

《机电集成技术》丛书

4

# 机械智能学

蒙建波 刘 冲 梁锡昌 编著



ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

A  
B

E A  
C B

重庆出版社

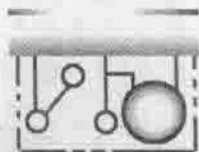
《机电集成技术》丛书

4

TH  
M59

# 机械智能学

蒙建波 刘 冲 梁锡昌 编著



W A Z H U D E L U C H A P Y N U



重庆出版社



责任编辑 谢 先  
封面设计 吴庆渝  
技术设计 刘黎东

## JIXIE ZHINENGXUE

### 机 械 智 能 学

机电集成技术丛书

蒙建波 刘冲 梁锡昌 编著

---

重庆出版社出版、发行 (重庆长江二路205号)

新 华 书 店 经 销 安 康 印 刷 厂 印 刷

\*

开本 850×1168 1/32 8.625 印张 4 插页 214 千字

1997 年 12 月第一版 1997 年 12 月第一版第一次印刷

印数: 1—3 000

\*

ISBN 7-5366-3580-X/TH·2

科技新书目 425—330

定价: 13.00 元

## 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。因此本丛书中《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

人类从古至今，一直在设计制造模仿代替以至放大人的功能的机械设备。现代机器系统实际上可以看作是人类功能（包括一些生物体功能）的部分模拟或放大实现。迄今为止，世界上最高级、最有效的机器还是人体自身，系统论、信息论和控制论也不外是从三个不同的方面对人类功能的探讨、借鉴或研究描述。

人类所具有的感知、表达行动，以及学习、推理和创造等功能，特别是学习、推理和创造功能，使人类具备适应各种环境变化的生存能力。随着科学技术的进步和社会的发展，未来社会的机械必将具备智能特点的所谓智能机械。

因此，提早研究机械的智能化理论和方法显得尤为迫切和必要。

1956年，人工智能理论诞生。进入80年代以后，人工智能理论逐渐成熟并大量应用在工业生产实际。

我们认为，从工程应用角度看，“机器人”只是从代替人类在一些诸如危险、单调、复杂、精密等环境下工作，来模拟实现人的功能，但从扩大、放大、延伸人类功能方面看，还远远不够。因此，应当从整个工程应用的全局出发，开展机械设备智能化的研究工作。

机械智能学，从模拟和放大实现人类智能（包括个体的人和群体的人的智能）的角度，研究使机械设备具备人类的感知、表

达行动，以及学习、推理和创造等功能的理论与方法。

针对不同类的机械设备，对上述各类功能的要求可能会不同，但一般而言，感知功能、表达行动功能和学习推理功能是基本应具有的。因此，对上述三部分内容研究，构成机械智能学研究的基本内容。

进入 90 年代以后，计算机技术已向高速微型化和高速大型化两个不同的方面飞速发展，为构造智能机械设备提供了必要的硬件基础。机械模块学和机械系统学理论体系的建立与研究，为机械智能学的创立提供了必要的前提基础。人工智能的理论发展使应用在工业领域解决实际问题的时机已基本成熟。

书中引用和参考了国内外有关专家学者的研究成果和文献，在此一并致谢。

由于机械智能学理论还很不成熟，限于作者的理论水平，书中难免存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

编著者

1995 年 4 月于重庆大学

# 目 录

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 丛书序 .....                          | ( 1 )  |
| 序言 .....                           | ( 1 )  |
| 第一章 绪 论 .....                      | ( 1 )  |
| 1.1 机械制造系统及其发展趋势 .....             | ( 1 )  |
| 1.2 机械系统模块化的概念 .....               | ( 3 )  |
| 1.3 机械系统智能化的概念 .....               | ( 6 )  |
| 1.4 现有的智能化机械设备 .....               | ( 8 )  |
| 1.4.1 智能计算机 .....                  | ( 8 )  |
| 1.4.2 智能机器人 .....                  | ( 9 )  |
| 1.4.3 智能制造系统 .....                 | ( 10 ) |
| 第二章 机械智能基础 .....                   | ( 11 ) |
| 2.1 概述 .....                       | ( 11 ) |
| 2.1.1 计算机集成制造 .....                | ( 11 ) |
| 2.1.2 智能机械基本结构 .....               | ( 13 ) |
| 2.1.3 人工智能发展简况 .....               | ( 17 ) |
| 2.1.4 人工智能的研究对象、学科范畴和基本内容<br>..... | ( 22 ) |
| 2.2 知识表达技术 .....                   | ( 25 ) |
| 2.2.1 知识表达的基本概念 .....              | ( 25 ) |
| 2.2.2 状态空间表示法 .....                | ( 28 ) |

|            |                   |             |
|------------|-------------------|-------------|
| 2.2.3      | “与/或”树图表示法        | (31)        |
| 2.2.4      | 产生式规则表示法          | (34)        |
| 2.2.5      | 数理逻辑基本知识          | (39)        |
| 2.2.6      | 知识的逻辑表达方法         | (48)        |
| 2.3        | 知识推理技术            | (56)        |
| 2.3.1      | 知识推理的概念和分类        | (56)        |
| 2.3.2      | 符号模式匹配            | (59)        |
| 2.3.3      | 鲁宾逊消解原理           | (61)        |
| 2.3.4      | 使用启发的推理技术         | (72)        |
| 2.4        | 知识获取技术            | (88)        |
| 2.4.1      | 知识获取的概念           | (88)        |
| 2.4.2      | 知识获取的主要途径         | (90)        |
| 2.4.3      | 知识库及其管理系统         | (91)        |
| 2.4.4      | 知识获取中的模式识别方法      | (95)        |
| <b>第三章</b> | <b>专家系统与智能计算机</b> | <b>(98)</b> |
| 3.1        | 人工智能语言            | (98)        |
| 3.1.1      | 人工智能语言的特点和分类      | (99)        |
| 3.1.2      | LISP 语言           | (99)        |
| 3.1.3      | PROLOG 语言         | (113)       |
| 3.2        | 专家系统              | (117)       |
| 3.2.1      | 专家系统的结构和特征        | (118)       |
| 3.2.2      | 专家系统的设计           | (121)       |
| 3.2.3      | 基于模型的专家系统的设计      | (123)       |
| 3.2.4      | 专家系统实例分析          | (127)       |
| 3.3        | 智能计算机             | (140)       |
| 3.3.1      | 现有计算机的问题          | (141)       |
| 3.3.2      | 智能计算机体系结构研究       | (143)       |
| 3.3.3      | 智能计算机的发展动态        | (152)       |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| <b>第四章 智能机器人基础 .....</b>    | <b>(156)</b> |
| 4.1 机器人技术的发展 .....          | (156)        |
| 4.2 机器人感知功能 .....           | (160)        |
| 4.2.1 触觉传感 .....            | (160)        |
| 4.2.2 接近觉传感 .....           | (166)        |
| 4.2.3 机器人视觉 .....           | (171)        |
| 4.3 机器人行动功能 .....           | (194)        |
| 4.3.1 运动学分析 .....           | (194)        |
| 4.3.2 动力学分析 .....           | (197)        |
| 4.4 机器人的控制 .....            | (201)        |
| 4.4.1 程序控制 .....            | (201)        |
| 4.4.2 适应性控制 .....           | (202)        |
| 4.4.3 智能控制 .....            | (207)        |
| 4.5 机器人语言 .....             | (208)        |
| <b>第五章 智能制造系统 .....</b>     | <b>(210)</b> |
| 5.1 群体智能模拟的概念 .....         | (211)        |
| 5.2 智能控制与管理 .....           | (212)        |
| 5.2.1 制造工业中的计算机集成制造系统 ..... | (213)        |
| 5.2.2 过程工业中的 CIMS .....     | (217)        |
| 5.3 机械工业生产中的智能工程 .....      | (218)        |
| 5.3.1 机械知识 .....            | (218)        |
| 5.3.2 机械知识表示方法 .....        | (221)        |
| 5.3.3 知识获取 .....            | (229)        |
| 5.3.4 机械设计智能化 .....         | (233)        |
| 5.3.5 工艺设计智能化 .....         | (239)        |
| 5.3.6 生产调度智能化 .....         | (246)        |
| 5.4 连续工业生产中的智能工程 .....      | (249)        |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 5.4.1 连续工业 CIMS 的功能和特征 ..... | (250)        |
| 5.4.2 连续工业 CIMS 的实例分析 .....  | (252)        |
| 5.4.3 CIMS 的发展动向 .....       | (255)        |
| <b>第六章 机械智能化发展展望 .....</b>   | <b>(257)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>            | <b>(259)</b> |

# 第一章 绪 论

## 1.1 机械制造系统及其发展趋势

现代制造业经历了高度自动化、柔性自动化、及时生产几个发展阶段,正向着并行工程、精良生产、敏捷制造、计算机集成制造方向发展。近年来由发达国家倡导的面向 21 世纪的制造技术——智能制造系统(IMS),已成为国际制造业科技竞争的制高点。最引人注目的是日本通产省 1991 年提出智能制造系统的世界合作研究计划,先后有美国、日本、欧共同体各国、加拿大、澳大利亚等国参与,已建立了国际 IMS 研究中心,制订了国际间 IMS 研究计划,将在 10 年内投资 10 亿美元实施 IMS 的前期研究工作。1993 年和 1994 年分 6 个专题进行可行性研究:①流程工业的洁净制造;②全球并行工程;③全球制造;④全能制造系统;⑤快速产品开发;⑥知识的系统化。国际 IMS 研究计划最终目标是研究开发出能使人 and 智能设备都不受生产操作和国界限制的彼此合作的系统。智能制造系统是 21 世纪的制造技术,属机械工程科学的前沿,国家最近制订的“九五”计划也将先进制造技术(包括智能制造技术和智能制造系统)作为重点发展的支柱产业之一,表明我国政府有关部门也已投入适量资金进行前期研究。

制造系统是完成生产要素(尤其是原材料)向成品转变的一

个“人-机”复合系统，其目的在于使生产率、产品质量和成本达到最佳状态。制造系统是由若干硬件和软件组成的统一集合体。硬件包括工人、生产设备、材料运送设备和其他辅助装置，但它还必须软件的支持；软件就是生产信息、生产方法和工艺。制造系统作用于生产对象（原材料），生产出具有某些功能的产品，从而创造出效益来满足社会需求。

工厂是社会生产的基层单位，它是一个具有输入和输出的生产系统，整个生产过程分为三个阶段：第一阶段是工厂最高决策机构根据生产动机、必要的设想、技术知识、经验以及市场情况，对生产的产品类型、产量等作出决定，同时对生产过程进行指挥和控制；第二阶段是产品设计和发展阶段；第三阶段是制造阶段。在每个阶段的工作过程中，都要作必要的信息和数据交换。在第三阶段中，还必须从外部输入能源和材料。经过上述三个阶段活动后，系统就输出其所生产的产品。产品输出后，应及时地将产品在市场中的竞争力、质量评价、改进要求等信息反馈到决策机构，以便及时地对生产作出新的决定。

机械制造系统是整个工业生产系统的一部分，由设计、制造、管理等单元组成，它通过各单元间的协同动作，按照时间和逻辑安排的步骤，为实现一定的目标，经济高效地将输入（原材料）经过生产工序中的一系列操作，转变成输出（产品）。

机械工业是一个复杂的大系统，它的运作需要大量有丰富知识和经验的专家的参与。这个问题在工厂管理、产品销售、产品开发、产品设计、工艺规划、产品质量检测、设备调整维修、生产调度等领域尤其突出。随着经济和技术的发展，使得目前机械产品的商品寿命逐步缩短。用户需求的多样化和市场竞争，促使大多数机械制造工厂都必须从事适应市场需求的多品种、小批量生产。机械技术正在从传统的几何造型、力学分析、机构综合、机械设计、材料及热处理、机械制造工艺、电控系统配置等领域逐

步扩展成为包含机械学、微电子技术、计算机辅助设计制造、自动化技术、传感技术、人-机工程等学科的综合机电集成的技术。例如，机械设计已经从查手册、计算、画图逐步转变为在数据库和知识库支持下的计算机辅助设计。机构不仅是由齿轮、连杆、滑块组成的传动系统，有的已经成为受控制和智能的、变参量的多刚体动力学系统。此外，生产组织规划、工艺设计、机械系统内部和外部状态变量感受及实时质量保障、设备故障诊断和维修等技术以及机械产品等，都在机电集成技术的基础上朝着智能化的方向发展。智能化使机械冲破了传统的单一范畴，跨入了新的广阔天地。

## 1.2 机械系统模块化的概念

随着科学技术的发展，社会的进步和经济的繁荣，市场要求机械产品向多品种、小批量方向发展；同时也要求机械产品具有性能齐全、可靠优质和高效率等优良特性；还希望机械产品的供货周期缩短和性能价格比合理等。这些市场对机械产品的客观要求，使得基于传统机械学科理论与方法来设计与制造机械产品的诸多厂家，已无法满足市场在这些方面越来越高的要求，传统的机械工业正面临着十分严峻的挑战。

机械工业起源于18世纪，由于当时科学技术处于欠发达状态，机械学科理论的产生和发展只能依靠总结实践经验的办法，这种习惯沿用至今，使得机械学科理论体系欠缺科学性。一般的机械论著和教材，大多为生产经验的阐述，内容庞杂。传统的机械设计方法，都是从每一个单一的零件设计出发，需要设计人员掌握大量的力学、材料、机械原理、机械零件等相关基础理论知识，消耗设计人员大量的时间和精力，导致机械产品设计的周期很长，