

智能系统工程

涂序彦 马忠贵 著

*I*ntelligent
Systems Engineering



国防工业出版社
National Defense Industry Press

智能系统工程

Intelligent Systems Engineering

涂序彦 马忠贵 著



国防工业出版社

·北京·

内容简介

智能系统工程是人工智能与系统工程相结合的产物,是系统工程智能化、人工智能工程化的成果,是系统工程深化与升华的新途径。本书研究、论述智能系统工程新学科的基本概念、学科架构、理论方法、实现技术、应用系统、发展前景,是关于智能系统工程近20年的研究、开发、应用工作的总结,也是对智能系统工程新学科的初步探索。本书注重理论与实践相结合,提出了智能系统工程的集成化和网络化的开发策略,给出了智能系统工程在钢铁冶金工业、石油生产过程、智能大厦管理、钢材质量管理、证券行业管理及矿山建设工程中的应用实例。

本书可供从事智能科学与技术、系统工程、信息科学、控制科学与工程等研究的科技工作者及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能系统工程 /涂序彦,马忠贵著. —北京:国防工业出版社,2014.11

ISBN 978-7-118-09771-9

I. ①智... II. ①涂... ②马... III. ①智能系统-系统工程 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第255897号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 8¼ 字数 118千字

2015年1月第1版第1次印刷 印数1—1500册 定价43.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序(一)

我收到涂序彦、马忠贵《智能系统工程》专著的书稿后,深深地敬佩涂序彦教授“学无止境,永攀高峰”的治学精神!

《智能系统工程》一书是涂序彦教授继撰写出版《生物控制论》、《人工智能及其应用》、《大系统控制论》、《协调学》等著作之后的又一重要专著。作者在前言里写到:1994年,由于中国军事系统工程委员会主任委员孙柏林将军的邀请,我有幸参加“深化军事系统工程研究与应用学术研讨会”,作关于“人工智能研究、应用与发展”的报告,提出了“智能系统工程(Intelligent Systems Engineering, ISE)”的新概念,认为智能系统工程是系统工程深化与升华的新途径。

任何新的科技概念的产生,必然会有其产生的深层次的根源。因而,这就需要说明一下当时提出智能系统工程概念的由来。

该概念的提出是由于当时国内外有两种重要因素的促进:

一是由于我国航天科技事业的重要开创者和“两弹一星”元勋、中国系统工程理论的倡导者和实践者、我军军事运筹与军事系统工程的创始人钱学森同志明确提出:“实现国防现代化,就要实现军事手段的现代化和军事科学的现代化。”在钱学森同志的推动下,我军相关部门除建立了军事运筹研究机构外,还于1981年、1984年和1992年相继成立了军事系统工程专业委员会、军事运筹学会和国防系统分析专业组,进一步推动了系统科学在军事领域的发展和运用。20世纪80年代以来,钱学森提出了研究开放的复杂巨系统的方法论——“从定性到定量综合集成法”(又称为“综合集成工程”等),开创了以人为主、人机结合、人网结合的新途径,指引中国系统工程学术界向世界科学技术发展的前沿不断前进。

钱学森于20世纪80年代提出现代科学技术体系以后,曾借鉴北京大学老哲学家熊十力教授把智慧分为“性智”“量智”的观点,并对其加以唯物主义的解释与发挥。他说:“人的智慧是两大部分:量智和性智。缺一不可成智慧!

此为大成智慧学,是辩证唯物主义的。”他认为:数学科学、自然科学、系统科学、思维科学、军事科学等十大科学技术部门的知识是性智、量智的结合,主要表现为“量智”;而文艺创作、文艺理论、美学以及各种文艺实践活动,也是性智与量智的结合,但主要表现为性智;性智、量智是相通的。钱学森从当今世界社会形态、科技发展的新趋势、以往工程实践和社会改革的经验教训中,提炼出从定性到定量的综合集成法,即“大成智慧工程”作为认识和处理各种开放的复杂巨系统的方法。

钱学森曾说:“智能系统是非常重要的,是国家大事,关系到下一个世纪我们国家的地位。如果在这个问题上有所突破,将有深远的影响。我们要研究的问题不是智能机,而是人与机器相结合的智能系统,不能把人排除在外,应该是一个人机智能系统。”在“钱学森谈科学与艺术”一文(钱学敏,《民主与科学》,2002,(3))中,曾经阐述过钱学森对于智能的追求:如何尽快提高人们的智能,以适应新世纪发展的需要?这是钱学森几十年来,尤其是近十年来,着力思考的时代课题。他认为这是件大事,特别重要,其意义甚至不亚于当年“两弹一星”的研制、发射。钱学森在近90岁高龄的时候,还说:“我想我们人民中国就该创新大成智慧,为世界作好事!”钱学森和祖国如江河与大海不可分割,他希望人民中国做的事,其实也就是他自己多年来昼作夜思,殚精毕力正在做的事。因为他深深地热爱着祖国和人民,也时刻关心着世界的发展和变化。钱学森提出的人机结合的智能系统,是对传统人工智能理论的一大突破,具有深远的意义。正因为如此,中国是充分认识到系统科学巨大重要性的国家之一。

钱学森还十分重视从中国古代圣贤的思想理论上吸取营养。1998年1月8日,钱学森在致王寿云同志信里写道:讲战争不说“孙子兵法”行吗?讲国防不说毛泽东军事思想行吗?孙子兵法就有这样的描述,“夫未战而庙算胜者,得算多也;未战而庙算不胜者,得算少也。多算胜,少算不胜,而况于无算乎!”他把智能计算与复杂战争中的胜负联系起来,把定性分析与定量分析结合起来,可谓有复杂系统智能决策思想。世人皆知,中国兵法瑰宝——孙子兵法通篇以智慧为本质特征,孙子的每一句话都是智的凝聚,谋的浓缩,人们可以从孙子兵法的深邃哲理和智谋中,领略观察事物的辩证思维原理。孙子尚智,智能发谋,在《孙子兵法》十三篇中,篇篇都可以看到孙子智慧的光芒。

仅从本人亲身经历的一件事情,可以看出钱学森教导我们要学习“孙子兵法”,繁荣系统科学的良苦用心。受钱学森、王寿云同志思想与专著的启

发,本人曾经在1990年10月的“孙子兵法”第二届国际学术研讨会上发表过一篇文章:《孙子的系统与运筹思想》,探讨了孙子在当时的历史条件下,运用朴素的系统观和运筹思想,对战略指导、智战运筹、作战预测、信息反馈、定量分析、优化决策、作战模拟、类比推理、后勤保障、讲求实效等方面进行的综合分析和预测评估。为了提高自己的认识并获得钱学森的指导,1993年2月9日,我将此文交给当时任国防科工委科技委副秘书长的王寿云同志,请他评阅并转交给钱学森阅看。钱学森当时在送审文章上批示:“……《孙子的系统和运筹思想》,感到这一套学问应在今日国际竞争中发挥作用。”钱学森还建议是否成立“中国的兰德公司”?

这就是为什么当时要特邀师从钱学森的涂序彦教授担任军事科学院军事运筹研究所特聘研究员的初衷。这也是当时提出智能系统工程概念的国内原因。

二是由于世界范围唯一的超级大国——美国于20世纪80年代后期,提出了“美国国防部关键技术计划”。1988年9月29日,美国国会发布了《1989财年国防授权法》,该法案第139章里增加了“关键技术计划”一节,要求国防部在此后每年的3月15日以前,向国会提交一份对于保证美国武器系统长期质量优势和先进军事实力最为重要的20项军用技术的发展计划,并在经费分配时要予以特别考虑。这是由于美国技术领先的地位正逐步丧失。第二次世界大战后,美国依靠旺盛的军事需求,不断刺激和带动科学技术的发展,使美国科学技术在世界上处于领先地位。技术领先不仅使美国工业企业生产出来的产品在世界市场上具有强劲的竞争能力,也使它们生产出来的众多武器装备的质量高于其他国家。但是进入20世纪80年代后,由于日本和欧洲共同体国家在高技术领域的崛起,使美国技术领先的地位逐步丧失。据美国权威人士推测,到2000年,突破性的新技术将有4/5出自别的国家,而不是美国。正是基于上述原因,使得美国朝野各界希望通过立法使胃口过大的国防部,能用有限的经费去保持美国军事技术发展的领先地位。各军种根据各自需求再制定支持计划,从而形成有层次、有侧重、有深度、有广度的科技发展战略计划。

例如,美国陆军1989年4月公布了“美国陆军技术基础总计划”,确定了13项陆军最优先发展的关键新兴技术,作为对国防部“关键技术计划”的支持。它们是:高级材料和材料加工、先进信号处理和计算、生物技术、人工智能、定向能武器、低可探测技术、微电子、光学和声学、发电蓄电和调节、先进推进技术、机器人、航天技术、神经科学技术、防护与杀伤。从中可以看到智能技

术的重要作用。

而在海湾战争之后的“美国国防部 1992 年科技战略与关键技术计划”中进一步提出:促进信息技术的迅速发展,并使其迅速转变为军事应用,加快军事技术革命。现代计算速度和容量的增加将大大提高指挥、控制、通信和情报的效率,信息技术的革命将扩大分布式模拟系统的应用价值,加强国家的军事实力。

为了实现这些目标,科学与技术战略提出了 7 项技术攻关领域:全球监视与通信、精确打击、空中优势与防空、海洋控制与水下优势、先进地面作战、合成环境、提供各种能力的技术。

上述攻关领域更加突出了信息技术与智能技术的重要作用。

另外,由于美国防高级研究计划局(DARPA)在美军高新技术领域的先导性、权威性。2013 年 12 月 30 日,从美国防高级研究计划局网站评选出 2013 年度最受关注的 10 大研究项目:(人脑机能研究计划;军用长波红外摄像成像技术;按需分解的瞬变电子元器件;概率编程范式提高机器学习效率;机器人技术挑战赛;深海“浮沉载荷”;垂直起降试验型飞机计划;士兵强化服技术;神经肌肉接口技术;不依赖 GPS 的微型导航芯片等)看,更进一步表明了智能系统工程的前瞻性。

这正好说明:涂序彦教授等的《智能系统工程》一书,历经 20 年之后,方才面世的科研探索历程。这 20 年间,是从机械化战争向信息化战争过渡的时间,也正好是系统工程向智能系统工程升华的时间。智能系统必须具有模拟人类学习和自适应的能力。当前,智能化、信息化、系统化、网络化正充满生机地活跃于社会各界。不难看出,强调“智能”意在提升生产效率、工业资源调配的合理性,以及工业设备的可用性和维护程度。智能系统工程正成为现代系统工程重要的前沿学科之一。因此,此书面世正当其时!

涂序彦教授等的《智能系统工程》专著,的确是学习、继承、发展了钱学森先生倡导的系统工程。研究开发智能系统工程,是智能和系统工程相结合,系统工程智能化、人工智能工程化的成果,是关于智能系统工程近 20 年的研究、开发、应用工作的初步总结。等待,对于人生来说,是一笔宝贵的财富,只有真正懂得等待的人,才能不失时机地抓住机遇,走向成功。这也正恰如其分地描述了涂序彦教授一生治学的严谨学风。

正如中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平 2013 年 7 月 17 日到中国科学院考察工作时指出的:“科学技术是世界性的、时代性的,发展科

学技术必须具有全球视野、把握时代脉搏。当今世界,一些重要的科学问题和关键核心技术已经呈现出革命性突破的先兆。我们必须树立雄心、奋起直追,推动我国科技事业加快发展。”习近平同志这一指示精神,对于从事教育、科技和装备制造业的工作者是十分重要的。因而,该书的出版也正好是符合这一时代精神的!

《智能系统工程》一书具有开创性,不仅是因为该书做了前人没有做过的事情,更是因为该书扩展了系统工程研究的新视野、新理论、新方法,具有十分宝贵的创新学术价值。翻阅此书,就会令人感受到系统工程研究工作者艰辛的科学探索精神伴随着浓郁的浓墨之香,从字里行间喷发而出。

《智能系统工程》学术思想新颖、逻辑合理、内容严谨、观点突出、文笔流畅,是一本很好的精品教材,可面向控制工程、信息工程、网络工程、系统工程、软件工程等领域的研究生和大学生作为教材使用,亦可作为从事相关领域的科技工作者的参考书。

军事科学院 研究员

孙柏林 少将

2014年2月6日

序(二)

喜读涂序彦、马忠贵大作《智能系统工程》，它出版在我国发展进程中一个关键的历史时刻！

当前，我国正在进行全面深化改革，改善与发展中国特色社会主义制度，这是一项极其复杂、极其艰巨的、伟大的社会系统工程，它包括社会主义经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设与党的建设六个子系统，每一个子系统又包括宏观、中观与微观三个层次。如何贯彻落实科学发展观，注重改革的系统性、整体性、协同性，提高改革决策的科学性，广泛凝聚共识，形成改革合力？这就提出一个方法论问题。

关于这个方法论问题，著名科学家钱学森曾多次指出：我国社会主义现代化建设是一项认识世界和改造世界的复杂、艰巨而伟大的社会工程。组织和实施这项伟大工程，要求各级党政干部具备马列主义理论修养，丰富的实践经验，掌握现代科学技术知识，学会现代化的预测、组织、管理、决策和领导的科学方法。运用人类认识世界和改造世界的全部学问，研究和创立社会主义现代化建设的科学，这是摆在我们面前具有重大理论意义和实践意义的问题。

社会主义现代化建设的方法是什么？钱学森身为中国导弹航天事业的开创者，随着导弹研制工作的展开，组织管理工作的重要性越来越明显地摆在他的面前。钱学森在把国外系统工程的研究成果同我国导弹研制工程的实践相结合的过程中，创造性地发展了系统工程方法。系统工程方法是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。它是钱学森在马克思主义哲学指导下，综合了近半个世纪自然科学技术的发展成果，近 100 多年来马克思主义社会科学的发展成果，并吸取了近 30 多年电子计算机技术发展成果，特别是通过他本人 70 多年在现代科学技术前沿领域探索的历练和 50 多年国家社会主义建设实践的锤炼，独立自主地创立起来的。

涂序彦、马忠贵的新著《智能系统工程》，是他在钱学森系统工程思想方

法指引下锲而不舍地研究的硕果,把人工智能技术与系统工程方法有机地结合起来。这体现在以下三个方面:

第一,提高系统工程的智能化水平。在研究解决复杂性问题时,往往会遇到数学模型的局限性、优化方法的矛盾性、定量分析的片面性、原始数据的粗糙性、自然信息的多样性、系统结构的多变性,这就必须提高系统工程的智能化水平,以便提高决策的科学性与有效性。

第二,研究开发智能系统的理论方法与实现技术。智能系统是十分复杂的系统,如何实现智能系统的工程化、实用化、应用化,这是应用系统工程方法必须解决的问题。智能系统工程的任务之一,就是研究开发可实际操作的理论方法和应用技术。

第三,提高工程系统的智能化水平。随着现代工业、农业、国防、科学技术的发展,不断出现各类工程系统、大工程系统、巨型复杂工程系统。因此,需要将人工智能的理论方法和实现技术,应用于各种工程系统,提高工程系统的智能化水平,实现工程系统智能化。

如何实行系统工程方法?钱学森提出要有一个机构,这个机构叫“总体设计部”,它由下列三个部分组成:

(1) 知识体系,包括各种科学理论、专家经验、情报资料、统计数据、常识性知识;

(2) 工具体系,以计算机为核心的多种高新技术的集成与融合所构成的机器体系;

(3) 专家体系,由与研究问题有关的专家组成。

总体设计部是高度智能化的人机结合体系,它不仅具有知识与信息采集、存储、传递、调用、分析与综合的功能,更重要的是具有产生新知识和智慧的功能,既可用于研究理论问题,又可用于解决实际问题。总体设计部利用思维科学、人工智能、知识工程、数据库、知识库等现代科学技术成果,其中特别是人的创造性,因此,总体设计部是“以人为本”,计算机体系、信息库与知识库为辅。总体设计部的任务是,根据系统总体协调的需求,对系统进行总体分析、总体论证、总体设计、总体协调、总体规划,在此基础上提出具有科学性、可行性和可操作性的总体方案,向领导提供组织管理和决策的依据,为推进科学发展观的贯彻落实,提高应对社会发展可能面临的各种重大风险的科学预见性。

钱学森讲总体设计部的任务时,特别强调“人的创造性”,强调人的智能,对计算机的智能似乎没有多加考虑。涂序彦教授的《智能系统工程》,研究人

工智能的工程化,目的是提高计算机体系的智能化水平,研究的重点是计算机的智能,这就补充了钱学森总体设计部所没有充分考虑的方面。正如涂序彦教授说:《智能系统工程》是系统工程的深化与升华,是系统工程的新学科。

1978年钱学森发表著名论文《组织管理的技术—系统工程》后,应用系统工程方法的领域日益广泛,几乎遍及工程技术和社会经济的各个方面,并取得了巨大的成就。在改革开放新的时代条件下,社会建设、经济建设、政治建设、文化建设、生态建设、党的建设、社会主义市场经济体制建设等新的伟大工程,尤其需要应用系统工程方法。可以预料:通过学习、推广与应用涂序彦教授深化与发展了的系统工程的新理论、新方法、新技术,必将在推进全面深化改革,完善和发展中国特色社会主义制度的、新的伟大工程中,发挥无可置疑的作用。是所期待!

中国人民大学荣誉一级教授

黄顺基

2014年1月28日除夕前夜

序(三)

科学技术是第一生产力,这是千真万确的断语。随着科学技术的不断进步,人类的活动领域不断得到扩展,人类对事物的认识和变革能力不断得到增强,人类生存发展的环境和条件不断得到改善;而人类认识和变革能力不断增强的结果,又促使人类活动不断向新的广度深度推进,使人类面临的挑战日趋复杂,由此获得的科学技术成果也越来越壮观。人类和人类社会就是在这样的良性正反馈过程中不断得到强化和发展。

经过第二次世界大战的严酷磨练,人们的认识能力得到了巨大的提升,他们越来越清晰地认识到:世界不仅存在物质资源和能量资源。而且存在信息资源。因此,人类所面临的各种挑战也已经不再是以往所认识的那些相互孤立分割的简单事物,而是因素数量巨大、相互关系复杂、关联层次众多、状态变化莫测、充满各种不确定性且与人类生存发展关系十分密切的各种复杂系统。为了能够成功地应对这些复杂系统的挑战,人们在实践中逐渐摸索和总结了信息论、控制论、系统论、系统工程理论以及人工智能理论等一系列崭新的科学理论,成为当今世界一道风格奇特而且独领风骚的科学世界新景观。

不仅如此,人们还发现:面对这些复杂系统的研究,几百年来曾经屡试不爽因而畅行无阻的“分而治之、各个击破、合成还原”科学研究方法论也已风光不再,因为在把复杂系统分解为若干子系统的时候丢失了各个子系统之间相互联系相互作用的信息,而这些信息正是复杂系统的灵魂和生命线。于是,代替单纯的“分而治之”,人们开始高度关注系统内部要素之间、层次之间以及不同系统之间的相互联系和相互作用,从而开辟了“交叉科学”的伟大时代。由此,一大批体现交叉科学思想风貌的新学科纷至沓来,造成了科学技术前所未有的繁荣兴旺。《智能系统工程》便是这个绚丽夺目的交叉科学万花园中一支鲜亮的玫瑰。

需要指出的是,交叉科学的研究并非简单地把两个或多个不同学科拼凑到一起就能取得成功。恰恰相反,它要求研究者不仅要通晓多个相关的学科,

尤其要能够洞悉并理解这些相关学科之间内在的深刻联系,这样才能判断一个学科应当与哪个/哪些学科交叉,以及在什么样的层次上实行怎样的交叉。

《智能系统工程》是人工智能理论与系统工程的交叉研究产物。本书作者涂序彦教授是系统科学、大系统理论、大系统控制论、人工智能领域的知名专家,在上述各个领域都具有丰富的成果积累,又具有辩证综合的华夏思维素养,因此,《智能系统工程》就成为水到渠成之作。

当今时代是以物质和能量为中心观念的传统科学向以物质、能量、信息为中心观念的现代科学转变的时代,也是传统科学方法论向现代科学方法论转变的时代,因此是交叉科学蓬勃发展的时代。

我期待并相信,《智能系统工程》的问世将有助于促进人们加速科学观念和科学方法论的转变,使我国的科学研究能够为人类做出更大的贡献。

中国人工智能学会前理事长、北京邮电大学教授

钟义信

2014年2月3日

前 言

为了学习、继承、发展恩师钱学森先生倡导的系统工程,研究开发智能系统工程,这是智能和系统工程相结合,系统工程智能化、人工智能工程化的成果。本书研究、论述智能系统工程新学科的基本概念、学科架构、理论方法、实现技术、应用系统、发展前景,是关于智能系统工程近 20 年的研究、开发、应用工作的初步总结。

1994 年,由于中国军事系统工程委员会主任委员孙柏林将军的邀请,我有幸参加“深化军事系统工程研究与应用学术研讨会”,作关于“人工智能研究、应用与发展”的报告,提出了智能系统工程(ISE)的新概念,认为:智能系统工程是系统工程深化与升华的新途径。

随着国内外人工智能研究、开发、应用方面的进展,我国学者基于华夏哲理,提出了:广义人工智能、广义智能信息系统论、广义智能学、高等人工智能、全信息、泛逻辑、可拓学、智能科学技术。相应地,智能系统工程也在广度、高度上向“广义智能系统工程”、“高等智能系统工程”、“智慧系统工程”发展。

在智能系统工程研究、开发、应用工作中,得到了中国军事系统工程委员会孙柏林将军的支持、合作与帮助;中国人工智能学会钟义信教授、何华灿教授、韩力群教授、刘增良教授、陈杰教授的支持、合作与帮助;北京科技大学的有关领导、计算机系的许多同事、学生的支持、合作与帮助;在《智能系统工程》专著的撰写、出版工作中,得到马忠贵副教授的合作、支持、帮助。这里表示热诚的、衷心的感谢!

有感一首:

智能系统工程好,师生合作出书稿;
感谢各位多支持,智慧系统工程高。

中国人工智能学会 荣誉理事长
智能系统工程专委会 名誉主任
北京科技大学计算机系统所长
涂序彦

2014 年 1 月 9 日

目 录

| | |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 第 2 章 智能系统工程概念的提出 | 4 |
| 2.1 智能系统工程的概念涵义 | 4 |
| 2.2 现代系统工程面临挑战 | 5 |
| 2.3 智能系统工程建模 | 7 |
| 2.4 智能系统工程分析 | 8 |
| 2.5 智能系统工程综合 | 9 |
| 2.6 智能系统工程仿真 | 10 |
| 2.7 小结 | 11 |
| 第 3 章 智能系统工程的人工智能 | 12 |
| 3.1 人工智能的研究对象 | 12 |
| 3.1.1 机器智能 | 12 |
| 3.1.2 智能机器 | 13 |
| 3.2 人工智能的学科内容 | 14 |
| 3.2.1 机器思维与思维机器 | 14 |
| 3.2.2 机器感知与感知机器 | 15 |
| 3.2.3 机器行为与行为机器 | 15 |
| 3.3 人工智能的研究方法 | 16 |
| 3.3.1 功能模拟学派 | 16 |
| 3.3.2 结构模拟学派 | 16 |
| 3.3.3 行为模拟学派 | 16 |
| 3.4 人工智能的学科架构 | 16 |
| 3.5 人工智能的应用领域 | 17 |

| | | |
|------------|----------------------------|-----------|
| 3.6 | 小结 | 20 |
| 第4章 | 智能系统工程的新动向 | 21 |
| 4.1 | 为知识经济服务 | 21 |
| 4.2 | 进信息高速公路 | 22 |
| 4.3 | 促智能社会发展 | 24 |
| 4.3.1 | 系统的概念 | 24 |
| 4.3.2 | 系统的特性 | 24 |
| 4.3.3 | 系统的类型 | 25 |
| 4.4 | 智能系统工程开发策略 | 25 |
| 4.5 | 小结 | 27 |
| 第5章 | 智能系统工程的广义人工智能 | 29 |
| 5.1 | 广义人工智能的概念涵义 | 29 |
| 5.1.1 | 多种人工智能 | 29 |
| 5.1.2 | 多层人工智能 | 29 |
| 5.1.3 | 多体人工智能 | 30 |
| 5.2 | 广义人工智能的学科体系 | 31 |
| 5.2.1 | 研究对象 | 32 |
| 5.2.2 | 学科内容 | 32 |
| 5.2.3 | 学科分支 | 32 |
| 5.3 | 广义人工智能的理论基础 | 33 |
| 5.4 | 广义人工智能的科学方法 | 34 |
| 5.5 | 小结 | 35 |
| 第6章 | 广义智能系统工程 | 37 |
| 6.1 | 广义智能系统工程的概念涵义 | 37 |
| 6.2 | 广义智能系统工程的学科架构 | 38 |
| 6.3 | 广义智能系统工程的建模方法 | 38 |
| 6.4 | 广义智能系统工程的系统分析 | 40 |
| 6.5 | 广义智能系统工程的系统综合 | 41 |

| | | |
|------------|---------------------------|-----------|
| 6.6 | 广义智能系统工程模型类谱 | 43 |
| 6.6.1 | 广义人工智能的扩展模型 | 43 |
| 6.6.2 | 广义智能系统的概念模型 | 43 |
| 6.6.3 | 广义智能系统工程的类谱表 | 44 |
| 6.7 | 小结 | 44 |
| 第7章 | 智能系统工程的广义智能 | 45 |
| 7.1 | 广义智能学的基本概念 | 45 |
| 7.2 | 广义智能学的研究对象 | 47 |
| 7.3 | 广义智能学的学科体系 | 49 |
| 7.4 | 广义智能学的基本内容 | 50 |
| 7.5 | 广义智能学的研究方法 | 52 |
| 7.6 | 广义智能学的科学意义 | 53 |
| 7.7 | 广义智能学的学科架构 | 54 |
| 7.8 | 广义智能学的应用价值 | 55 |
| 7.9 | 小结 | 56 |
| 第8章 | 广义智能系统理论 | 57 |
| 8.1 | 广义智能的概念 | 57 |
| 8.2 | 广义智能的特性 | 58 |
| 8.3 | 广义智能系统的类型 | 59 |
| 8.4 | 广义智能系统理论 | 60 |
| 8.5 | 小结 | 62 |
| 第9章 | 智能系统工程的标准和规范 | 63 |
| 9.1 | 智能系统工程的技术标准 | 63 |
| 9.2 | 智能系统工程的性能标准 | 64 |
| 9.3 | 智能系统工程的规范 | 65 |
| 9.4 | 智能系统工程的评测 | 66 |
| 9.5 | 智能化、电脑化、自动化 | 66 |
| 9.6 | 小结 | 67 |