

《机电集成技术》丛书

6

机械控制模块学

孙跃 唐朝伟 梁锡昌 编著



重庆出版社

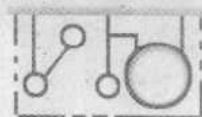
《机电集成技术》丛书

6

TH
S97

机械控制模块学

孙 跃 唐朝伟 梁锡昌 编著



W X H Q U D E L B C I A M S F R D



重庆出版社

责任编辑 刘 翼

封面设计 吴庆渝

技术设计 刘黎东

0451-2222222

丛 书 序

早在 18 世纪，以纺织机和蒸汽机为代表的机械的出现，推动了人类社会发展的第二次产业革命。作为工业革命先锋的机械，曾经对人类经济和社会发展作出过巨大的贡献。但是，世间一切事物的发展规律，总是从产生、发展、壮大，到达鼎盛时代，然后逐渐衰亡。机械工业的历史也是如此，机械工业产生后，逐渐发展，直至 20 世纪三四十年代以汽车广泛进入家庭为顶峰，之后，机械本身的许多零部件，如传动、控制、计算机等，逐渐被其他技术代替，机械产业在国民生产总值中的比重逐渐下降，发展到 90 年代，国内外许多机械工厂的经济效益低下，相当多的工厂，其百元利税已低于银行贷款利率，而无利可图，机械工业被某些经济学家视为夕阳工业。

我国是一个社会主义的大国，必须从经济及社会的协调发展的角度，来确定机械产业的地位。机械产业的任务是向国民经济各个部门提供现代化装备（即硬件），如冶金需要冶金设备，发电需要发电设备，交通需要火车、汽车、飞机，建筑需要工程机械，造纸需要造纸机械，电视机厂需要各种装配机械，农业需要拖拉机，国防需要飞机、大炮等。概括起来看，可以说现代文明社会的任何工业生产、农业生产、第三产业、国防建设都是由现代化的机械设备所支撑的。另外，作为国家财富，如工厂、矿山等，都是由厂房和设备组成的，其中设备投资占一半以上，也就是说，机

机械设备占国家财富的比重在一半以上。由此看出,机械设备产业又是国家基础产业,必须与社会协调发展,制造出更好的机械设备满足国民经济各个部门的需要。以我国目前的外贸为例,机电产业是我国出口的第二大产业,这说明它给我国创造了大量外汇;但另一方面,它又是我国进口的第一大产业,消耗了我国大量的外汇,表明我国的机电产业远不能满足我国社会经济发展的需要,急需加快发展,尤其是发展更高精尖、智能的现代产品。

前面谈了机械产业的发展历史,它的基础地位。现在来讨论一下机械的定义和内涵。我们翻阅了各种辞典,却没有找到一个对机械的满意的定义。这里,我们试着归纳机械专家们的意见,将机械定义为:机械是由动力模块、传动变换模块、执行模块、电脑模块、控制模块组成的,能完成一定工作的装备。首先,任何机械都应该能作某种工作,如提升物体、收割、代步、包装、制造零件等,目前机械完成的工作,主要指运动、操作类的工作。而要完成一定的工作,就得有执行部件,如抓具、收割刀、车轮、包装手、刀具等,从模块化的思想出发,统称为执行模块;机械要动作,就得有动力源,即能量变换模块;要将标准动力传递并变换到适合执行部件的需要,都得有传动变换模块;机械要具有自行工作的智能,就得有运算、存储、学习等功能的电脑模块;要完成电脑与机械各模块的信息通讯控制,就得有控制模块。这就是多数现代机械的基本组成,也可以说,现代机械是由机类模块(原动力模块、传动变换模块及执行模块的总称),电脑类模块和电子控制类模块组成的,能完成一定工作的系统。机械是一个 mechanical cell, electron cell and computer cell integrated system,即机械是一个机电集成系统(MECIS)。例如,一台国产三坐标数控铣床,它的机械部分,包括电动机、变速箱、伺服电机、机座等,统属机类的模块,值10多万元;它的计算机值10多万元;数控箱值20多万元,总售价约50万元。一架国产的战斗机,它的发

动机、机翼、机身等机类模块，值约 2000 万元；它有 300 多个计算机，值 3000 万元；它的电子控制模块值 4000 万元，总售价 1 亿元。从成本分析可以大致看出，现代机械类产品的成本构成中，机类模块、电脑模块、电子控制模块已达到三分天下的局面。其他两类模块和机类模块比较起来，其技术难度和复杂性上，也毫不逊于机类模块，也就是说，从机电集成机械的技术构成上讲，也是三分天下的局面了。好在这些集成设备的总体设计、评价，非原机类专家莫属，总工程师仍须由机械专家担任。上面讲到一台现代机械是一个机电集成系统，因此，机械也可以定义为由电脑模块、控制模块、各种机构模块组成的，能完成某种任务的机电集成系统。推广来看，一条生产线是一个机电集成系统，一个生产厂也是一个机电集成系统。

近 20 年的发展表明，纯粹由机构组成的机械正在消亡，代之以机电集成系统构成的新型机械正在兴起。作为反映生产的机械科学必须更新，并采用新的机电集成理论代替。这就是机械科学面临的挑战，传统的纯机械专家和工程师面临的挑战。以机床厂为例，如果生产老式车床，每台售价只有几万元，工厂必然垮台，而生产数控车床，每台售价猛增为几十万元，如能转产，将推动工厂向高科技产业转移。

撰写本丛书的构思之一是，工程类学科的理论是产业或一大类产品（如汽车）的反映，既然生产实践已由纯机械发展到机电集成装备，则像现在这样的纯机械理论就理应予以更新，及时地发展为机电集成学科理论。在机电集成装备已差不多三分天下的局面下，在机电集成理论的内容比例上，对三者也差不多应是三分天下，给予同等重视。采用机电集成理论培养出来的专家，是三者皆懂行的专家，才能担任整个机电设备的总工程师，否则只能是只懂某一行的部件工程师。

撰写本丛书的构思之二是，由于机械产业起源很早，当时的

文明程度、基础研究和一般工程方法均不发达，因此，各种机械的著述多是产品的直接反映，如汽车、机床、飞机等。随着产品种类的增多，机械著述门类跟着增多。其研究方法，仍多沿用经验总结，实验找规律的方法，内容多而庞杂，很难掌握。总之，缺乏科学性和系统性，至今尚没有提出反映各种机械共同规律的，只要掌握了它，就能对各类机械一通百通的理论体系。现代工程的共同基础是系统论、信息论、控制论和智能论。我们用系统论的观点来分析机械，将不难发现，不论是哪种机械，如汽车、轧钢生产线、纺织机……，不论它们的用途或外观有多大的不同，它们内在的共同性，都是由整机、部件和元件几个层次构成；都是由运动传递、能量传递、信息传递，以及润滑、控温等系统构成的。采用现代系统论来分析机械，很容易讲清楚机械的内部规律，共同规律。采用信息论的方法，我们更容易认清机械信息的产生、变换、传递、处理、控制、显示的共同性，将可统一目前分布于测试、诊断、监控等各种专著中的零星、局部的叙述。采用现代控制论来研究机械的共同控制原则、方法、系统，亦有统一和提高各种控制著述的作用。现代机械的发展，正在走向智能化，机器人的迅猛发展充分证明了这一点，今后的车床自带车工、汽车自带司机的时代正在到来。理论总是要先于实践的，因此，必须用智能论的基础来牵引机械产业向智能机械、生产流程向智能制造迈进。为此，我们采用了新的系统，即用机械系统学、机械信息学、机械控制学、机械智能学来分析、认识机械，试图找到机械的共性理论。

撰写本丛书的构思之三是模块化。我们的目标是希望找到机电集成的共性理论，掌握这套理论就能成为掌握宏观机电集成技术的人才。这要涉及计算机、自动化、机械三个大学科的浩瀚知识，涉及到知识量过多的处理问题。现在国内外从事机电一体化专家均为此不得其解。我们记得在 60 年代时，学习工业电子学

得从设计放大器的元件讲起，后来集成电路的出现，把自动化专家们从元件设计中解放出来，发展到功能模块的选用，因此，我们这些外行也能拼凑控制电路了。借鉴这种思想，我们认为机械也应当可以由零件设计发展成为部件的选用、模块化选用。用模块来构成机电装备。于是，任何机械都是由机械类模块、控制类模块、电脑模块所组成，将模块的功能和选用讲清楚了，组成机械的单元就掌握了。从而将机械专家从模块中的元件设计中解放出来，只要懂得选用各种机、电、计算机模块就行了。因此本丛中《机械模块学》、《机械控制模块学》、《机械控制计算机》三个分册专门讲述模块化、标准化、系列化和选用原则等问题。

由以上四大理论认识机械的共性，由三种模块认识机械的单元，由此便构成了机械工程新理论体系。我们希望，通过此新体系来造就一代掌握现代机电集成机械的宏观人才。

本丛书的理论意义在于，使机械理论及时地反映生产现实，因而能指导生产发展，解决当前机械工业面临的经济效益低下问题。从长远看，它将引导机械工业向机电集成的高新产业发展。

本丛书的实际意义在于，它解决了当前机械工厂总工程师无法掌握机电集成产品所需具备的机械、电子、计算机三个学科知识的问题，它还解决了大学本科机械工程师一个人在四年学习期间无法全面掌握机械、自动化、计算机三个方面的知识问题。

《机电集成技术丛书》编委会

1994 年 4 月

序 言

就我国目前机电集成设备而言，其电控线路以及驱动伺服线路尚无统一规范形式，这种非规范化和分散性使装置的设计者目前还处在根据不同的设备个体进行从基本线路设计、零件选择到实现等的传统式分散处理和专一设计。这样的设计和实现，不仅耗时耗力，同时，由于电路元件和结构的分散性以及设计人员知识的局限性使其在设计和研制过程中常常出现顾此失彼而无法周全考虑的问题，从而大大降低了系统的性能水平和设计研制过程中的工作效率。纵观现代电子技术的发展及成果，我们看到，现代电子技术以一定的功能和通用线路为目标而形成的标准电子线路模块（集成电路），为电子装置设计人员带来了极大的方便，从而也大大提高了现代电子装置的性能和可靠性。

本书借鉴电子线路模块化的基本思路和有关成果，在分析综合大量机械设备尤其是现代机械设备的电控及驱动伺服线路的功能及基本线路结构的基础上，提出了基于通用电气模块和部分专用模块的现代机电集成设备电气控制系统的新型模块化结构体系，并就适合于现代机电集成设备电气控制系统的部分通用和专用化适用模块进行了详细的讨论。

1. 模块化的内容

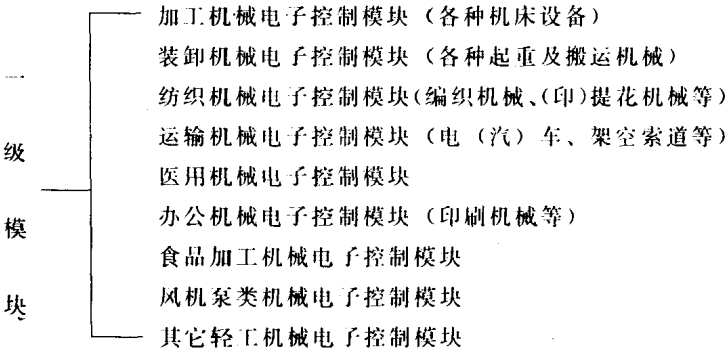
我们认为，从模块化角度讲，现代机电集成设备是由机类模

块（原动模块、传动变换模块及执行模块的总称）、电子控制类模块、智能控制类模块和传感及检测类模块四大模块类组成的能完成一定功能的系统。上述机电设备的四大类模块根据各自设备的基本结构要求、特性要求和用途，又可分别分解出各类的一级、二级、三级等多级多层次模块结构。本书仅就机电集成设备的电气系统电子控制模块的硬件结构进行模块化分解、分类并作全面系统说明。

机电集成设备电气系统的电子控制模块实现设备的部分控制功能、电力驱动、信息处理、状态信息的输入输出等功能。是设备的控制和运算中心。

我们建立的模块体系及其分类方法采用纵横向立体分类法，从机电集成设备的电气系统中分解出一级、二级、三级模块。

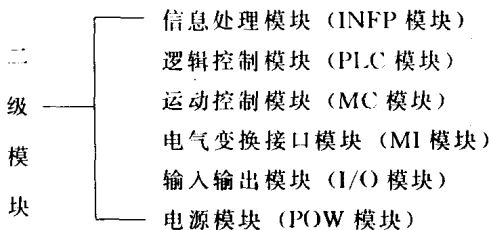
所谓一级模块是以设备功能为分类的依据，其基本类型分类如下：



每种一级模块对应一大类机械设备，而每一大类机械又有多种具体的设备。这就是说一级模块的每一类型中又包含多种具体设备模块。一级模块的一个显著特征是模块往往就是一个有一定功能的完整系统。因此，又称该模块为设备级模块。

一级模块建立的目的是：建立各类机械设备的统一化、标准化和通用化系统结构，以适应机械设备设计制造时将整个电控部分作为一个单元进行快速合理地选用。

事实上，各种设备的差异使一级模块具有很强的个体差异，其通用性非常差。但总结分析各种一级模块我们不难发现，从一级模块中又可以抽取出许多较通用的子功能单元，而整个系统就是由这些子功能单元的不同组合形成。从一级模块中抽取出的这些通用的子功能单元归为二级模块，又叫功能级模块，基本分类如下：



INFP 模块：是设备信息处理及控制中心。现代机械通常是以电脑（系统）为核心配以必要的存贮和接口芯片。

PLC 模块：实现机械动作和有关输入/输出的逻辑关系的运算和控制。它有两种构成方式：一种是用继电器、接触器等有触点器件电路实现，另一种是电子逻辑控制电路，有的甚至直接选用可编程序控制器（工业 PC）。

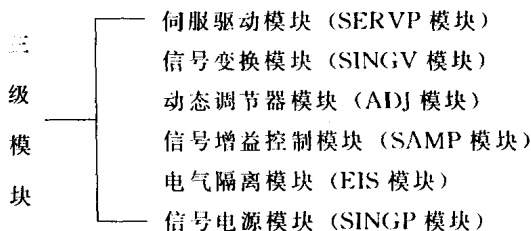
MC 模块：机械设备的任务几乎都是通过一定规律的运动来实现的。在机电集成系统中实现运动动力的是电动机或电磁执行机构，运动控制模块就是实现对电动机的有效驱动和控制。

MI 模块：实现电气系统模块间的电气连接、信号变换及隔离。

以上各二级模块类型上包括了构成机电集成设备电气系统的

各要素单元。但各模块在具体结构形式和原理上一般都有几种模式以求得到不同品质参数。通过适当选配这些二级模块和组合形式便可实现一级模块的各种功能。

二级模块因考虑其大范围的通用性，导致其结构复杂且单元价格必定较高。况且，在有些情况时，往往需要一个非常单一和简单的功能单元，这些功能单元在二级模块中并无直接体现（如弱信号放大、电气隔离、信号发生等）。为了能方便有效地制作二级模块和实现某一功能电路，我们通过对二级模块进行结构分解和分类并结合机电集成系统的实际需要，提出并形成了以电路功能为目的的单元电路——三级模块。我们又称之为电子功能模块。三级模块的基本类型如下：



2. 机电集成设备模块化的实际意义

机械设备模块化的实际意义主要体现在以下几个方面：

1. 可使传统机械工业得到振兴，并向高科技产业发展。

作为一种模块化了的设备，设备功能、成本、性能等方面改变很容易通过有关功能模块的选配及再组合来实现，使设备功能向柔性化、多样化方向发展；另一方面便于采用计算机进行过程控制，使产品向自动化、智能化、集成化等方向发展。

2. 模块化机械产品互换性强，便于维修。

由于模块化机械产品是由一些具有互换特性的标准化模块集

成，可大大简化机械产品的生产和维护。

3. 模块化机械产品用通用标准模块组合形成不同设备，从而妥善解决了多品种小批量和大批量加工之间的矛盾。同时变过去的设备备份为模块备份，从而大大降低了备份装置的费用。另一方面有利于采用现代先进的设计和加工技术（如 CAD/CAM 等），从而大大提高生产效率、减少废品率。

4. 有利于企业根据市场变化采用先进技术改造旧产品和开发新产品。

随着技术的发展和市场竞争的日益加剧，客观上要求企业不断增强对市场需求的快速应变能力，但是要实现这一点，靠传统的设计与制造等方法显然是不现实的，而机械产品的模块化设计制造方法，由于可以不断地采用最新技术，革新那些在结构上或技术上已经陈旧的模块，并在不改变其它尚属实用模块的基础上集合成先进的产品，使产品不断保持先进性，从而增强了企业对市场变化的适应能力。

5. 有利于减轻机械产品设计、制造及装配专业技术人员的劳动强度。

传统的机械产品设计思路是从具体零件设计开始的，需要相应的专业技术人员掌握大量的力学、机械原理、机械零件、材料甚至电工知识等相关基础理论知识，耗费装置设计技术人员大量的时间和精力。而利用模块化设计方法则不需要装置设计技术人员考虑各种具体单一零件和部件的设计，只需会选用现成的各种不同层次的标准化功能模块即可。从而可减轻他们的劳动强度，大大节省了时间和精力。

6. 有利于统筹机械产品的制造和供货期限以赢得用户。

不同用途的机械，是通过相应层次和功能的模块集合而成的而非各个单一零件的组合装配，因此机械产品的更新周期短，这是因为：其一，产品的系列化设计因系列中存在很多通用模块，使

设计周期较传统方法短；其二，当进行模块化设计之后，便可采用全部现成模块或加之少量专用模块来集成用户所要求的品种；其三，可以从基型模块化产品，派生出若干模块化变型产品来；其四，模块化设计出来的机械产品，是按功能模块组织生产的，由于同一层次、同一功能的模块，其加工模具、工艺流程及工艺装备都是定型的，产品的制造周期必然比传统制造周期要短。

7. 有助于培养适应于现代机械工业的人才。

随着科学技术的进步、社会生产和经济的发展，客观上要求各类专业人员的知识体系必须符合时代所需。因此机械模块学新理论体系的提出，有助于培养出新一代的机械专业人才，必将对 21 世纪机械工业人才的培养，产生深刻的影响。

3. 本书的主要内容

第一至第五章为电气伺服驱动模块部分，所谓电气伺服驱动模块，以电磁执行机构（如电动机或伺服电动机等）为电气/机械变换机构，配合以一定的功率驱动电路形成，实现输出机械量依照控制信号的规律运动。从宏观上看，伺服驱动模块实际上是一种实现电控信号（运行命令）到机械量输出的转换。其功能示意如图 0-1 所示。

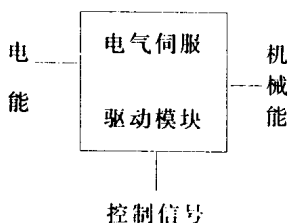


图 0-1 电气伺服驱动模块功能示意图

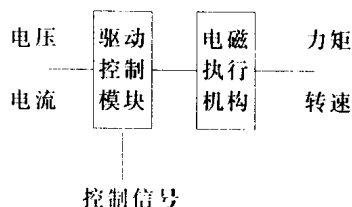


图 0-2 电气伺服驱动模块基本结构框图

在机电一体化设备中，它是设备电控部分与机械运动机构部分的接口模块，是机械运动的驱动源之一。该模块以电磁执行机构（主要是电动机或伺服电动机）为核心，包括电磁执行机构、驱动控制模块这两大部分，如图 0-2 所示。

电磁执行机构的功能是实现电能向机械能（运动）的转换，产生与输入电能相当的机械负载驱动量。

驱动控制模块实现对电磁执行机构的直接驱动控制，包括对电磁执行机构输出的运动量（速度和角位移）和力能量（转矩）的间接控制，以及对能量（信号）流的方向控制。通常该模块又由两个部分构成——主电路和控制电路。其中主电路又叫功率电路，用于直接对主能量流的大小、流向等的控制以求达到对磁执行机构的驱动控制。功率电路的主要元器件通常是功率电子元器件，该部分具有承受相当电压、电流（即功率）的能力，并且应具有希望的被控性、快速性 etc 能力。它是实现强电能量弱电控制的关键。

控制电路功能主要是根据功率电路的运行原理要求实现对功率电路中电子功率器件的规律控制。

电气伺服驱动模块按电磁执行机构的功能可分为电气驱动模块和电气伺服模块两大类型。电气驱动模块中的电磁执行机构为普通大功率驱动电动机（简称普通电动机），电气伺服模块的电磁执行机构为伺服电动机。

电气伺服驱动模块按其电磁机构输入电能性质分为直流伺服驱动模块、交流伺服驱动模块和脉冲伺服模块三大类。直流伺服驱动模块的电磁执行机构为直流电动机（或直流伺服电动机），交流伺服驱动模块的电磁执行机构为交流电动机（或交流伺服电动机），脉冲伺服模块的电磁执行机构为步进电动机。

这部分主要介绍了各种常用的交流电动机、直流电流电动机和伺服电动机的基本原理、特性、应用及选型，各种电机和伺服电动机的功率变换与驱动电路的基本结构、特点及应用。另外本

篇中还简略介绍有触点器件（接触器等）以及由它们构成的继电器接触式控制系统的基本功能线路的结构和应用。通过这部分的学习，使读者能根据具体生产机械的要求，合理选择相应类型的电机和驱动模块。这部分由孙跃撰写。

第六至第九章为电子控制功能模块部分，宗旨是将现代机电集成设备电气控制系统电子线路进行模块化处理，便于非电专业工程设计人员根据设备功能和系统要求，方便、快捷、准确设计出性能优良、结构合理的设备电气线路。主要介绍各类三级模块在电气系统中完成各种控制、运算、改善系统品质、显示以及电气隔离等功能。除此之外，还给出一些工程上可以近似的计算公式，以便让读者在条件有所变化时，自己能够计算、设计。要说明的一点是，现在集成电路的制造技术和工艺飞速发展，各种各样的集成电路层出不穷，作为任何一类功能的集成电路，本书均不可能穷尽所有类型或所有用法，而是尽可能考虑机械上应用的特点，介绍常用的集成电路和常用的集成电路功能模块，读者欲详细了解有关内容，可查阅相应的应用手册，以便得到其他方面的应用。

随着时代的发展，在机械控制、测量系统，越来越广泛地采用电子技术、计算机技术。各种电子线路都需要专用电源才能正常、可靠工作、本篇第六章讲述了几种典型电源的设计、应用。从机械装置或各种传感器获取的信号常常不能直接用来控制或读取，还必须经过各种变换，如放大， F/V 转换， V/F 转换有时甚至于要从电流变换成电压或反之；有些信号还要经过像加、减、乘、除、乘方、开方、对数、反对数、指数等一种或多种运算；要进行计算机控制，就必须把模拟量转换成数字量， A/D 转换模块便是完成这一功能的集成器件，上述内容构成第七章。要实现各种精确控制，少不了先进的控制和各种先进的调节理论，过程计算机控制是本篇第八章将要讲述的重要内容。任何控制、测量系统

都离不开显示、保护及各种附加功能，而且这些功能关系又体现系统的可靠性、完整性和实用性，这些内容构成本书第九章。这部分由唐朝伟同志撰写。由于时间和篇幅所限，所有模块不能一一列出。而我们此举旨在抛砖引玉，以望在此领域作一份贡献和探讨。

由于我们水平有限，经验不足，书中难免存在错误疏漏之处，诚恳希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1995 年 4 月于重庆