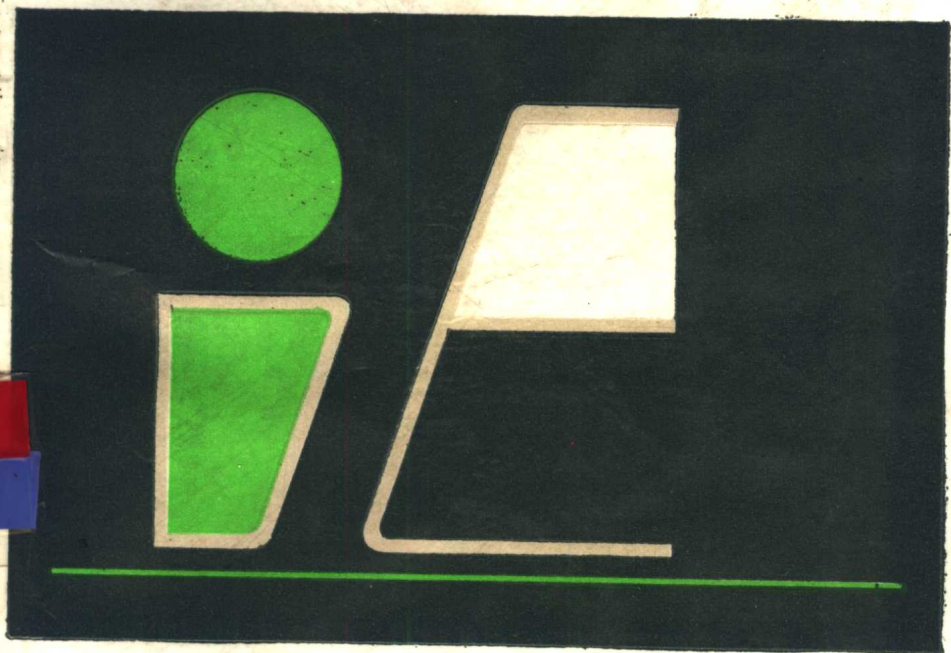


机电产品现代设计统一培训教材

智能工程

查建中 主编



机械工业出版社

机电产品现代设计统一培训教材

智能工程

查建中 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书是机电产品现代设计系列教材之一。书中系统地阐述了智能工程的产生、发展、基本原理、技术及其在实际工程中的应用。全书共分八章,包括智能工程的产生背景、智能工程的基本概念和原理、智能工程语言、智能工程中专家系统技术、知识获取及表达、推理方法、数据库技术以及本工程中的实用实例,书中列举了大量工程应用实例,部分章节后附有C语言源程序。

本书深入浅出,适合于具有一定计算机及机械基础的设计人员、大学生和研究生培训使用。

智 能 工 程

查建中 主编

责任编辑:杨云秀 版式设计 朱淑珍

封面设计:姚毅

机械工业出版社出版(北京东黄门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

北京通县尚福印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

开本 850×1168¹/₃₂·印张 8.25·字数 230千字

1992年3月北京第一版·1992年10月北京第二次印刷

印数 9,001—6,000·定价:7.00元

*

ISBN 7-111-03193-8/TB·154

编辑委员会

主任委员：郭志坚

副主任委员：李宜春 潘兆庆

委 员：周长源 孙增民 张存库 杨敢新 刘元杰
陈康民 赵松年 赵学仁 万耀青 李光泉
郭青山 范祖尧 束鹏程 聿振南 计有为
卢玉明 雷闻宇 徐宗俊 薛继良 许大中
黄纯颖 欧宗瑛 周 济 洪如娟 韩中光

序 言

在各级领导部门、高等院校的倡导和宣传下，机电行业的现代设计方法推广和培训工作取得了很大进展，并且已经见了成效。1990年，机电部颁发了机电科〔1990〕213号文件及附件《加强机电产品设计工作的规定》，明确地指出了推广和普及现代设计方法的重要性，并把现代设计方法推广纳入了宏观管理的轨道。从1989年到现在，有关部委和地方的机电制造主管部门在充分酝酿和讨论的基础上，制定了机电产品现代设计试点项目共1401项。到目前为止，1/3的项目已经完成。一些企业在完成这些项目的过程中，创造了明显的经济效益，尝到了甜头。

管理干部培训对现代设计方法推广起了很大的促进作用。从1988年到现在，有关部委和几乎所有的地方主管部门都举办了各种形式的管理干部现代设计方法学习班、研讨班，大部分领导同志都是通过这些培训才对现代设计方法有所了解，并认识到了推广现代设计方法的紧迫性。很多负责同志在接受培训后积极主动地要求承担项目试点任务。

推广现代设计方法的中心环节和中心内容是设计人员尤其是骨干设计人员的培训。因为只有让大多数设计人员掌握了现代设计理论和设计技术，并将之应用于产品开发和设计，从根本上提高机电产品的设计水平和产品水平，才会产生巨大的经济效益，促进整个行业的迅速发展。为此，机电部科技司于1990年9月在上海专门召开了一次由行业主管部门、高等院校的领导、专家、学者参加的现代设计统一培训联席会议，决定对设计人员进行有计划、有步骤的统一培训，并由一直协助科技司进行现代设计方法推广工作的机电产品设计信息中心负责组织有关专家编写一套融科学性与实用性为一体的培训教材，即《机电产品现代设计统

一培训教材》。这套教材共分14册，各分册的名称是：计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、工业艺术造型设计、设计方法学、反求工程技术、有限元法、价值工程、机械动态设计、三次设计、疲劳设计、专家系统、智能工程、模块化设计。

现代设计方法，既不是单纯指计算机技术，也不单纯指以设计的一般规律和一般途径为研究对象的设计方法学。它应当包括一切先进的设计理论、设计技术和设计方法，是一切先进而行之有效的设计思想的集成与统一。现代设计培训应当把学以致用作为基本原则。正因为如此，被邀请参加编写教材的作者大都是现代设计方法推广中有丰富实践经验的专家和学者，而这套教材不仅系统地介绍了现代设计方法的基本内容，还列举了大量应用实例。

设计是一项涉及多种学科、多种技术的交叉工程。它既需要方法论的指导，也依赖于各种专业理论和专业技术，更离不开技术人员的经验和实践。现代设计方法是在继承和发展传统的设计方法的基础上融汇新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。因此，推广现代设计方法，并不是要完全抛弃传统方法和经验，而是要让广大设计人员在传统方法和实践经验的基础上掌握一把新的思想钥匙。

设计是产品生产和经营的后盾，企业实现自主设计是我国企业自力更生的主要标志。要想以优秀的产品占领国内外市场，就要在设计上下大工夫。这就要求我们尽快更新设计人员的知识结构，更新设计基础数据和设计手段，提高产品开发和改进的速度和效益。希望大家在实践中了解和学习这套教材，更希望现代设计方法在产品开发的实践中结出累累硕果！

机械电子部副总工程师

1991年8月

前 言

智能工程是一门新兴的计算机应用学科。它是由于知识密集型工业决策自动化的需要而产生并迅速发展的。智能工程主要研究如何对各种形式的知识（数学模型和符号模型描述的知识）进行自动化处理（获取、表达、集成、协调、管理）和使用，并研究实现这种知识处理技术的集成化智能软件系统的结构和设计方法，以解决复杂的工程实际问题。因而，智能工程是一门应用导向的工程研究学科，它以利用智能化的计算机解决复杂实际问题为目的，可以用于工程、军事、经济等各领域的复杂决策过程。

机械设计是复杂的决策过程，它包括定性决策和定量决策阶段。设计自动化随着工业自动化的发展而发展，它正由信息处理水平的自动化走向决策水平的自动化，而智能工程正是关于决策自动化的技术，它可以为更高级的设计自动化提供新的方法及技术。

智能工程学科的建立在国际上也只有短短几年，国内近年来才开始了较为系统的研究。智能工程的理论和方法仍在发展之中，还远未达到成熟的阶段。但从人类社会的需要，从这一学科的性质和发展速度看，它有着强大的生命力和远大前景。本书力图通过作者对国际学术界、工业界在智能工程方面的成就的了解及两年来的研究和应用实践，对智能工程的理论、方法和技术做一简单介绍，希望能引起国内工程界的兴趣和重视，共同推动智能工程的研究和应用，特别是在设计自动化领域的应用。

作者在智能工程的研究和撰写本书过程中，与国内外许多知名学者进行了实质性合作，特别要提及的是华中理工大学余俊教授、周济教授和他们领导的研究中心的成员给予我们的鼓励支持和帮助，加拿大阿尔伯特大学M. Rao教授，做为智能工程领域

的先驱者给予我们的支持帮助和合作，在本书撰写过程中进行了许多有益的讨论，并准许作者引用他们研究成果；美国伊里诺大学香槟分校的 Stephen C-Y, Lu 教授以他的卓越研究成果给予我们的启示和帮助。这些都使作者受益非浅，在此一并表示衷心的感谢，并希望与他们的合作能取得进一步发展，为智能工程的发展共同努力。

作者得到机械电子工业部科技司和机械电子工业部机械科技情报研究所机电产品设计信息中心对本书的撰写的支持和帮助；国家自然科学基金和国家教育委员会年轻优秀教师基金对本研究的资助和支持；机械专家天津大学的祝毓琥教授和天津大学机械系许多老师的帮助，对此表示诚挚的感谢。

本书共分 8 章，参加撰写的有天津大学查建中（第 1、2、8 章）、赵振英（第 3、4、5、7、8 章）、郭伟（第 6、8 章）、戴佐（第 3 章）、郭华群（第 7 章），全书由查建中主编并统稿，天津大学祝毓琥教授主审。

由于智能工程是一门正在发展的新兴学科，作者在此方面的研究也属探讨摸索的过程，对于撰写本书缺乏经验，其中有不妥之处，敬请读者指正。

查建中
1991年 8 月

09:27/24

目 录

序言

前言

第 1 章 智能工程的产生与发展	1
1.1 工业自动化的 4 个阶段	2
1.2 人工智能的产生和发展	5
1.3 专家系统技术的产生与发展	7
1.4 智能工程的提出	9
1.5 智能工程与人工智能	11
1.6 智能工程与专家系统技术	13
1.7 智能工程是适于工业决策自动化的技术	14
第 2 章 智能工程的一些基本概念和研究内容	16
2.1 智能工程的定义	16
2.2 智能工程的一些基本概念和原则	18
2.3 智能工程的基本研究内容	25
2.4 集成化智能软件系统的提出及其结构	34
2.5 智能工程在工业中的应用	40
第 3 章 智能工程语言	49
3.1 软件的层次性	49
3.2 智能工程语言到智能工具的延续	51
3.3 智能工程语言及环境	53
3.4 C 语言简介	54
第 4 章 智能工程中的专家系统技术	83
4.1 专家系统技术是智能工程的基础技术之一	83
4.2 什么是专家系统	84
4.3 专家系统的结构及工作原理	86
4.4 专家系统与传统程序的区别	89
4.5 专家系统的类型	91

4.6	建立专家系统	93
4.7	建立专家系统实例	111
第5章	智能工程中的知识获取及表达	114
5.1	知识概述	114
5.2	知识的种类	115
5.3	知识和智能	117
5.4	知识获取	117
5.5	知识表达	157
第6章	知识的利用——推理方法	167
6.1	推理方法简介	167
6.2	推理实现的基本方法	169
6.3	推理机的设计	181
6.4	元推理机的设计	189
第7章	数据库技术	210
7.1	数据库技术的研究对象	210
7.2	数据库的产生及发展	211
7.3	实体、信息和数据	213
7.4	数据模型	217
7.5	数据库管理系统 (DBMS)	224
7.6	面向对象的数据库及其在工程中的应用	229
第8章	智能工程应用实例	238
8.1	智能工程在复杂机械装备故障诊断中的应用	238
8.2	智能工程在汽油机射流燃烧室设计中的应用	246
	参考文献	252

4.6 建立专家系统	93
4.7 建立专家系统实例	111
第5章 智能工程中的知识获取及表达	114
5.1 知识概述	114
5.2 知识的种类	115
5.3 知识和智能	117
5.4 知识获取	117
5.5 知识表达	157
第6章 知识的利用——推理方法	167
6.1 推理方法简介	167
6.2 推理实现的基本方法	169
6.3 推理机的设计	181
6.4 元推理机的设计	189
第7章 数据库技术	210
7.1 数据库技术的研究对象	210
7.2 数据库的产生及发展	211
7.3 实体、信息和数据	213
7.4 数据模型	217
7.5 数据库管理系统 (DBMS)	224
7.6 面向对象的数据库及其在工程中的应用	229
第8章 智能工程应用实例	238
8.1 智能工程在复杂机械装备故障诊断中的应用	238
8.2 智能工程在汽油机射流燃烧室设计中的应用	246
参考文献	252

智能工程的产生和发展及其在工业自动化发展中的地位。

1.1 工业自动化的 4 个阶段

从工业自动化的角度来看,工业发展可分为 4 个阶段。这 4 个阶段互相区别并联系,也可能同时存在于一个工业化社会中。

1.1.1 劳动密集型工业 (Labor Intensive Industry)

在此阶段的特点是利用大量人力操作简单机器从事工业生产。简单机器不具有自动控制能力,因而产品的质量和数量,基本取决于操作者的技能。在此阶段,机器操作者的数量和素质是决定生产效率的重要因素。

1.1.2 设备密集型工业 (Equipment Intensive Industry)

在此阶段,单机自动化设备的数量和优劣成为决定生产效率的重要因素。有代表性的自动化设备是数控机床。数控技术使得单机实现高度自动化,已不需要人工的直接操作,劳动力已退居到调整、维护设备和其它辅助性工作的位置。由于设备的高度自动化,一个工人可以兼管数台设备,而且由直接手工操作设备的作用变为利用知识和技术调整维护设备使其正常工作。生产第一线的蓝领工人大大减少,而从事生产组织管理技术等信息产业的白领职工迅速增加。此时,设备密集已成为生产竞争的主要基础。

1.1.3 信息密集型工业 (Information Intensive Industry)

随着计算机工业的迅速发展,大容量、高速度、小体积和低价格的计算机已越来越广泛地用于生产第一线,使得利用计算机在制造现场进行大量的计算和数据处理成为可能。这成为信息密集型工业的基本特征。

由于社会的发展和市场的需要,工业界面临着复杂产品的自动化生产。与简单产品的生产相比,复杂产品的设计、制造和管理包含着丰富得多的技术和信息,数据的自动化处理带来了设计、制造和计划管理的自动化。这一阶段的代表性技术是 CAD (计算机辅助设计)、CAPP (计算机辅助工艺规划)、CAM (计

第 1 章 智能工程的产生与发展

智能工程是一门新兴的综合性的计算机应用学科。智能工程的产生与发展具有极强的工业发展背景，特别是与工业自动化的发展紧密相联。智能工程提供了借助计算机解决人类面临的许多复杂实际问题（包括工程问题）的新的方法论和技术，因而受到学术界、理论界和工程界的极大重视。智能工程的产生和发展，标志着计算机的应用进入了新的阶段，标志着工业自动化达到了新的水平。

智能工程做为新兴学科，与传统的计算机应用学科有明显的区别。它既不象传统的计算机数值计算技术那样只处理数值模型，也不象传统的专家系统技术那样只用符号运算来处理符号模型，它是一种综合的、集成化的、智能化的计算机应用技术。同时它也是在以往发展的所有这些学科的基础上建立起来的，继承和包容了所有这些技术的优点，并加以集成和发展，形成应用计算机解决复杂问题的强有力的方法和技术。因而，智能工程不仅是面向未来高技术工业发展的学科，而且也是面向过去和今天，进行总结、积累、概括和集成的学科。从这一意义上说，它不是从零开始，而是尽量利用人类所积累的一切知识、经验、成果，加以补充、发展、处理，以面向未来。

做为计算机应用的新的方法论和技术，智能工程可以广泛用于人类经济、社会和生产活动的广阔领域，特别是在各个领域的决策自动化方面，将起到关键技术的作用，因此，对智能工程的研究和开发是极其重要的。同时，在工程领域对工程师广泛进行智能工程的原理、方法和技术的培训、学习和推广，是在现代化水平上应用计算机解决复杂问题的重要环节。

本章将从工业自动化的发展及计算机应用的历史背景，简述。

计算机辅助制造)和FMS(柔性制造系统)。借助强有力计算机的辅助,大量数据和图形处理已实现自动化,如有限元分析、几何造型、优化设计、数值和图形仿真、数控加工的自动编程等,因此,这一阶段可称为信息处理水平的自动化。这时,人类专家主要从事决策工作。例如,选择设计方案,建立分析和优化设计的模型,依据数值计算结果进行评价判断,进行必要的修正或确定设计等。人类专家决策与计算机信息处理的结合作为信息密集型工业的支柱。这种生产方式成为发达国家工业的主体。

1.1.4 知识密集型工业(Knowledge Intensive Industry)

随着高技术的发展,工业生产迅速走向大规模、集成化和复杂化,这对自动化提出了新的挑战。以机械工业为例,计算机集成制造系统(CIMS)的提出,实际上是把从接受订单,到制定生产计划、产品设计、工艺规划、加工、装配、检验、销售及售后服务等一整套生产管理、技术管理、经营管理集成起来,形成一个高度自动化的生产经营系统,以适应全球性、多变性、多需求性的市场发展的要求。

这样的大规模集成的复杂自动化系统,已不允许被划分为若干人类专家决策和计算机信息处理阶段相间的结构,而要建立在一个新的自动化水平基础上,这就是决策自动化。所谓决策自动化,就是要在计算机信息处理的基础上,在人类专家知识的水平上,借助计算机来完成大量的决策工作。决策自动化本质上是对知识处理和使用的自动化。与这种自动化相适应的技术,就是智能工程。在知识密集型工业阶段,知识的拥有量和对知识的自动化处理技术成为生产效率的决定性因素。人类在生产中的作用主要是发展知识、发展知识自动化处理技术,以及在集成化、智能化的复杂人机系统中作关键决策。而大量的一般性决策及信息处理由计算机完成。这样,在整个自动化过程中,尽量减少人的干预,这是保证大规模、复杂系统自动高效运行的必要条件。

工业自动化发展的这4个阶段总的趋势是:

- (1) 由代替人的四肢和感官到代替人脑;

(2) 技术重点由硬件为主到软件为主;

(3) 由取代蓝领到取代白领, 甚至可以发展到管理和决策层。

在未来高度自动化的系统中, 人类专家是不会被完全取代的, 人类在人—机系统中仍然是最富于创造性和起关键决策作用的环节。但在在线控制和自动化中人的干预将被减少到最低程度。

现在, 我们以测量仪器仪表的发展为例来说明这4个工业阶段。在劳动密集型阶段, 操作者利用简单量卡具测量, 操作者的技术水平对测量的质量起决定作用。在单机自动化阶段, 设备上装备有机械、电子的自动测量器具可以实现自动测量。随后, 具有信息处理功能的仪表也被发明, 不仅能自动测量, 而且能对测量结果进行数据分析和处理, 并将处理结果提供人类专家作决策。现在, 仪器仪表正朝着自动测量、自动分析并自动作决策的智能化方向发展。例如, 最新的电子仪表可以用微秒级的分辨率记录停电事故现场, 并在数据处理的基础上对事故进行诊断。故障诊断实质上是一种决策活动, 而智能仪表的局部决策又可成为全局决策的基础, 其他智能系统依据诊断结果对整个系统作出处理, 也就是全局性的决策。

在知识密集型工业阶段, 知识的价值越来越高, 这表现在作为知识凝聚形式的软件所创造的价值上。现在, 软件所创造的价值已超过硬件的价值, 并正在以极高的速度加大这种差距。例如, 1台价值3百万美元的计算机, 在它上面使用的某个应用软件可达3千万美元, 而这种应用软件的个数对这样的计算机硬件环境来说可以是无限的。由此可见, 软件对硬件的价值“出超”的程度。由于知识密集型工业将为人创造巨大的财富, 各发达国家正在竞相发展与此相应的技术, 力图控制经济发展的战略地位, 继续称雄世界。劳动密集型工业在发达国家已被淘汰, 设备密集型工业也正被淘汰。例如, 靠全套自动生产线生产的电阻、电容、二极管等初级电子元件产品在北美已逐渐由进口取代自产。尽管这些生产线是全自动化的, 但因包含的知识和技术复杂性太

低，增值太低与高技术产业相比已不值得继续经营。在发达国家，劳动力正加速转向软件产业，软件产业的发展大大加速了硬件产业的自动化，而硬件产业的高度自动化使得对劳动力的需求更加减少，更多的人可能转向软件产业，这形成了一种良性循环，大大加速了工业的发展。

1.2 人工智能的产生和发展

从计算机科学和计算机工程的观点看，人工智能是计算机的研究和应用发展到一定阶段的产物，计算机首先被用于数值计算方面。无论是从最简单的算术或代数计算，到微分、积分的数值方法、微分方程的数值解法或数理统计方面的数值解法，还是在工程方面应用的许多数值方法，如有限元分析、优化设计、数值仿真等，都是借助计算机的高速运算和大规模存储能力来处理数学模型，得到数值解的。从60年代发展起来的计算机图形学，利用计算机的显示能力来表现几何图形，但其大部分实质工作仍是利用计算机的数值方法进行数值计算，与计算机的数值处理能力密切相关。

实际上，人类很早就想到利用计算机去做处理数值模型以外的的工作。本世纪30年代，数理逻辑的研究表明，某些推理，可用较简单的结构形式化方法实现，这与计算机程序化工作的特点是相适应的。被称为人工智能之父的图瑞 (Turing) 等人，曾提出了符号计算和符号处理的理论概念，并指明形式推理概念与计算机之间的联系。这些都为以处理符号系统为基础的人工智能奠定了基本概念和理论。

50年代发展起来的控制论，把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑推理与计算联系起来，对于人工智能的发展有极大的影响。科学家们开始实验用计算机来表示和实现人的智能活动，诸如博弈、自然语言的翻译、求解智力测验题和证明定理等。这方面的例子有，1955年 Samuel 编制的下棋程序，不仅能与棋手对弈，而且能够通过下棋积累经验并不断改善能力，并

曾于1962年战胜了美国州级跳棋冠军。又如 Newell 和 Simon 于 1956 年编制的逻辑推理程序，能模拟人类利用数理逻辑来证明定理。他们用程序证明了“数学原理”中的 38 个定理。这两个例子都是成功地利用计算机模拟人脑的思维活动，成为人工智能发展中有代表性的成果。由于人工智能的目标是企图利用计算机来模拟人脑的思维，因而许多学者致力于探索人脑的神经网络结构及思维的普遍模式和规律，以求在真正理解人的思维机理的基础上，实现对智能活动的模拟。这个问题牵涉到许多领域和学科发展，是异常复杂和困难的，因而所取得的实质性进展与突飞猛进的计算机数值技术的发展相比是相当缓慢的。

自 60 年代以来，人工智能的研究已拓开到若干模拟人类智能活动的重要领域，并取得了不同程度的进展。在某些领域已经达到了实用化，能解决一些复杂的实际问题，这些领域具有共同特点，就是当利用计算机解决问题时，主要涉及的是符号模型和符号推理 (Symbolic Reasoning) 技术，而不是以数学模型为核心的数值计算技术。符号系统和符号信息处理实际上构成了人工智能的基础。人工智能作为研究和设计智能计算机系统的学科，目的在于使计算机具备模拟人类的智能活动的的能力，因此，它的研究范围几乎包括了所有体现人的智能活动的领域，如自然语言的处理 (语言识别、翻译等)、符号运算 (如求微分、积分函数的解析表达、求方程的解析解)、计算机程序设计、逻辑推理与定理证明 (诊断、检索等)、学习 (类比、归纳等)、视觉 (图象的输入、识别和处理等)、规划和调度 (组合爆炸问题的最佳方案选择等) 及复杂问题的求解等等，使这些智能活动能够实现计算机化或自动化。这种符号系统处理的自动化是对数值系统处理自动化的一种补充，是工业自动化发展到一定阶段的需要和产物。20 年来，人工智能研究中发展最快和最受重视的两个分支是专家系统技术和机器人学。机器人学研究的是高度自动化、智能化的复杂机器——机器人。机器人学综合体现了人工智能各方面的研究，包括机器人的学习、规划、语言识别；而专家系统技术则应