

机械工程学科研究生教学用书



智能设计

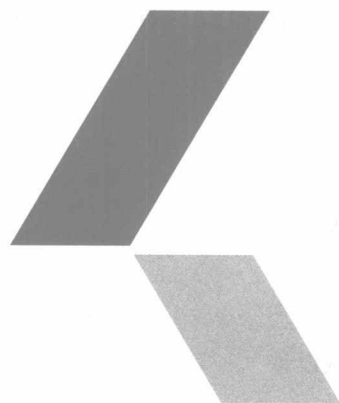
王安麟 姜 涛 刘广军

Intelligent Design



高等教育出版社

机械工程学科研究生教学用书



智能设计

王安麟 姜 涛 刘广军

Intelligent Design



高等教育出版社

内容提要

本书以复杂机械系统的设计为背景,在对传统的自上而下的机械设计方法进行归类 and 整理的基础上,以机械结构的智能设计为主线贯穿始终,从机械的智能设计思想出发,更一般地论述了其方法和技术。重点将非线性、遗传算法、元胞自动机、神经网络等方法作为自下而上的智能化方法,讲述自下而上、自组织、自适应、自优化的智能设计思想和算法。从宏观和微观方法论上进行综合和交叉,为研究生、大学高年级本科生以及相关专业科研人员掌握复杂机械系统的智能设计提供理论基础和方法。

本书可作为高等院校工程类(如机械、动力等)、信息类(如计算机、自动化等)各专业和其他相关专业的研究生和高年级本科生教材,也可供从事设计研究、开发工作的学者与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能设计/王安麟,姜涛,刘广军. —北京:高等教育出版社,2008.11

ISBN 978 - 7 - 04 - 025238 - 5

I. 智… II. ①王…②姜…③刘… III. 机械设计
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156701 号

策划编辑	宋 晓	责任编辑	查成东	封面设计	刘晓翔	责任绘图	尹 莉
版式设计	范晓红	责任校对	金 辉	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京新丰印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 13.75
字 数 330 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 11 月第 1 版
印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷
定 价 25.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25238-00

机械工程学科研究生教学用书专家委员会

主 任 高 峰
副主任 张以都 赵升吨
委 员 (以姓氏拼音为序)

邓兆祥 韩 江

黄洪钟 蒋业华

李 原 李柏林

刘 冲 潘晓弘

潘毓学 史金飞

史铁林 宋锦春

宋轶民 孙文磊

王安麟 吴佩年

夏 伟 许立忠

张 杰 左敦稳

左正兴

秘 书 宋 晓

总 序

随着中国高等教育持续发展,研究生教育发生了很大变化,我国已经迅速跨入了世界研究生教育大国的行列。为了满足研究生教育的需求,高等教育出版社组织了若干套丛书作为研究生教学参考用书。其中机械工程学科研究生系列教学用书是在对全国机械工程学科研究生教育及其教学用书进行全面调研的基础上,由“机械工程学科研究生教学资源建设委员会”组织编写的。组织、编写、出版这套研究生教学用书是一件既有教学价值,又有学术价值的工作。

培养研究生应当特别重视能力的培养。所谓能力,包括自我充实的能力,即独立从一个领域进入另一个领域的的能力,以及解决问题的能力。知识是一个动态的集合:昨天的新知识,今天就可能变成一般的知识,明天也许就要变为需要加以更新的知识。竞争迫使人们要不断更新自己的知识和进入新的领域。任何人都不可能将他一生中解决问题需要用到的知识都在学校里装进脑袋,也不可能年轻时学了的就可以用一辈子。因此,如何培养自我充实能力是非常重要的教育课题,特别是在研究生培养阶段。

自我充实主要有三个途径:浏览、读书和实践。在信息技术高度发展的时代,为一个名词搜集几万条信息,往往只是几秒钟的事。因此,需要将浏览和读书作为两个不同的学习方法区分开来。浏览是遍历广泛的信息而可以不甚了了,读书则不同,读书是为了对所描述的领域进行深入的了解。要了解一个领域,并且想进入这个领域,最好的办法就是先找一本这个领域的经典著作,老老实实在地读完。不仅要掌握书中阐述的基本概念,还要弄懂书中介绍的基本理论,学好书采用的基本方法。如果有计算公式,那么最好一个一个地推导,如果有作业,最好一个一个做一遍。读完以后,再依照书和借助其他工具的引导,去浏览可能得到的信息以丰富自己。此时,对于得到的信息,不仅要能够辨别信息的可信程度,而且要估计它的重要性并判断是否需要花时间和需要花多少时间去进一步了解。这样就完成了从了解到进入一个领域的第一步。一本好书,还应当起到帮助初学者掌握正确的学习方法,和以严谨、科学的治学态度潜移默化地感染读者的作用。

进入一个领域的第二步,也是不可缺少的一步,就是实践。一个人,不论他读了多少书,如果没有亲自做过,他就不可能真正领会很多理论和方法的精髓。当他要用读到的知识去解决问题时,就会觉得没有把握。另外,任何书都不可能完美无缺,经过实践,不仅能够更深入地理解书中正确的方面,更可以发现书中论点和方法的不足之处。读书不是为了做书呆子,而是为了在前人成功的基础上找到自己前进的方向。

从上面的分析可以看到,一本经典著作,对于引领一个人进入一个领域,是多么的重要。可惜现在这样的好书太少了,按照这种要求来写的书太少了。另外,能够这样读书的人也太少了。很多人往往满足于在网络上浏览,或者用对待查手册的态度对待读书。读得也不少,但是越读越理不出头绪。另一方面,没有好书可读也是事实。读文献不等于读书,一篇文献讲的往往是很局部的问题,不可能从一条缝隙中看到一片天;综述文献又太概括,对于还不熟悉这个领域的人,很难从中了解问题的本质。

II 总序

高等教育出版社组织的若干套研究生教学用书,按照人们的期望,应当走出过去写本科生教材的框框,应当能够向专门的学术著作方向发展,希望其中一部分,能够在一段时间以后成为相应领域中的经典著作。从组织这套机械工程学科研究生教学用书已经确定的选题来看,覆盖了机械工程学科许多非常重要的基础领域,如果能够写好,将会对研究生培养起到重要作用,对于工作在非教育岗位上的同行,也是自我充实的宝贵资源,是继续教育的重要组成部分。从研究生自我充实能力培养的角度出发,这些领域的好书太重要了。研究生不能再靠听课来充实自己,也不能再靠以考试打分去考察他们的能力。这就是为什么人们对这套机械工程学科研究生教学用书寄以殷切期望的原因。

愿它们能够早日与大家见面。

上海交通大学 西安交通大学 教授

谢友柏

2008.6

前 言

对于客观大量存在的具有复杂性特征的实际工程问题的解决,传统的自上而下的设计方法和思路越来越显现出其局限性,而智能设计的方法和思路却越来越显现出其有效性。本书的基本思想是,通过传统的自上而下系统理论与自下而上自组织、自适应、自优化方法的融合,实现复杂工程问题的简约化设计应用。即将自下而上的智能化算法和描述复杂系统的动力学理论引入工程设计学,以工程设计建模的应用为主要背景,更一般地论述其方法和技术。其基本内容为:智能模拟的科学、智能设计方法和技术综述、进化设计技术与方法、自组织设计技术与方法、自学习设计技术与方法等智能设计的方法。

本书的基本目标是突破研究生教学中传统系统设计方法的束缚,使研究生从宏观和微观方法论上进行综合和交叉,掌握构造更高层次系统设计的技术和方法,掌握对复杂设计对象进行研究和分析的基本方法,用智能化方法解决更为复杂的工程设计问题。本书在对传统的自上而下的机械设计方法进行归类 and 整理的基础上,集作者多年从事智能设计研究经验,从机械智能设计研究和应用出发,立足于把自组织优化、非均衡系统的模型化、新的系统预测方法、复杂系统的优化解决方案等作为基本内容,反映智能设计课程教学的特征。

本书可作为高等院校工程类(如机械、动力等)、信息类(如计算机、自动化等)各专业和其他相关专业的研究生和高年级本科生教材,也可供从事设计研究、开发工作的学者与工程技术人员参考。

本书由同济大学王安麟、姜涛、刘广军编著,全书由王安麟教授统稿。在本书编写过程中,参考了大量专著和文献,限于篇幅未能一一列出,在此表示感谢。由于作者水平有限,书中不当、不足之处,恳请同行和读者及时批评指正。

本书是在同济大学研究生教材出版基金的资助下完成的,在此深表感谢。

作 者

2008 年 6 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目

录

第一章 智能模拟的科学	1
1.1 信息社会与思维科学	1
1.1.1 思维与思维科学	1
1.1.2 思维的类型	2
1.2 思维的基础和认知的发展	7
1.2.1 思维与智能	7
1.2.2 思维的神经基础	7
1.2.3 认知发展	8
1.3 智能模拟	14
1.3.1 智能模拟的科学基础	14
1.3.2 智能模拟的哲学基础	14
1.3.3 智能模拟的基本途径	15
第二章 智能设计方法和技术综述	17
2.1 智能设计的发展概述	17
2.1.1 CAD 的发展	17
2.1.2 智能设计的两个阶段	17
2.2 智能设计的概念和特征	18
2.2.1 智能设计的特点	19
2.2.2 智能设计技术的研究重点	19
2.2.3 智能化方法的分类和智能设计的 层次	20
2.3 智能设计的基本方法	22
2.3.1 智能设计的分类	22
2.3.2 智能设计系统与技术	23
2.3.3 智能设计体系和知识表达	25
第三章 进化设计技术与方法	37
3.1 进化设计技术基础	37
3.1.1 遗传算法的概貌	37
3.1.2 基本遗传算法	38
3.1.3 模式定理	43
3.1.4 遗传算法的有关操作规则和方法	44
3.1.5 多个体参与交叉的遗传算法	49
3.1.6 多目标进化算法简介	55
3.2 基于进化的健壮性设计方法	68
3.2.1 健壮性开发方法的基本思路	68
3.2.2 基于进化的健壮性设计方法的总体 框架	71
3.2.3 基于进化的健壮性设计方法的 说明	74
3.3 结构智能优化设计——进化 设计	75
3.3.1 结构智能设计的概念	76
3.3.2 结构进化智能优化设计	77
3.3.3 基于进化的桁架结构相位设计	77
3.3.4 基于进化的结构非线性强制振动 解法	79
3.3.5 基于进化的圆抛物面天线健壮结构 设计	84
3.4 基于遗传算法的配送路径优化 设计	103
3.4.1 路径优化问题与模型	104
3.4.2 遗传算法的构造	105
3.4.3 仿真与结果分析	107
3.5 高速贴片机 PCB 板贴片装配工艺 的遗传优化	108
3.5.1 贴装工艺流程及其简化	109
3.5.2 贴装工艺的集成优化数学模型	111
3.5.3 用遗传算法求解贴片装配工艺优化 问题	112
第四章 自组织设计技术与方法	116
4.1 自组织技术基础	116
4.1.1 “生命的游戏”	116
4.1.2 元胞自动机的基础	118
4.1.3 元胞自动机的自组织建模方法	123
4.1.4 元胞自动机的应用领域	126
4.2 城市交通信号自组织控制模型	127
4.2.1 CA 与城市交通信号控制问题	129
4.2.2 基于 CA 的城市交通信号控制 模型	130
4.2.3 城市交通信号自组织控制的实时	

II 目录

过程与规则	131	模型	176
4.2.4 仿真结果与比较	132	5.2 非线性振动的自学习建模	181
4.3 结构拓扑的自组织进化	133	5.2.1 神经网络和系统识别	181
4.3.1 结构拓扑优化中的 ECA 直接 规则	134	5.2.2 非线性振动脉冲响应的学习和系统 预测	184
4.3.2 ECA 规则的进化表达	136	5.2.3 Duffing 振动的学习和预测	186
4.3.3 结构拓扑形态优化的算例	138	5.2.4 预测精度和泛用性的考察	191
4.4 电子连接器微动磨损的自组织 模型及其仿真	139	5.3 基于学习的机械系统特性预测	191
4.4.1 影响因素分析	139	5.3.1 机械系统特性预测的问题	191
4.4.2 模型建立	141	5.3.2 机械系统特性预测的基本模型	192
4.4.3 仿真及结果分析	143	5.3.3 雷达结构系统固频的预测例	193
第五章 自学习设计技术与方法	149	5.4 神经网络专家系统的智能设计体系 结构	195
5.1 自学习技术基础	149	5.4.1 建立人工神经网络专家系统的 必要性	195
5.1.1 神经网络的概述	149	5.4.2 面向设计的智能平台	196
5.1.2 神经网络的主要特点	150	5.5 基于神经网络的 CAD/CAM 一体化	198
5.1.3 细胞元模型	152	5.5.1 系统的结构	198
5.1.4 神经网络模型	155	5.5.2 产品零件数据结构	199
5.1.5 神经网络的学习	158	5.5.3 智能 CAPP 系统	199
5.1.6 多层前向神经网络(BP 网络)	163	参考文献	203
5.1.7 典型反馈网络——Hopfield 网络	172		
5.1.8 基于概率学习的 Boltzmann 机			

第一章 智能模拟的科学

智能设计(intelligent design, ID)主要通过智能模拟来实现。为此,本章主要介绍思维科学的基础、思维的形式、智能模拟的方法以及智能模拟的神经基础和哲学基础。

1.1 信息社会与思维科学

随着生产自动化水平的不断提高和现代科学技术的迅猛发展,人类社会已经进入了信息社会,正在步入智能化的新时代。人们从来没有像今天这样重视信息在生产、生活、科研以及军事等方面的重要作用。由于人们面临着信息量大、传递迅速及复杂多变等特点,因此,对信息的获取、加工和处理变得更加困难和重要,于是人们才真正感到要研究和利用人认识世界的规律和方法,来提高人类自身的智能水平、提高机器的智能化水平,而这一切又都离不开对思维科学的研究。

1.1.1 思维与思维科学

人们从不同角度研究思维的各个侧面已有悠久的历史。早在20世纪80年代初期,我国著名科学家钱学森教授就倡导开展思维科学的研究。与此同时,国外也开展了所谓认知科学(cognitive science)的研究,它主要分为认识心理学和人工智能两个领域,前者主要研究如何利用计算机仿真技术建立人的认知模型,后者侧重如何运用人的认识经验使机器智能化,其中首先是计算智能化。

国外的认知科学研究不涉及思维类型的基础理论研究,只重视从个体角度研究思维,尤其是尚未注重对形象思维机制的研究,因此被看做是狭义的思维科学。

思维是人脑对客观事物间接的反映过程。所谓间接的反映,意味着思维不是凭感觉器官对事物表象的直接认识,而是通过间接的甚至迂回的途径来反映客观事物的特点或它们之间的联系与规律。间接认识需要借助已有的知识和经验,要间接地认识事物的特点、本质和规律,绝不可能靠消极、被动地反映事物的表面现象,而必须靠自觉地、主动地在实践活动中占有材料,靠回忆有关的知识或经验或通过联想、推想、想象等对有关材料进行分析、综合、“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里”地加工改造,才能把握事物的本质,找出事物间的规律性联系,并有效地去改造客观事物。

人脑对客观事物的间接反映过程,包括回想、联想、表象、想象、思考、推想等。人们通过思维活动能够反映客观事物的特点、本质属性、内部联系及发展规律,因此思维是认识过程的高级阶段。

意识是人的一种认识活动,它包括感觉、知觉和思维。思维是意识的一部分,而且是最主要的成分。假如没有思维,人就不会有意识。思维科学是研究思维的规律和方法的科学,而不涉及对具体思维内容的研究。思维科学的基础科学是研究人的意识思维规律的科学,又称思维学。

人的思维除了自己能够控制的意识以外,还有很多人脑不能直接控制的意识,即所谓的下意识。例如人走路,开步走是人脑控制的,走了两三步后就“自动化”了,脑子并不去想该怎么走。要拐弯或遇到障碍时,又控制一下,所以,人确实有很多意识是没有经过大脑的,思维科学就是要研究人能够控制的那部分意识。

1.1.2 思维的类型

按照科学研究工作的需要,从思维规律的角度出发,思维可划分为抽象思维、形象思维和灵感思维三种类型。但是,人的思维活动过程往往不是一种思维方式在起作用,而是两种甚至三种先后交错地起作用。比如,人的创造性思维的过程就绝不是单纯的抽象思维,总要包含点形象思维,甚至要有灵感思维充当创造性思维火花的导火线和催化剂。

1. 抽象(逻辑)思维学

抽象思维学又称逻辑思维学,这里讲的逻辑是指人的思维规律。逻辑学分为形式逻辑和辩证逻辑两大类。

(1) 形式逻辑

形式逻辑是研究人们思维形式的结构及思维的基本规律的科学。思维形式的结构不是我们头脑中虚构出来的东西,而是客观现实的一种反映,它是客观事物的某种一般关系、特性的概括反映。如:“S 是 P”这个结构,它是“事物具有属性”这样一个事物的普遍性的反映;“M 是 P, S 是 M, 所以 S 是 P”是“全类是什么,则全类事物中的一部分也就是什么”这样一种客观关系的反映。这种思维形式的结构是人类在长期实践活动中总结出来的产物。

思维的基本规律是运用各种思维形式时都必须遵守的规律。早在公元前 4 世纪,已经有希腊哲学家亚里士多德(Aristotle, 公元前 384—322)创立了形式逻辑思维规律,即同一律、矛盾律和排中律。到了 17 世纪末,德国哲学家莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646—1716)又增加了一条充足理由律,即组成了所谓的逻辑思维的四个初步规律。

从莱布尼兹开始,不少科学家和哲学家,特别是布尔(G. Boole, 1815—1864)和罗素(B. Russell, 1872—1970),把数学方法用于逻辑的研究,形成了数理逻辑这一学科,它可以看做是形式逻辑的一个特殊的分支。模态逻辑、多值逻辑、时序逻辑、模糊逻辑等,都属于数理逻辑这一范畴。形式逻辑又称传统逻辑,可以简称为逻辑。形式逻辑归根到底要解决的是思维的准确性问题。

(2) 思维形式

思维的形式就是概念、判断和推理。概念是对客观事物的本质属性加以反映的思维形式。自然界及社会现象中的一切事物与现象,都具有许多性质。所谓性质就是事物所具有的那些相互区别、相互类似的一切质的、量的规定性,诸如数目、大小、速度、程度、动作、形态、特征、规律及关系等,都叫性质,它们是属于事物的,又称为事物的属性。属性可以分为本质的和非本质的两种。本质属性具有两个特点:其一,它是一个或一类事物内部所固有的规定性;其二,它具有把此事物和其他事物区别开的性质。本质属性一定是事物特有属性,而事物的特有属性却不一定是事物的本质属性。作为思维形式之一的概念,所反映的是事物的本质属性。

概念包含两个方面,一是概念的内涵,二是概念的外延。一个概念的内涵就是这个概念对象的本质属性,而它的外延就是这个概念所反映的全体对象。概念的内涵和外延是两个有机联系

的方面,内涵是指外延对象的属性,外延是指具有内涵属性的对象。概念外延所构成的类就叫做集合。由此可见,研究集合就是从外延方面研究概念。逻辑学指出概念具有外延和内涵两个方面,为我们指出了一条明确概念、研究概念的途径。判断是概念与概念的联合,而推理则是判断与判断的联合。在普通逻辑中,判断是对思维对象有所断定的思想,即断定对象具有某种属性,或不具有某种属性;断定的结果是肯定或否定某种对象及其属性。这是判断的最基本的逻辑特征。如果断定的情况被实践证明是符合客观实际的,那么这个判断就是真的,否则就是假的。因此,任何判断要么是真的、要么是假的,这种或真或假的性质叫做判断的值,这是判断的又一个基本特征。

推理是根据一个或一些判断获得一个新的判断的思维方式,任何一个推理都必须包含前提和结论两个组成部分。已有的一个(或一些)判断称之为前提,新的判断称之为结论。在形式逻辑中,推理可以从不同角度分成多种形式,如直接推理、间接推理、演绎推理、归纳推理、类比推理、模态推理等。直接推理是指从一个前提推出结论的推理;间接推理是从两个或两个以上前提推出结论的推理;演绎推理是以一般的原理原则为前提,推到某个特殊的场合做出结论的推理方法;归纳推理是从若干个特殊的场合中的情况为前提,推求到一个一般的原理原则作为结论的推理方式;类比推理是由特殊判断为前提,推出另一个特殊性判断的推理方法;模态推理是最少有一个前提是模态判断的推理,所谓模态判断是对事物情况的性质加以判定的判断。

在科学论著中最常用的是演绎推理,它又分为三段论法、假言推理和直言推理。三段论法是从两个判断(其中一个一定是“所有的S都是(或不是)P”的形式,S表示对象,P表示对象所具有的某种属性)得出第三个判断的推理方法。三段论包含着三个判断,第一个判断提供了一般的原理原则,称其为大前提;而第二个判断指出了一个特殊场合的情况,叫小前提,联合这两个判断,说明一般原则和特殊情况间的联系,从而得出第三个判断,称之为结论。

假言推理和直言推理都属于演绎推理,假言推理的大前提是假言判断(是指肯定或否定对象在一定条件下具有某种属性的判断),小前提和结论是直言判断(无条件地肯定或否定某种事物的判断称直言判断)。

(3) 思维的基本规律

从上面论述的概念、判断和推理的思维形式可以看出,人们是按照一定的规律和逻辑结构去组织思想和进行思维的。逻辑的基本规律是客观事物的相对稳定性在思维中的反映,逻辑规律只是在思维活动中起作用,不在客观事物中起作用。事物的相对稳定性反映在思维中成为思维的确定性。思维的确定性表现为概念、判断的自身统一,这就是同一律;思维的确定性表现为概念和判断的前后一贯,不自相矛盾,这就是矛盾律;思维的确定性表现为两个相互矛盾的思想之间要作出抉择,排除中间的可能性,这就是排中律。

同一律是指在同一思维过程中,每一思想的自身都具有统一性,所谓思想的统一性是指概念或判断内容的同一性。科学研究的实践表明,任何一个严密的完整的科学体系都是符合同一律要求的,如果违反了同一律的要求,科学研究就不能建立严密、完整的科学体系。

矛盾律是指在同一思维过程中,每个思想与其否定都不能同时为真,其中必有一假。矛盾律是把同一律思想进一步展开,指出既肯定又否定的思想是逻辑矛盾,不能同真。矛盾律的作用是使思维首尾一致,避免自相矛盾。任何一个科学理论都具有不矛盾性,一个科学理论,如果包含逻辑矛盾,人们就会对它发生怀疑。在科学史上,许多科学上的突破,往往是从发现原有科学体

系的逻辑矛盾并在设法消除这种矛盾的基础上,创立了新的理论体系。

排中律是指在同一思维过程中,两个互相矛盾的思想必有一个是真的。排中律又比矛盾律深入一层,明确指出两个矛盾思想不能同假,必有一真。在论证中,矛盾律只能由真推假,不能由假推真,而排中律不是由真推假,而是由假推真。

同一律、矛盾律和排中律都是思维确定性的表现,它们之间的关系是密切的,只不过是不同侧面表述思维的确定性。它们构成了逻辑思维的基本规律,所有正确的思维形式都是以这些思维的基本规律作为基础,要正确地进行思维,就必须遵守这些规律的要求。

(4) 辩证逻辑和数理逻辑

把高等数学有关变量等概念引进形式逻辑,促成了辩证逻辑的产生。辩证逻辑是关于思维运动的辩证规律的理论。

虽然形式逻辑和辩证逻辑都是研究思维形式,但是它们是从不同角度出发的。首先,形式逻辑从抽象同一性角度研究思维形式,即把思维形式看做既成的相对稳定的范畴;辩证逻辑从具体同一性角度研究思维形式,即把思维形式看做对立统一、矛盾运动和转化的范畴。其次,形式逻辑的基本规律是同一律、矛盾律和排中律,它们虽有客观基础,但不是事物本质的规律;辩证逻辑的基本规律是对立统一、质量互变、否定之否定等规律,它们是客观事物本身的规律。

数理逻辑亦称符号逻辑,它源于形式逻辑,现已成为独立学科。数理逻辑是用数学方法研究推理、证明等问题的科学,主要内容为命题演算、谓词演算、递归论、证明论、集合论和模型论等。在形式化方面数理逻辑比形式逻辑更丰富、更发展。它用符号把概念、命题(判断)抽象为公式,把命题间的推理抽象为公式间的关系,并把推理转化为公式的推演。在数理逻辑中,用符号表示逻辑概念及其关系,常用符号“ $\rightarrow$ ”表示蕴含;“ $\neg$ ”表示否定;“ $\vee$ ”表示命题的析取(或);“ $\wedge$ ”表示合取(与);“ $\leftrightarrow$ ”表示等价。

数理逻辑关于形式语言的研究,为计算机语言提供了前提,而数理逻辑在计算机中的应用又推动了逻辑学的发展。辩证逻辑的建立和发展,对于提高人们的认识能力和推动形式逻辑、数理逻辑和电子计算机技术的发展具有非常重要的意义。

(5) 模糊逻辑和可拓逻辑

模糊逻辑是以模糊集合论为基础的,而传统的逻辑是以经典集合论为基础,通常称为二值逻辑,这种逻辑可以表述思维的确定性,但是它不能表述思维的模糊性。为了描述客观事物的模糊概念,美国加利福尼亚大学控制论专家扎德(L. A. Zadeh)教授在1965年发表了“模糊集合”的重要论文,从而创立了模糊数学。1975年扎德教授又出版了《模糊集合、语言变量及模糊逻辑》一书,标志着模糊逻辑的正式诞生。

在模糊逻辑中,将逻辑真值从普通的二值逻辑真值从 $\{0,1\}$ 扩展到了 $[0,1]$,由于模糊逻辑真值在区间 $[0,1]$ 中连续取值,通过该真值的大小表明真的程度。因此,模糊逻辑实质上是无限多值逻辑,也就是连续值逻辑,它为描述模糊概念及模拟人的模糊逻辑思维方式提供了强有力的工具。

将辩证逻辑和形式逻辑结合产生了一种新的逻辑——可拓逻辑,它是以可拓集合为基础的。我国蔡文教授1983年发表了“可拓集合和不相容问题”的创新论文,目的在于研究解决现实世界中存在的不相容问题的规律和建立解决不相容问题的数学模型。论文中指出解决不相容问题,要考虑三个方面:一是必须涉及事物的变化及其特征;二是必须使用一些非数学方法;三是必

须建立容许一定矛盾前提的逻辑。为此,建立了可拓集合的概念,以便讨论对象集内不属于经典子集而能转化到该子集内的元素,这是解决不相容问题的基础。在逻辑关系上,与可拓集合相对应,建立了关联函数的概念,把逻辑真值从 $(0,1)$ 扩展到 $(-\infty, +\infty)$,用关联函数值的大小来衡量元素与集合的关系,使经典数学中“属于”和“不属于”集合的定性描述扩展为定量描述,以表征元素间的层次关系。

可拓逻辑能够描述事物的可变性,为解决客观世界中的矛盾问题提供了重要工具,它将在许多工程领域,如识别、决策、评价、控制、信息处理等方面有着广阔的应用前景。

2. 形象(直觉)思维学

(1) 形象思维及其特点

形象思维简单地说,是凭借形象的思维。这种思维活动通过形象来思考和表述,它的主要思维手段是图形、行为等典型形象材料,它的认识特点是以个别表现一般,始终保留着事物的直观性,要求鲜明生动,思维过程主要表现为类比、联想、想象。

人的感觉器官接触到外界事物,通过大脑产生感觉,不同的感觉(视觉、听觉等)相互联系,经过综合以后形成知觉,知觉在脑中形成外界事物的感性形象,叫做映象,或称通过感性认识获得的表象,用表象进行的思维活动叫做形象思维,又称直觉思维。

表象是回想起过去感知过的事物形象的过程。表象与感觉、知觉都是对事物外部形象的反映,但两者不同的是:感、知觉是对当前事物的直接反映,是由事物直接作用于感觉器官引起的,是认识事物的初级阶段;表象不是对当前事物的直接反映,而是对过去感知过的形象的再现。表象过程具有生动具体的形象,但表象过程不如知觉过程鲜明、完整和稳定。此外,表象具有间接的特征,它不是当前事物的直观形象,而是通过回想或联想在头脑中呈现的过去感知过的事物的形象。

概括地说,形象思维是在实践活动和感性经验基础上,以观念性形象即表象为形式,借助各种图式语音或符号语言为工具,以在经验中积累起来的形象知识为中介反映事物本质和联系的过程。

(2) 形象思维的规律

转换关联律:在形象思维过程中,人们把事物的表象以及表象过程的信息转化成事物的状态信息,即通过表象反映事物的内在性质、内部变化和关系,必须事先在实践活动中建立起表象信息和状态信息的并联系统。比如,内科医生通过听诊器捕捉患者心肺活动的声像信息,然后把它转换成患者心肺状态的信息,这种信息转换的基础是医生头脑中建立了心肺声像和心肺状态信息的并联系统。

由于形象思维最基本的过程是形象信息与状态信息转换的过程,所以转换并联是形象思维的一条基本定律。

模式补形律:模式补形律是利用观念性的形象模式对事物或事物过程的表象进行整合补形,从而推出事物的补形或全形的规律。所谓观念性的形象模式,是指事物或事物过程的概括表象,是在长期实践过程中逐渐形成,它是对事物或事物过程的丰富形象特征进行分析、选择、概括、定型的结果,是形象思维中进行模式补形的内在根据。所谓整合补形是对事物不完整的、片面的表象进行加工、整理,同时补出缺少部分形象或补出事物完整形象的过程,它是一种形象思维的推理形式。

模式补形最主要的环节是建立事物的表象模式。在工程设计中,工程师把物体的形象抽象出来加以规范,采用简捷的线条表现出来,从而为施工人员提供了一个表象模式;在科学研究中,科学工作者对所研究的对象进行系统的研究,科学地确定每种对象的形象特征,于是就形成对象的表象模式。通过表象模式对事物不完整的形象进行整合补形是人类特有的一种形象思维能力,模式补形律是形象思维的一个普遍规律。

(3) 形象思维的主要形式

形象思维的过程主要表现为类比、联想和想象。

类比是通过两个不同对象进行比较的方法进行推理,而重要的一环就是要找到合适的类比对象,这就要运用想象。类比方法在控制论的形成和创立过程中起到关键的作用,正是采用类比沟通了机器、生命体和社会等性质不同的系统,找到了它们的相似性,为功能模拟方法的运用提供了逻辑基础。

联想是一种把工程技术领域里的某个现象与其他领域里的事物联系起来加以思考的方法。联想能够克服两个概念在意义上的差距把它们联系起来,联想的生理和心理机制是暂时的神经联系,也就是神经元模型之间的暂时联想。维纳(N. Wiener, 1894—1964)就是利用类比和联想的方法,考究反馈在各种不同系统(从人的神经系统到技术领域)的表现,为控制论的形成奠定了基础。

想象是对头脑中已有的表象进行加工改造而创造新形象的思维过程。因此,它可以说是一种创造性的形象思维。想象不是直接感知过的事物的简单再现,而是对已有的表象进行加工改组形成新形象的过程。任何想象都必须以表象为基础,想象与表象既有区别又有联系,表象是现成的、旧有的,而想象是创造新形象的过程。想象的形成过程主要是对表象进行分析综合的加工改组过程,想象的分析和综合是凭借形象来实现的。

想象对新知识的探索和科学发现具有重要作用,爱因斯坦曾说:“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想象力是科学研究中的实在因素。”

著名的科学家钱学森指出:“人认识客观世界首先是用形象思维,而不是用抽象思维。就是说,人类思维的发展是从具体到抽象。”他建议把形象思维作为思维科学的突破口。因为它一旦搞清楚之后,就把前科学的那一部分,别人很难学到的那些科学以前的知识,即精神财富,都可以挖掘出来,这将把我们的智力开发大大地向前推进。

3. 灵感(顿悟)思维学

灵感思维是指人们在研究过程中对于曾经长期反复进行过探索而尚未解决的问题,因某种偶然因素的激发而豁然开朗,使其得到突然性顿悟的思维活动。灵感思维与直觉思维有某些相似之处,它们最主要的特点是产生的突发性或偶然性。既突如其来,又稍纵即逝。在科学研究中,“灵机一动,计上心来”也是这种灵感思维的表述。

灵感与机遇都同属一种偶然性,但二者性质又不相同,机遇发生在观察和实验中,属于客观现象,而灵感却产生于思考问题的过程中,属于主观现象。在科学史上,因偶然因素而产生灵感的事例是不胜枚举的。

钱学森指出:“如果逻辑思维是线性的,形象思维是二维的,那么灵感思维好像是三维的”,“研究人类的潜意识活动是搞清灵感思维机理的起步方向”。物质世界是一个三维的立体系统,

物质世界的最高产物——人脑也是一个三维的立体系统,人脑不仅在意识这个呈现层次上反映立体的客观世界,而且在潜意识这个层次上反映立体的客观世界。潜意识(unconscious)是一个外来语,也译为无意识或下意识。所谓潜意识就是未呈现的意识,是人脑所具备的潜在的反映形式。潜意识的反映既不是人脑中固有的,也不是没有客观来源的,而是大脑这种特别复杂的物质机能,它是以一定的客体为对象的。现代实验心理学通过对各种不同的潜意识信息的电反应(诱发电位)的测定表明,它是客观存在着的。

灵感是人脑中显意识与潜意识交互作用而相互通融的结晶。然而,灵感思维的发生也有一个过程,在潜意识萌发酝酿灵感时,除潜意识推论外,还常有显意识功能的通力合作,当酝酿成熟时,突然与显意识沟通而涌现出来成为灵感思维。所谓潜意识推论是一种特殊的非逻辑性认识活动,它是多因素、多层次、多功能的系统整合过程。灵感思维实际上是一种潜意识思维方式,即是一种非逻辑思维,它同抽象思维、形象思维一样,都是人们理性认识所具备的一种高级认识方式。

灵感思维的基本特征是它的突发性、偶然性、独创性和模糊性,这些特征是它区别于其他思维形式的显著标志。

1.2 思维的基础和认知的发展

1.2.1 思维与智能

“人是万物之灵”,人类受到如此高度赞誉是当之无愧的。人们发明了望远镜、无线电、雷达、电话、电视等,有了自己的“千里眼”和“顺风耳”;人们可以驾驶航天飞机去“大闹天宫”。由此可见,人类的智慧和才能是任何其他动物无法比拟的。人何以有这样高超的技能和本领呢?最根本的原因就是人类有比其他动物所不具有的发达的大脑。大脑是一切智慧行为的物质基础,没有高度发达的大脑,就不会有人类的智慧和才能,自然更谈不上发明与创造。所以,人类的本质特征就在于具有能够高度发展的智能。

一般说来,智能是指人类所特有的智慧和才能的综合。智慧是指辨析判断、发明创造的能力。才能是指知识和能力。知识是指人们在改造世界的实践中所获得的认识和经验的总和。能力可以理解为能胜任某项任务的主观条件。智力是智能的近义词,是指人认识、理解客观事物并运用知识、经验等解决问题的能力,包括观察、记忆、思维、想象、联想;判断、推理、决策等能力。所以,智能是人类所特有的智慧和能力的综合。概括说来。人类的智能就是人类认识世界和改造世界(包括自己在内)的才智(即才能和智慧)和本领。

人类智能的特点主要是思想,而思想的核心又是思维。可以说,没有思维就没有人类的智能,正是因为有了思维,人类的智能才得以远远超出其他动物而产生了质的飞跃,出现了思想、意识,才使人类成为万物之灵。

1.2.2 思维的神经基础

人所以能够感知和理解客观事物,做出反应,形成复杂的智能活动,是因为人具有产生这些心理活动的物质基础,那就是人类具有特殊的智能器官,主要是指高度发达的大脑,以及感觉器