

“十三五”国家重点图书出版规划项目
湖北省公益学术著作出版专项资金资助项目
智能制造与机器人理论及技术研究丛书

总主编 丁汉 孙容磊

智能系统 新概念数学方法概论 (上册)

朱剑英◎编著

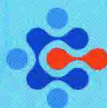


ZHINENG XITONG XINGAINIAN
SHUXUE FANGFA GAILUN



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

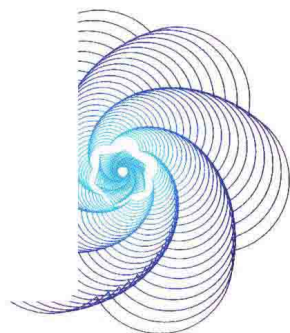


“十三五”国家重点图书出版规划项目
湖北省公益学术著作出版专项资金资助项目
智能制造与机器人理论及技术研究丛书
总主编 丁汉 孙容磊

智能系统 新概念数学方法概论

(上册)

朱剑英◎编著



ZHINENG XITONG XINGAINIAN
SHUXUE FANGFA GAILUN

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书全面、系统汇集并研究了当前和未来在智能系统(包括人工智能)领域所应用的经典与非经典的智能数学方法,至今在国内外尚未见有同类著作发表。本书的特点是:

(1) 从三次数学危机的历史高度出发论证了智能科学、技术、工程的必然发展趋势与创新空间;

(2) 以人工智能科学发展的三大学派——逻辑主义学派、联结主义学派、行为主义学派为线索,介绍与论证了相关的经典与非经典数学方法;

(3) 紧密结合当前与未来人工智能的广泛而深入的应用,精选了十大学科(数理逻辑、集合论、概率论、数理统计、运筹学、图论、组合优化、模糊数学、神经网络、遗传算法)做了全面、系统、精要、启发式的论述与研讨;

(4) 每章都结合所介绍的数学原理和方法,阐述了作者关于创新发展的思悟和建议。

本书适合在智能系统(包括人工智能)领域工作的所有教学、科研、生产人员学习、参考和应用。

图书在版编目(CIP)数据

智能系统新概念数学方法概论:上下册/朱剑英编著. —武汉:华中科技大学出版社,2022.1
(智能制造与机器人理论及技术研究丛书)

ISBN 978-7-5680-5766-0

I. ①智… II. ①朱… III. ①智能系统-数学方法-研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 254606 号

智能系统新概念数学方法概论(上下册)

朱剑英 编著

ZHINENG XITONG XINGAINIAN SHUXUE FANGFA GAILUN

策划编辑:俞道凯

责任编辑:戢凤平 刘 飞

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:47.75 插页:5

字 数:882千字

版 次:2022年1月第1版第1次印刷

定 价:298.00元(含上下册)



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



智能制造与机器人理论及技术研究丛书

专家委员会

主任委员 熊有伦（华中科技大学） 朱剑英（南京航空航天大学）

委员（按姓氏笔画排序）

卢秉恒（西安交通大学） 朱 荻（南京航空航天大学） 阮雪榆（上海交通大学）
杨华勇（浙江大学） 张建伟（德国汉堡大学） 邵新宇（华中科技大学）
林忠钦（上海交通大学） 蒋庄德（西安交通大学） 谭建荣（浙江大学）

顾问委员会

主任委员 李国民（佐治亚理工学院）

委员（按姓氏笔画排序）

于海斌（中国科学院沈阳自动化研究所） 王飞跃（中国科学院自动化研究所）
王田苗（北京航空航天大学） 尹周平（华中科技大学）
甘中学（宁波市智能制造产业研究院） 史铁林（华中科技大学）
朱向阳（上海交通大学） 刘 宏（哈尔滨工业大学）
孙立宁（苏州大学） 李 斌（华中科技大学）
杨桂林（中国科学院宁波材料技术与工程研究所） 张 丹（北京交通大学）
孟 光（上海航天技术研究院） 姜钟平（美国纽约大学）
黄 田（天津大学） 黄明辉（中南大学）

编写委员会

主任委员 丁 汉（华中科技大学） 孙容磊（华中科技大学）

委员（按姓氏笔画排序）

王成恩（上海交通大学） 方勇纯（南开大学） 史玉升（华中科技大学）
乔 红（中国科学院自动化研究所） 孙树栋（西北工业大学） 杜志江（哈尔滨工业大学）
张定华（西北工业大学） 张宪民（华南理工大学） 范大鹏（国防科技大学）
顾新建（浙江大学） 陶 波（华中科技大学） 韩建达（南开大学）
蔺永诚（中南大学） 熊 刚（中国科学院自动化研究所） 熊振华（上海交通大学）

作者简介



▶ **朱剑英** 南京航空航天大学教授、博导。南京航空航天大学原校长，国际生产工程科学院（CIRP）院士，国家973计划咨询专家。原国务院学位委员会学科评议组成员，中国生产工程学会名誉理事长，中国航空学会原副理事长，《机械制造与自动化》杂志的编委会主任、《模糊系统与数学》杂志的常务编委、《航空学报》《中国机械工程》《机械科学与技术》《兵器装备工程学报》《新型工业化》《四川兵工学报》等杂志的编委和特约编委。从事机械制造、机械电子工程、航空制造、机器人技术、智能机器系统、智能控制等方面的研究。主持过20多项国家级科研任务，获10多项国家级、省部级科技类奖项。著有《航空发动机制造工艺学》《智能系统非经典数学方法》等15本著作，发表论文200余篇。



总序

近年来,“智能制造+共融机器人”特别引人瞩目,呈现出“万物感知、万物互联、万物智能”的时代特征。智能制造与共融机器人产业将成为优先发展的战略性新兴产业,也是中国制造 2049 创新驱动发展的巨大引擎。值得注意的是,智能汽车与无人机、水下机器人等一起所形成的规模宏大的共融机器人产业,将是今后 30 年各国争夺的战略高地,并将对世界经济发展、社会进步、战争形态产生重大影响。与之相关的制造科学和机器人学属于综合性学科,是联系和涵盖物质科学、信息科学、生命科学的大科学。与其他工程科学、技术科学一样,它也是将认识世界和改造世界融合为一体的大科学。20 世纪中叶,Cybernetics 与 *Engineering Cybernetics* 等专著的发表开创了工程科学的新纪元。21 世纪以来,制造科学、机器人学和人工智能等领域异常活跃,影响深远,是“智能制造+共融机器人”原始创新的源泉。

华中科技大学出版社紧跟时代潮流,瞄准智能制造和机器人的科技前沿,组织策划了本套“智能制造与机器人理论及技术研究丛书”。丛书涉及的内容十分广泛。热烈欢迎各位专家从不同的视野、不同的角度、不同的领域著书立说。选题要点包括但不限于:智能制造的各个环节,如研究、开发、设计、加工、成形和装配等;智能制造的各个学科领域,如智能控制、智能感知、智能装备、智能系统、智能物流和智能自动化等;各类机器人,如工业机器人、服务机器人、极端机器人、海陆空机器人、仿生/类生/拟人机器人、软体机器人和微纳机器人等的发展和應用;与机器人学有关的机构学与力学、机动性与操作性、运动规划与运动控制、智能驾驶与智能网联、人机交互与人机共融等;人工智能、认知科学、大数据、云制造、物联网和互联网等。

本套丛书将成为有关领域专家、学者学术交流与合作的平台,青年科学家茁壮成长的园地,科学家展示研究成果的国际舞台。华中科技大学出版社将与



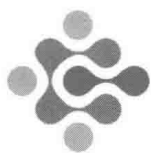
施普林格(Springer)出版集团等国际学术出版机构一起,针对本套丛书进行全球联合出版发行,同时该社也与有关国际学术会议、国际学术期刊建立了密切联系,为提升本套丛书的学术水平和实用价值、扩大丛书的国际影响营造了良好的学术生态环境。

近年来,高校师生、各领域专家和科技工作者等各界人士对智能制造和机器人的热情与日俱增。这套丛书将成为有关领域专家学者、高校师生与工程技术人员之间的纽带,增强作者与读者之间的联系,加快发现知识、传授知识、增长知识和更新知识的进程,为经济建设、社会进步、科技发展做出贡献。

最后,衷心感谢为本套丛书做出贡献的作者和读者,感谢他们为创新驱动发展增添正能量、聚集正能量、发挥正能量。感谢华中科技大学出版社相关人员在组织、策划过程中的辛勤劳动。

华中科技大学教授
中国科学院院士

2017年9月



前言

本人曾于 2001 年 4 月在华中科技大学出版社出版过《智能系统非经典数学方法》一书,当时正处于“人工智能”第二次“回暖”(1997—2010 年)的初期。1997 年国际商业机器公司(IBM)的超级计算机“深蓝”战胜了国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫;2006 年 Hinton 和他的学生研发了深度学习技术;2008 年 IBM 提出“智慧地球”概念。这些都大大推进了人工智能研究和应用的发展,人工智能开始了第二次“回暖”。2010 年开始了大数据时代。随着大数据、云计算、互联网、物联网等信息技术的发展,泛在感知数据和图形的处理器等计算平台推动了以深度神经网络为代表的人工智能技术飞速发展,大幅跨越了科学与应用之间的“技术鸿沟”,诸如图像识别、文字识别、人脸识别、指纹识别、掌纹识别、语言翻译、人机对话、智能金融、智能机器人、智能制造、智能交通、智能医疗、人机对弈、无人驾驶、5G 智能手机、5G 智能影视等最先进的人工智能技术相继进入了实用阶段,这大大促进了经济、社会的发展和人类生活、环境的改善,人工智能迎来了爆发式增长的新高潮。但是,实践远远地走到理论的前面,支撑人工智能技术的智能数学理论和方法却没有相应的重大突破。为此,我欣然应华中科技大学出版社之邀请,在 84 岁高龄,编著这本《智能系统新概念数学方法概论》。

本书全面、系统汇集并研究了当前和未来在智能系统(包括人工智能)领域所应用的经典与非经典的智能数学方法,至今在国内外尚未见有同类著作发表。本书的特点是:

(1) 从三次数学危机的历史高度出发论证了智能科学、技术、工程的必然发展趋势与创新空间;



(2) 以人工智能科学发展的三大学派——逻辑主义(logicism)学派、联结主义(connectionism)学派、行为主义(actionism)学派为线索,介绍与论证了相关的经典与非经典数学方法;

(3) 紧密结合当前与未来人工智能的广泛而深入的应用,精选了十大学科(数理逻辑、集合论、概率论、数理统计、运筹学、图论、组合优化、模糊数学、神经网络、遗传算法)做了全面、系统、精要、启发式的论述与研讨;

(4) 每章都结合所介绍的数学原理和方法,阐述了作者关于创新发展的思悟和建议。

本书引用的各学科有关数学原理和方法,基本上都来自首先出现的原著,许多应用实例则选自国内近期出版的教材。本人对这些原著和教材的作者们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

本书由本人的学生王化明教授做了全面细致的校对和修正,并由他的学生王心成、郝琳博、邵凤阳、高能杰、朱雄伟、于金龙、赵新闻、易文韬、曹文卓、沈颖、徐轲等人协助修正,在此对他们的工作与贡献致以衷心的感谢!

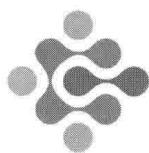
本书在编辑出版过程中,得到华中科技大学出版社的热情支持,在此表示衷心的感谢!

由于本书所涉及的学科较多、内容庞杂,更由于本人的学术浅薄,本书在内容选择、编排和论述方面一定存在不少不足之处,恳请读者批评指正。

本书适合在智能系统(包括人工智能)领域工作的所有教学、科研、生产人员学习、参考和应用。

朱剑英

2021年4月10日



上册目录

第1章 绪论 /1

1.1 什么是系统 /1

1.1.1 系统的定义 /1

1.1.2 系统的特征 /2

1.1.3 认识系统的基本方法 /3

1.2 什么是智能系统 /3

1.2.1 智能系统的定义 /3

1.2.2 控制论发展的三阶段 /4

1.3 什么是人工智能 /6

1.3.1 人工智能的起源 /6

1.3.2 人工智能的提出 /7

1.3.3 人工智能的定义 /7

1.3.4 人工智能的发展起伏 /8

1.3.5 人工智能的主要学派 /11

1.4 什么是智能数学 /13

1.4.1 数学是基础的基础 /13

1.4.2 建立智能数学学科困难 /14

1.4.3 重大的研究与应用项目 /15

1.4.4 所涉及的数学学科和数学方法 /16

第2章 三次数学危机及其启示 /19

2.1 什么是数学危机？数学危机有什么意义？ /19

2.1.1 什么是数学危机？ /19

2.1.2 三次数学危机 /19

2.2 第一次数学危机 /20



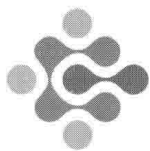
- 2.2.1 公元前5世纪人们的普遍认识 /20
- 2.2.2 Hippasus 的发现和他的证明 /20
- 2.2.3 Hippasus 的伟大发现是淹不死的 /20
- 2.3 第二次数学危机 /21
 - 2.3.1 牛顿-莱布尼兹发明了微积分 /21
 - 2.3.2 自由落体的瞬时速度 /21
 - 2.3.3 Berkeley 悖论和牛顿的解释 /22
 - 2.3.4 解决了微积分理论的奠基问题 /23
- 2.4 第三次数学危机 /24
 - 2.4.1 Russell 悖论 /24
 - 2.4.2 理发师悖论 /25
 - 2.4.3 在数理逻辑领域排除悖论而形成的诸流派 /26
 - 2.4.4 在集合论领域排除悖论而形成的 BG 和 ZFC 系统 /26
- 2.5 数理逻辑及其发展 /27
 - 2.5.1 为避免悖论,人们发现“四件事不能同时成立” /27
 - 2.5.2 否定上述“四件事之一”,形成了众多的数理逻辑系统 /28
 - 2.5.3 21世纪以来新出现的众多逻辑系统是否有悖论? 缺少研究! /28
- 2.6 第三次数学危机的新发展及数学危机的启示 /29
 - 2.6.1 经典数学与现实世界的矛盾——“秃头悖论” /29
 - 2.6.2 数学危机给我们的启示 /29
- 第3章 数理逻辑及集合论 /31**
 - 3.1 什么是数理逻辑 /31
 - 3.2 命题逻辑 /32
 - 3.2.1 命题和命题定理 /32
 - 3.2.2 范式 /41
 - 3.2.3 命题逻辑中的推论规则 /45
 - 3.2.4 卡诺图法 /46
 - 3.3 谓词逻辑 /49
 - 3.3.1 一阶谓词和量词 /49
 - 3.3.2 含有量词的等价式和蕴涵式 /54
 - 3.3.3 谓词逻辑中的推论规则 /56

- 3.3.4 谓词公式的范式 /58
- 3.4 集合论 /59
 - 3.4.1 集合的基本概念 /59
 - 3.4.2 集合的基本运算 /61
 - 3.4.3 集合定律 /61
 - 3.4.4 集合的特征函数 /63
 - 3.4.5 二元关系 /63
- 第4章 概率论与数理统计 /69**
 - 4.1 概率论与数理统计发展简史及主要内容 /69
 - 4.1.1 发展简史 /69
 - 4.1.2 主要内容与结构 /71
 - 4.2 随机事件及其概率 /72
 - 4.2.1 随机事件及其运算 /72
 - 4.2.2 随机事件的概率 /75
 - 4.2.3 条件概率 /81
 - 4.2.4 独立事件 /85
 - 4.2.5 伯努利概型 /87
 - 4.3 随机变量及其分布 /88
 - 4.3.1 随机变量 /88
 - 4.3.2 常用的离散型随机变量的概率分布 /90
 - 4.4 连续型随机变量及其概率密度函数 /94
 - 4.4.1 连续型随机变量 /95
 - 4.4.2 常用连续型分布 /96
 - 4.4.3 随机变量函数的分布函数 /100
 - 4.5 多维随机变量及其分布 /104
 - 4.5.1 二维随机变量及其分布 /104
 - 4.5.2 二维离散型随机变量及其分布律 /107
 - 4.5.3 二维连续型随机变量 /112
 - 4.6 随机变量的数字特征 /120
 - 4.6.1 数学期望 /120
 - 4.6.2 方差 /128
 - 4.6.3 协方差与相关系数 /133



- 4.6.4 矩与协方差矩阵 /136
- 4.7 大数定律和中心极限定理 /139
 - 4.7.1 大数定律 /139
 - 4.7.2 中心极限定理 /142
- 4.8 样本及抽样分布 /147
 - 4.8.1 总体与样本 /147
 - 4.8.2 样本分布函数和直方图 /148
 - 4.8.3 抽样分布 /150
- 4.9 参数估计 /158
 - 4.9.1 参数的点估计 /158
 - 4.9.2 估计量的评选标准 /163
 - 4.9.3 参数的区间估计 /167
 - 4.9.4 正态总体均值与方差的区间估计 /168
 - 4.9.5 单侧置信区间 /173
- 4.10 假设检验 /175
 - 4.10.1 假设检验的基本概念和基本原理 /175
 - 4.10.2 单正态总体参数的假设检验 /178
 - 4.10.3 两个正态总体参数的假设检验 /181
- 4.11 方差分析与回归分析 /187
 - 4.11.1 方差分析 /187
 - 4.11.2 回归分析 /205
- 第5章 运筹学与组合优化 /225**
 - 5.1 引言 /225
 - 5.2 线性规划 /226
 - 5.2.1 线性规划问题的标准形式 /226
 - 5.2.2 线性规划的图解法 /229
 - 5.2.3 线性规划的性质 /232
 - 5.2.4 单纯形法 /234
 - 5.2.5 单纯形法的发展与改进 /245
 - 5.2.6 *Excel* 的应用 /264
 - 5.2.7 线性规划问题的对偶问题 /267
 - 5.2.8 线性规划的灵敏度分析 /277

- 5.2.9 运输问题 /283
- 5.3 整数规划 /291
 - 5.3.1 引言 /291
 - 5.3.2 解法分析 /295
 - 5.3.3 分支定界法 /298
 - 5.3.4 割平面法 /301
 - 5.3.5 0-1 型整数规划 /305
 - 5.3.6 指派问题 /312
- 5.4 目标规划 /317
 - 5.4.1 目标规划的数学模型 /318
 - 5.4.2 目标规划的图解法 /320
 - 5.4.3 目标规划的单纯形法 /322
 - 5.4.4 目标规划应用举例 /325
- 5.5 动态规划 /327
 - 5.5.1 动态规划问题的基本概念 /328
 - 5.5.2 动态规划的求解原理 /331
 - 5.5.3 动态规划求解原理的典型应用 /336
- 5.6 非线性规划 /353
 - 5.6.1 非线性规划问题的数学模型 /355
 - 5.6.2 凸集与凸函数 /356
 - 5.6.3 无约束非线性规划 /361
 - 5.6.4 约束非线性规划 /388
- 附录 A 常用的数据表 /417
 - A.1 标准正态分布表 /417
 - A.2 泊松分布函数表 /418
 - A.3 t 分布数据表 /420
 - A.4 χ^2 分布数据表 /422
 - A.5 F 分布数据表 /424
 - A.6 均值的 t 检验的样本容量 /432
 - A.7 均值差的 t 检验的样本容量 /434



第 1 章

绪论

1.1 什么是系统

1.1.1 系统的定义

大千世界,浩瀚纷纭。人类如何认识如此五彩缤纷、气象万千的世界?人类认识世界是从聚类开始的,也就是说,把某些性质相似的事物归为一类,从总体上研究该类中事物的联系及各种事物对总体发展的影响。“物以类聚”“世界是一个整体”,这是人类祖先对世界整体认识的一种朴素的系统思想。

古代中国人为了解释世界,提出阴阳五行学说,他们认为阴阳二气相互调和、消长形成了万事万物的发展变化,并由此而生出五行:金、木、水、火、土。阴阳五行学说后来就成为中医的理论基础。中国后来的许多思想家进一步完善、发展了这一思想,如王阳明说“万物一体”,董仲舒说“天人合一”,他后来更进一步说“天人一物、内外一理”,这就把系统的思想从物质世界发展到精神世界了。

西方朴素的系统思想,最早体现在古希腊的原子论中。德谟克利特的著作就题名为《世界大系统》,他认为世界是由最小的物质原子组成的。亚里士多德发展了朴素的系统思想,他认为万事万物皆由四种因素——目的因、动力因、形式因、质料因构成。四因说对世界进行了许多分析,并给出了宇宙系统模型。亚里士多德还提出“整体大于部分之和”的系统思想,这一思想后来发展成系统论的基本原则。

“系统”这一词来源于拉丁文的“systema”和希腊文的“synistanai”,在英文韦氏字典和牛津字典中的解释是:“系统是处于一定关系中工作在一起的一组事物,或是思想理论、原理等的有序集合”(“group of things or parts working together in a regular relation” or “ordered set of ideas, theories, principles, etc.”)。中国《现代汉语词典》(商务印书馆,1998年修订本)中对系统的解释是:“系统是同类事物按一定的关系组成的整体。”这些都是语言学的解释。关



于系统的科学解释是 20 世纪 30 年代以后,特别是第二次世界大战以后,随着“自动控制”学说形成和发展而不断完善的。系统论的创始人贝塔朗菲对系统给的定义是:“处于一定相互联系中与环境发生关系的各组成部分的整体。”“工程控制论”的创始人钱学森教授有过一个简明的概括:“系统是指依一定秩序相互联系着的一组事物。”在现代,许多自动控制科学家在其系统论和控制论的著作中,对系统给定了大体相似的定义。汇总他们的意见可以得到如下的关于系统的解释:

系统是由相互联系、相互作用的具有不同特征的若干部分(要素、子系统)组成的具有一定结构、确定功能的相对稳定和可以辨识的动态整体。

1.1.2 系统的特征

由上述解释可知,系统具有如下的特征:

(1) 整体性。这是系统最基本的特性。所谓系统,就是整体。整体既可以是物质的,也可以是精神的,或是信息的(物质、精神二者兼有)。德国哲学家黑格尔关于系统的整体性有许多精辟的见解,如“整体决定部分的质”“离开整体去考虑部分,则不可能认识部分”“整体中的部分是动态相关和依存的”等等。

(2) 关联性。互相联系、互相作用才能形成动态稳定的整体。稳定联系形成系统的结构,本质联系形成系统的规律。

(3) 结构性。结构是系统中的必然联系。它是指系统内部各组成要素或子系统之间在空间或时间方面有机联系或相互作用的方式、顺序。有了结构,系统才能工作、运行和发展,从这一意义上说,结构是系统的基石。

(4) 目的性。目的性就是系统的功能性、方向性。凡是系统均有一定的功能。人们希望在一定的环境中,系统的功能达到最佳。这就是系统的优化。人们还希望系统能向着一定的目标发展,比利时物理学家普里高津从热力学第二定律出发,提出开放系统“耗散结构”理论,回答了开放系统如何从无序走向有序的问题,他因此而获得了诺贝尔化学奖。

(5) 动态性。运动是事物的基本特征,物质和运动是联系在一起不可分割的。只有运动,系统各部分才发生相互关系。系统本身也处于运动、变化的过程中;也只有通过运动才能辨识系统和调控系统。系统的稳定是动态平衡状态的稳定。

(6) 调控性。通过调控可使系统达到稳定、有序地工作。如果系统本身具有调控功能,那么这就是系统的自组织、自适应性。自然界的系统都具有自调控性,这就是达尔文的“适者生存、优胜劣汰”进化论的思想基础。人为的系统,其核心问题就是调控系统使其达到最佳的性能。

在上述列举的系统特征中,最重要的特征是关联性。古今中外的所有学人无不把“相互联系着的一组事物”作为系统的定义。现代科技和产业对系统进行分类、辨识、调节、优化、管理、控制无不以关联性为基础。

1.1.3 认识系统的基本方法

人们认识系统的最基本的思想方法有两类。

1. 分析、演绎法

把系统中的要素、结构、联系、作用、行为、性能等细分开来,逐一研究,通过类比寻找规律,根据规律演绎其变化和运动。

2. 综合、归纳法

把系统中的要素、结构、联系、作用、行为、性能等综合起来,从总体上研究,采取精简化、抽象化、浓缩化、符号化和类比的方法,归纳出一般规律。

通常在研究系统时,这两种方法是结合在一起考虑的。事实上,演绎法与归纳法二者的结合是近代自然科学使用的一般方法。杨振宁博士认为,中国过去重归纳法轻演绎法,这是中国近代科学不发达的一个重要原因。传统中国文化的中心是“理”。什么是“理”呢?就是以思考来归纳“天人之一切”。中国传统的归纳思想比比皆是,如“无极而太极”“万物皆归属阴阳”“中医八纲:阴阳、表里、寒热、虚实”等等。但是只有归纳而无演绎就不可能有近代科学,更不可能有近代的系统科学。近代微积分、近代力学、近代控制论都是归纳思考和演绎思考二者相结合的产物。

系统的要素、结构、联系、作用、行为、性能等及系统整体都有一定的表现形式,用数学符号和数学方法来描述这些形式就是建立系统的数学模型。系统的数学模型具有形式简单、便于计算、便于分析、易于改进、通用性好等优点,现在已成为分析、研究和设计系统的基本工具。

1.2 什么是智能系统

1.2.1 智能系统的定义

现代科学技术的飞速发展及现代经济、社会的巨大进步,展现了许多开放的、复杂的巨型系统,也为系统科学的研究提出了如何使系统智能化的问题。

具有人类智能或能模拟人类智能的系统称之为智能系统。

智能系统可以分成下列几种类型:

(1) 人类本身的人体系统,特别是人脑系统;