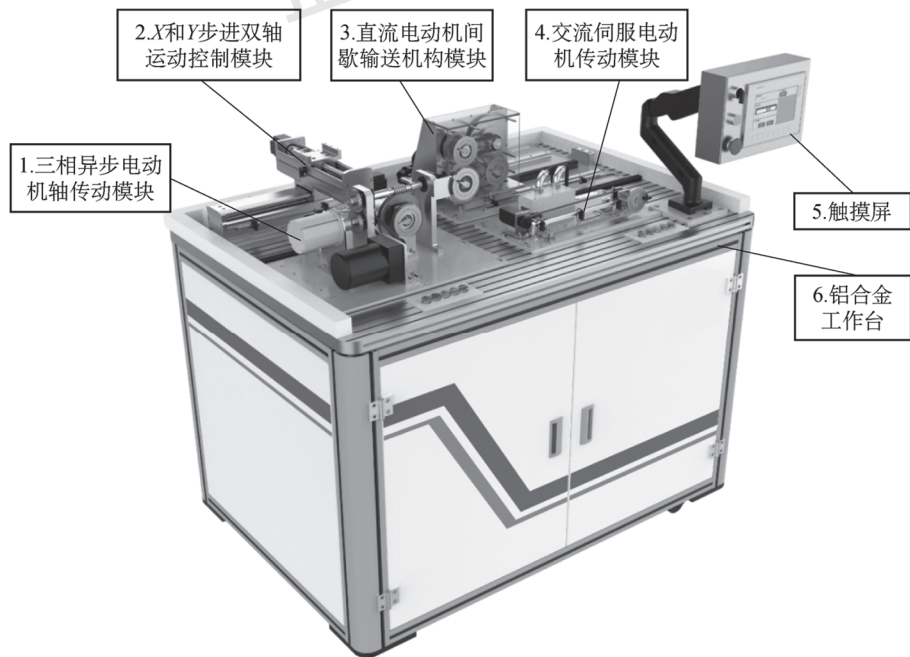


图 1-10 智能装备机电传动平台

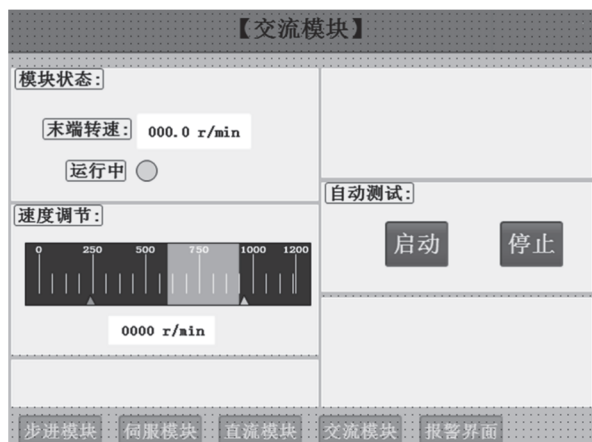


图 1-11 三相异步电动机轴传动模块控制界面

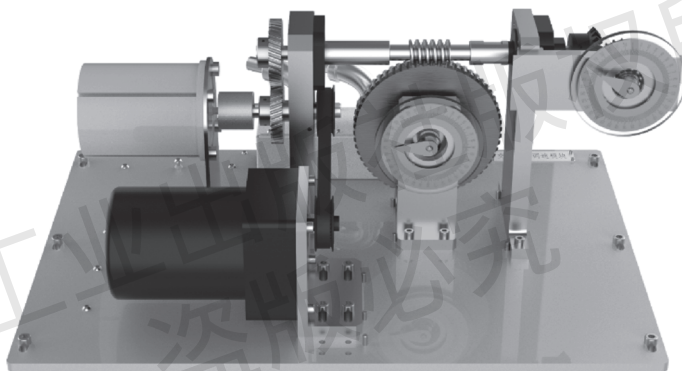


图 1-12 三相异步电动机轴传动模块

三相异步电动机轴传动模块的 5 大要素分析如下。

- (1) 机械本体：三相交流电动机传动模块。
- (2) 执行元件：三相异步电动机 1 台。
- (3) 传感器：测速发电机。
- (4) 计算机：PLC+触摸屏。
- (5) 动力源：220V 交流电源。

2. 直流电动机间歇输送机构模块

在触摸屏主界面通过触发“直流模块”，进入直流电动机间歇输送机构模块控制界面（见图 1-13），在“速度调节”区设置直流电动机的转速，设置完毕后可通过“手动测试”区的“向左运动”或“向右运动”按钮实现输送机构向左或向右运动。按下“启动”按钮，直流电动机间歇输送机构按照设定的转速在齿条的两个传感器之间来回自动运动。

直流电动机间歇输送机构模块（见图 1-14）采用可调电源驱动，电动机轴输出依次经过链、槽轮间歇机构、圆柱齿轮、齿轮齿条传动；整体模块放置于直线导轨上，随着齿轮齿条传动，带动整个模块移动；模块底板两侧安装有光电开关与机械硬限位，使得模块进行往复间歇平移运动。

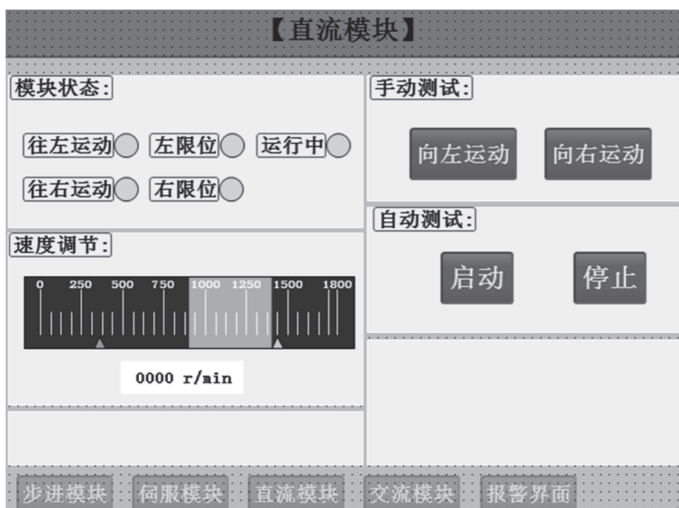


图 1-13 直流电动机间歇输送机构模块控制界面

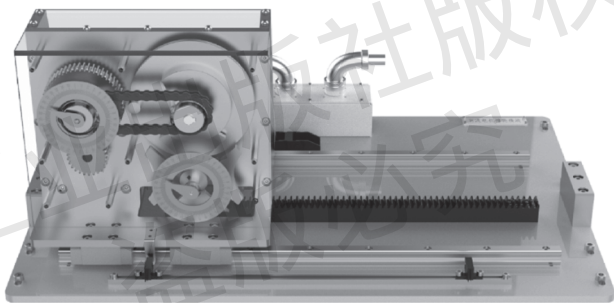


图 1-14 直流电动机间歇输送机构模块

直流电动机间歇输送机构模块的 5 大要素分析如下。

- (1) 机械本体：直流电动机间歇输送机构。
- (2) 执行元件：直流电动机 1 台（安装于传动模块）。
- (3) 传感器：光电开关 2 个（左、右两限位）。
- (4) 计算机：PLC+触摸屏。
- (5) 动力源：220V 交流电源。

3. X 和 Y 步进双轴运动控制模块

在触摸屏主界面通过触发“步进模块”，进入 X 和 Y 步进双轴运动控制模块界面（见图 1-15），在“速度调节”区设置步进电动机的运行速度，设置完毕后可通过“手动测试”区的“X 负向”或“X 正向”按钮实现向左或向右运动。在“回零测试”区按下“回零”按钮可实现步进双轴运动控制模块回到设备零点，然后在“自动测试”区输入设备运行范围内的 X、Y 轴的位移位置，按下“自动测试”区的“启动”按钮就可以运动到对应的位置。

X 和 Y 步进双轴运动控制模块（见图 1-16）由不同行程范围二维直线平移台组合而成。平移台由步进电动机、弹性联轴器、滚珠丝杠螺母副、支撑型直线导轨、限位开关、支架、轴承与连接板等组成。



图 1-15 X和Y步进双轴运动控制模块界面

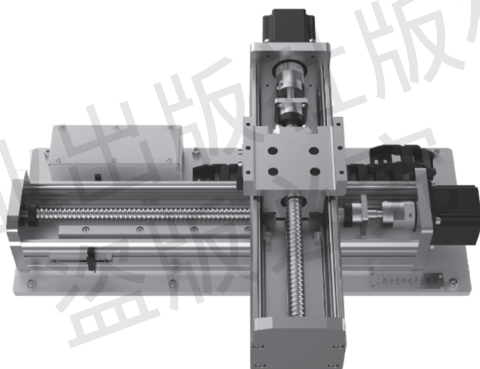


图 1-16 X和Y步进双轴运动控制模块

X和Y步进双轴运动控制模块的5大要素分析如下。

- (1) 机械本体：步进双轴运动控制模块。
- (2) 执行元件：步进电动机2台（分别安装于X轴和Y轴）。
- (3) 传感器：光电开关4个（X和Y轴两侧各2个限位）。
- (4) 计算机：PLC+触摸屏。
- (5) 动力源：220V交流电源。

4. 交流伺服电动机传动模块

在触摸屏主界面通过触发“伺服模块”，进入交流伺服电动机传动模块控制界面（见图1-17），在“速度调节”区设置伺服电动机的转速，设置完毕后可在“回零测试”区按下“回零”按钮实现模块回到设备零点，然后在“自动测试”区输入设备运行的角度就可以运动到对应的角度位置。

交流伺服电动机传动模块如图1-18所示，该模块通过电动机轴与减速器连接，接着通过减速器带动同步带轮，经过同步带后，由另一端的同步带轮带动刻度盘转动，刻度盘上安装光电挡片，起到复位与寻零等功能。

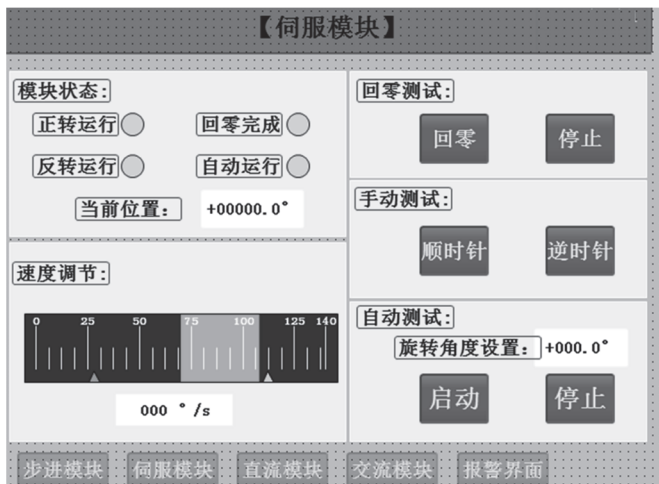


图 1-17 交流伺服电动机传动模块控制界面

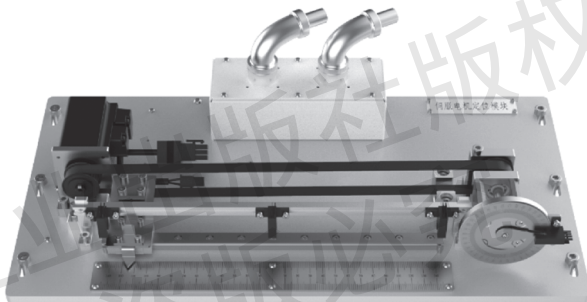


图 1-18 交流伺服电动机传动模块

交流伺服电动机传动模块的 5 大要素分析如下。

- (1) 机械本体：伺服传动模块。
- (2) 执行元件：伺服电动机 1 台。
- (3) 传感器：编码器 1 个，光电开关 3 个。
- (4) 计算机：PLC+触摸屏。
- (5) 动力源：220V 交流电源。

任务小结

智能装备是在机电一体化技术的基础上发展起的，可以利用机电一体化的要素分析法，按照从简单到复杂的认识过程来认识智能装备。本任务从认识简单的搬运机器人出发，通过要素分析法分析搬运机器人的要素组成及其功能。在任务实施中，通过操作认真细致地观察机电传动平台的功能和运动，分析该平台的具体组成要素，同时认识具有同一要素的不同机电产品。通过本任务的学习和训练，使学生具有区分机电一体化产品与电气自动化产品的能力，能够应用要素分析法分析简单智能装备的组成，并认识机电传动平台中用到的具体传感器和执行元件。

任务拓展

1. 基于部件的 5 大要素分析法

在本任务中，分析了搬运机器人和机电传动平台的要素组成，由于这两个设备相对比较简单，通过观察就可以得出设备的各个组成要素，但对于绝大多数比较复杂的智能装备，并不能一眼就可以看清设备的各个组成部分。这时需要将设备分解成各个相对独立的部件单元，结合各个部件的功能进行要素分析。部件是机械系统的一部分，由若干个零件装配而成，形成一个相对独立的功能体。在机械装配过程中，这些零件先被装配成部件（部件装配），然后进行总装配。某些部件（称为分部件）在进行总装配之前需要先与另外的部件或零件装配成更大的部件。如在机电传动平台中，可以分成三相异步电动机轴传动模块、直流电动机间歇输送机构模块、X 和 Y 步进双轴运动控制模块、交流伺服电动机传动模块和铝合金工作台等部件组成。

2. 经济型数控车床 5 大要素分析

图 1-19 和图 1-20 分别是广州机床厂研发生产的 6150 经济型数控车床外形结构图和部件组成示意图。床身采用铸铁铸造，主轴卡盘采用手动方式。其具体的 5 大组成要素分析见表 1-1。



数控机床 5 大要素
构成分析

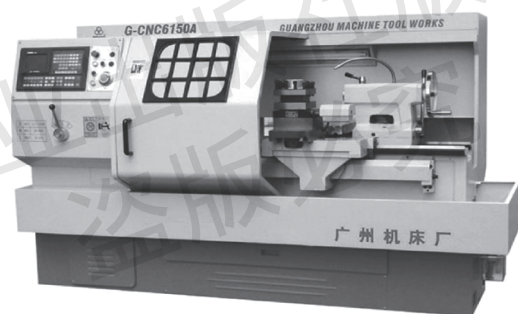


图 1-19 6150 经济型数控车床外形结构图

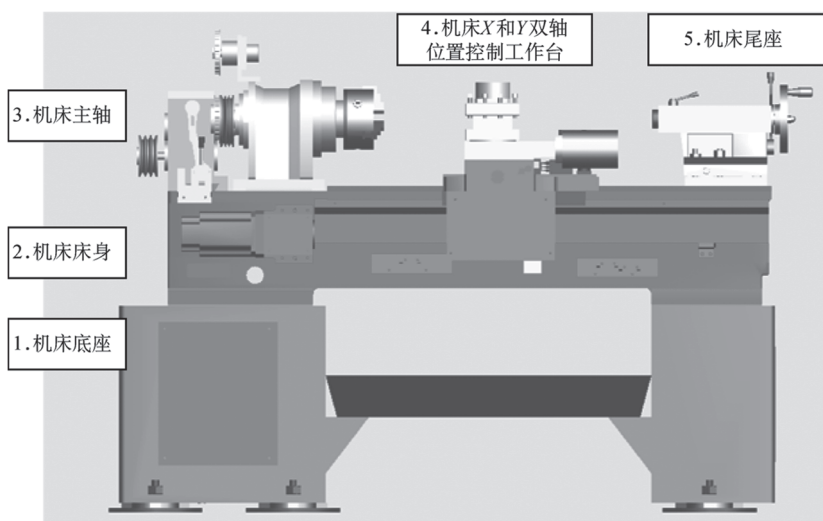


图 1-20 6150 经济型数控车床部件组成示意图

表 1-1 6150 经济型数控车床 5 大组成要素分析

机械本体 (车床部件)	部件要素			
	执行单元	传感器	计算机	动力源
机床底座	无	无	GSK980TD 或 KND- 1000T (专用数控 系统)	380V
机床床身	无	无		
机床主轴	三相异步电动机 1 台	编码器 (用于反馈转速)		
机床 X 和 Y 双轴位置控制工作台	伺服电动机 2 台	编码器 2 个 光电限位开关 4 个 (X 和 Y 轴两侧各 2 个, 用于限制机械运动不超程) 光电零点开关 2 个 (X 和 Y 轴各 1 个, 用于确定机床零点)		
机床尾座	无	无		
机壳	无	光电开关 1 个 (用于确认机壳门已关闭)		

3.5 大要素分析法拓展练习

基于部件的 5 大要素分析法，试着分析数控线切割机床、工业机器人或你认识的智能装备，从系统的角度出发，结合装备各部分的功能和你所知道的执行元件和传感器的应用场合，列出具体的 5 大要素组成。

任务 1.2 智能装备组成要素的接口分析

任务提出

虽然组成机电一体化智能装备的 5 大要素的功能各不相同，但它们之间又是密切联系在一起而形成特定功能的。本任务要求在要素分析的基础上，认识机电一体化智能装备各组成要素之间的相互联系，并通过观察机电传动平台各个要素之间的联系，认识各个要素之间联系的具体接口形式。本任务的内容可进一步细分如下：

- (1) 机电一体化智能装备的接口组成；
- (2) 机电一体化智能装备的发展趋势；
- (3) 智能装备机电传动平台各模块的接口分析。

知识准备

1.2.1 机电一体化智能装备的接口组成

机电一体化智能装备的 5 个基本组成要素之间并非是彼此无关或简单拼凑、叠加在一起的，在工作时它们各司其职、互相补充、互相协调，共同完成所规定的功能。因此，机电一体化系统的各要素或子系统之间必须具备一定的联系条件，才能顺利进行物质、能量



机电一体化智能装备的接口分析

和信息的传递和交换，这些联系条件称为接口（Interface）。图 1-21 所示为机床 X 和 Y 双轴位置控制工作平台驱动系统组成，计算机（PLC）是一个基本要素，步进电动机属于执行元件，也是一个基本要素，但计算机和步进电动机之间并不是直接相连的，而是通过步进驱动器连接在一起的，计算机向步进驱动器发送运动指令，而步进驱动器输出驱动步进电动机运行的相序电流，从而驱动电动机运转。步进电动机和机械本体之间也不是直接相连的，它们通过联轴器连接在一起。

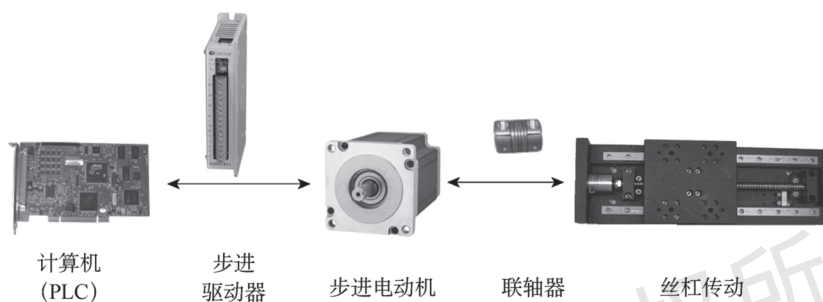


图 1-21 机床 X 和 Y 双轴位置控制工作台驱动系统组成

因此，从机电一体化产品的内部构成来看，机电一体化系统是由许多接口将系统的 5 大组成要素的输入/输出连接为一体的。如图 1-22 所示，从这个观点来看，系统的性能很大程度上取决于接口的性能，各要素或各子系统之间的接口性能就成为综合系统性能好坏的决定性因素。从某种意义上说，机电一体化产品的硬件本体组成其实就是 5 大组成要素及其接口，因此机电集成技术的核心技能就是针对要素和接口应用的相关技能。而从广义的智能装备组成的自动生产线来看，随着“互联网+”时代的到来，智能装备在应用上不是孤立的，联系的空间更为广泛，其不仅可以跟现场的自动化设备组网，还可以和远程的操控、监控系统组网，因此，广义上的机电集成技术的技能还包括工业互联等相关技能。

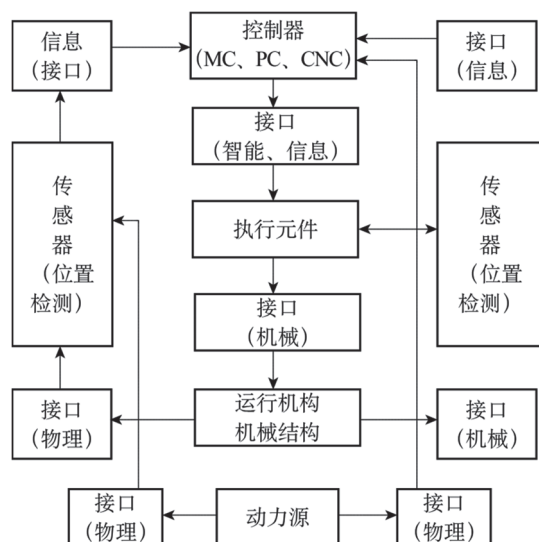


图 1-22 机电一体化智能装备构成要素之间的关系

1.2.2 机电一体化智能装备的发展趋势



机电一体化智能装备的发展趋势

近几年来,随着科技的飞速发展,要素、接口和它们所形成的智能装备也获得突飞猛进的发展。“中国制造”向“中国智造”转型的故事正在上演。随着5G时代的到来,众多中国科技企业也在迅速崛起。而随着人口红利消失,制造业成本上升,国家近年发布多项政策支持制造业转型升级,也进一步推动了“中国智造”的发展进程。机电一体化智能装备的发展趋势如下。

1. 智能化

智能化是21世纪机电一体化技术发展的一个重要发展方向。随着语音技术、自主移动技术、定位导航技术、感知识别技术等多项先进技术的发展和国家加快建设制造强国的要求,各行各业正在加快人工智能技术与制造装备的深度融合,正在加速“智能制造”的创新协同发展。2020年新型冠状病毒感染疫情期间,不少智能制造企业展示出自己的“智造”实力。面对居民出行受限、企业复工受阻、医护人员短缺等情况,一些智能制造企业凭借技术积累和制造优势,推出送餐无人机、自动测温机器人和智能医用服务机器人等,助力疫情下的生活运转。

2. 模块化

模块化是一项重要而艰巨的工程。由于机电一体化产品的种类和生产厂家繁多,研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口的机电一体化产品单元是一项十分复杂但又非常重要的工作。如研制集减速、智能调速、驱动于一体的动力单元,具有视觉、图像处理、识别和测距等功能的控制单元,以及各种能完成典型操作的机械装置。这样,可利用标准单元迅速开发出新产品或重构出新功能,增加柔性,同时也可以扩大生产规模。这需要制定各项标准,以便各部件、单元的匹配和连接。

3. 网络化

生产设备依托安全的生产网络和系统,能够实现智能校正、智能诊断、智能控制、智能管理等功能系统和生产设备之间的智能化信息交换,可明显提升设备的协同性和开放性。网络化是工业互联网的基础,是“互联网+先进制造业”的重要基石。

4. 微型化

微型化兴起于20世纪80年代末,指的是机电一体化产品向微型机器和微观领域发展的趋势。国外称其为微电子机械系统(MEMS),泛指几何尺寸不超过 1cm^3 的机电一体化产品,并向微米、纳米级发展。微机电一体化产品体积小、耗能少、运动灵活,在生物医疗、军事、通信等方面具有不可比拟的优势。微机电一体化产品发展的瓶颈在于微机械技术,微机电一体化产品采用精细加工技术,即超精密技术,如光刻技术和蚀刻技术。

5. 绿色化

机电一体化智能装备产品的绿色化主要是指产品使用时不污染生态环境,报废后能回收利用。现阶段我国装备制造业的产业结构与生产方式将由传统制造模式转变为绿色制造模式。“十四五”期间,我国装备制造业将持续推进绿色、循环、低碳的发展模式,进一步提高装备制造业产品的可回收性与可拆解性。设计和生产绿色的机电一体化智能装备产品,具有远大的发展前景。

6. 数字孪生化

数字孪生化技术是指通过对物理对象构建数字孪生模型，实现物理对象和数字孪生模型的双向映射，已应用于产品研发设计、生产制造等环节。在制造领域，通用电气公司利用数字孪生技术，对飞机发动机进行实时监控、故障检测和预测性维护，防患于未然；法国达索系统公司基于数字孪生技术开展对汽车研发的模拟仿真，为宝马、特斯拉、丰田等公司的汽车产品进行优化设计，显著缩短研发周期，大大降低了传统物理测试的成本。

7. 人性化

机电一体化智能装备的最终使用对象是人，如何给机电一体化产品赋予人的智能、情感等显得越来越重要，机电一体化产品除了完善的性能，还要求在色彩、造型等方面与环境相协调，使用这些产品，对人来说还是一种艺术享受，如家用机器人的最高境界就是人机一体化。

任务实施

1.2.3 智能装备机电传动平台各模块的接口分析

1. 三相异步电动机轴传动模块

三相异步电动机轴传动模块的接口分析图如图 1-23 所示。PLC 采用西门子 1200 系列 1215C CPU，该 CPU 采用直流电源供电，采用直流电源输入和晶体管输出。从工频电源到 PLC 供电，需要经过一个接口模块——开关电源。PLC 和触摸屏之间，通过总线接口进行通信。PLC 对三相异步电动机的调速通过接口模块——变频器实现。PLC 给变频器提供输出频率信号，从而调节三相异步电动机的转速。三相异步电动机和交流电动机主轴传动模块通过接口模块——同步带轮进行连接。经过交流电动机主轴传动模块减速后的输出轴和测速发电机通过联轴器连接在一起，测速发电机输出的转速模拟量信号通过 PLC 的模拟量转数字量接口，即 A/D 转换模块，转换为数字量，并可以在触摸屏上输出转速。

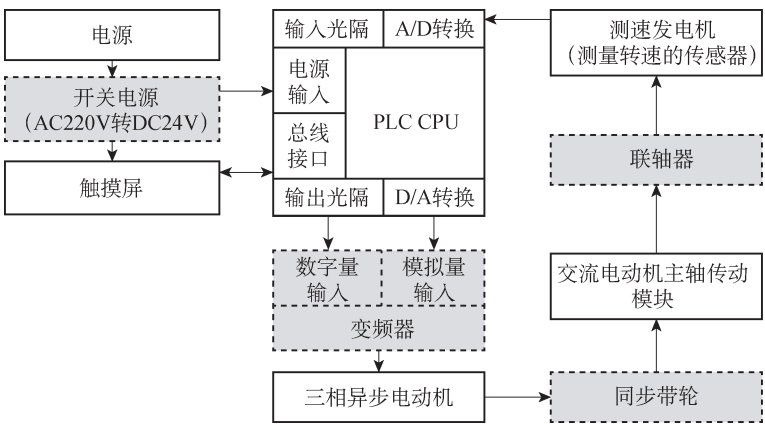


图 1-23 三相异步电动机轴传动模块的接口分析图

2. 直流电动机间歇输送机构模块

直流电动机间歇输送机构模块的接口分析图如图 1-24 所示，电源、触摸屏与 PLC 之间

的连接和三相异步电动机轴传动模块一样。PLC 对直流电动机的调速通过接口模块——可调直流电源（开关电源）实现。PLC 给可调直流电源提供输出直流电压信号，从而调节直流电动机的转速；PLC 提供直流电换相信号，从而控制直流电动机的正反转。直流电动机和直流传动模块通过接口模块——联轴器进行连接。左、右侧的光电开关通过螺丝固定在传动模块的机械本体上，光电开关的数字量信号通过 PLC 的输入光耦隔离模块（对应图 1-24 中的“输入光隔”）输入 PLC，从而识别光电开关的输入信号。

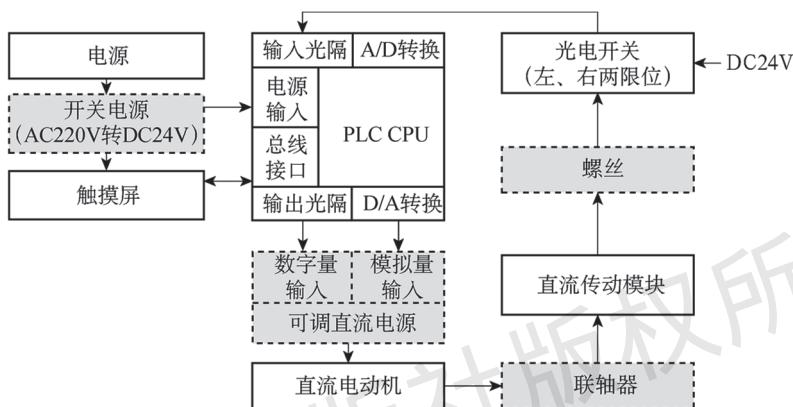


图 1-24 直流电动机间歇输送机构模块的接口分析图

3. X 和 Y 步进双轴运动控制模块

X 和 Y 步进双轴运动控制模块的接口分析图如图 1-25 所示。PLC 输出高速脉冲信号和方向信号给步进电动机驱动器，步进电动机驱动器接口模块根据脉冲的频率为步进电动机供电，进而控制步进电动机的旋转方向。步进电动机和 X、Y 双轴位置控制模块通过接口模块——联轴器进行连接。左、右侧的触点开关和前、后两侧的光电开关通过螺丝固定在传动模块的机械本体上，光电开关的数字量信号通过 PLC 的输入光耦隔离模块（对应图 1-25 中的“输入光隔”）输入 PLC 的 CPU，从而识别触点开关和光电开关的输入信号。

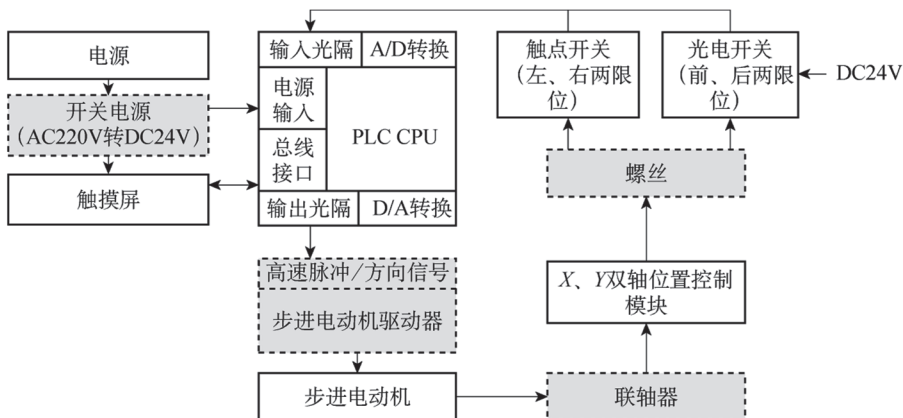


图 1-25 X 和 Y 步进双轴运动控制模块的接口分析图

4. 交流伺服电动机传动模块

交流伺服电动机传动模块的接口分析图如图 1-26 所示。PLC 输出高速脉冲信号和方向

信号给伺服电动机驱动器，由伺服电动机驱动器接口模块根据脉冲的频率为伺服电动机供电。PLC 提供的脉冲频率越高，伺服电动机驱动器提供给伺服电动机的电源频率越高，伺服电动机的转速也越高。该模块根据方向信号来控制供电的顺序，进而控制伺服电动机的旋转方向。伺服电动机本体的后面是编码器，编码器输出高速脉冲信号给伺服电动机驱动器，从而实现伺服电动机旋转角度的位置反馈。伺服电动机和伺服电动机传动模块通过接口模块——联轴器进行连接。零点光电开关的数字量信号通过 PLC 的输入光耦隔离模块（对应图 1-26 中的“输入光隔”）输入 PLC，实现零点信号的输入。

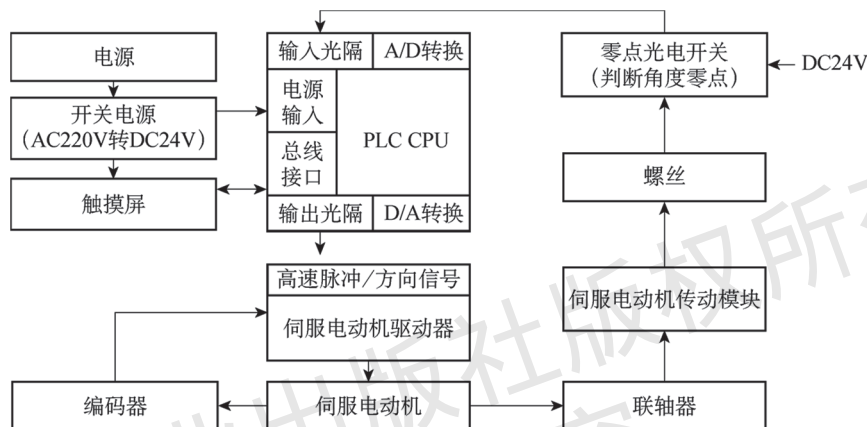


图 1-26 交流伺服电动机传动模块的接口分析图

任务小结

通过本任务的学习和训练，在宏观层面，使学生认识到当今时代，知识更新不断加快，社会分工日益细化，新技术、新模式、新业态层出不穷。这既为青年学生即将施展才华、尽展风采提供了广阔舞台，也要求青年学生提高内在素质，锤炼过硬本领，使自己的思维视野、思想观念、认识水平跟上时代的快速发展。微观层面，要求学生可以从系统组成要素和联系普遍性的角度来认识智能装备及其发展趋势，要求学生具备机电传动平台各组成要素之间相互联系的接口分析能力，能够画出接口分析图，并认识机电传动平台不同要素接口的具体实现形式。

任务拓展

1. 对课程技能训练的认识

本书对应课程将智能制造生产线典型的要素进行抽象和融合，抽象出 4 个教学模块，即直流电动机间歇输送机构模块、三相异步电动机轴传动模块、X 和 Y 步进双轴运动控制模块和交流伺服电动机传动模块。并将这 4 个模块集成在一起，构成智能装备机电传动平台，然后对其进行虚拟孪生，形成智能装备机电传动平台仿真资源。本课程以培养学生机电一体化智能装备要素及接口的选型、分析、应用及集成能力为目标，选取智能装备机电传动平台作

为整个课程的项目载体，并且每个模块包含各不相同的常见智能装备传动机构及相关传感器。在控制上，采用西门子 1200 PLC 和触摸屏人机界面，能够直接面对生产线上的实际应用需求。课程内容按照总一分一总的方式、从简单到复杂分解成 7 个任务，每个任务又细分为多个子任务（共 17 个），每个子任务包括 6~10 个知识点和技能点，形成了以模块化实践任务为骨架、以知识点和技能点为内容的实践导向结构化课程体系。在教学设计方面，以任务为驱动，突出实践性、应用性、职业性，体现“教、学、做合一”的理念，并且任务也可以在仿真平台实施，脱离了硬件平台的约束。实践导向的结构化课程内容设计如图 1-27 所示。

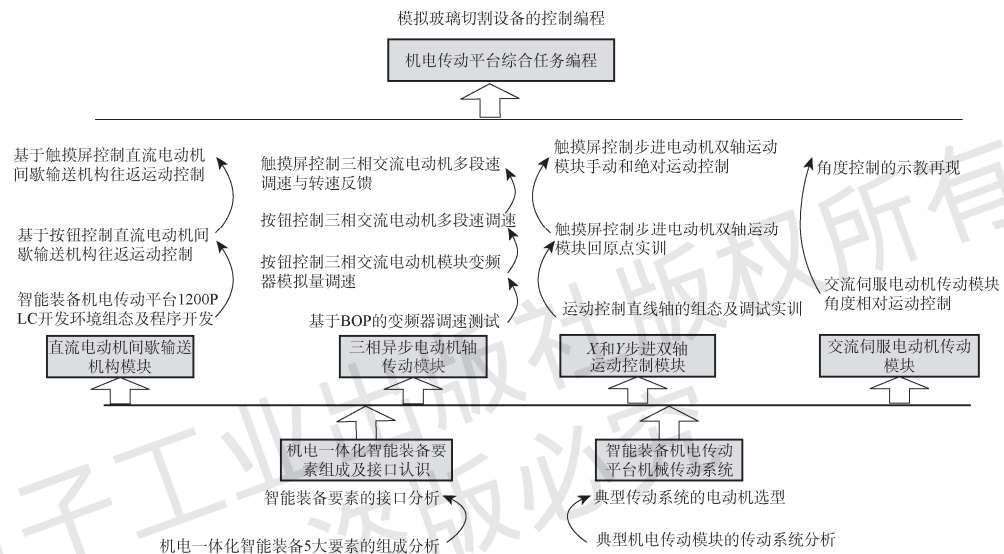


图 1-27 实践导向的结构化课程内容设计

2. 拓展训练

根据本任务对智能装备机电传动平台的要素接口分析思路，请对 6150 经济型数控车床的要素进行接口分析，并画出接口分析图。