

**The Frontier of Transportation
System Theories and Approaches**

交通系统工程 前沿理论与方法

周雨阳 王 扬 陈艳艳 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

The Frontier of Transportation System Theories and Approaches

交通系统工程前沿理论与方法

周雨阳 王 扬 陈艳艳 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书在介绍系统工程的基本概念和主要理论的基础上,结合在交通领域中的应用,全面系统地阐述了交通系统分析的基本理论和基本方法,重点介绍了近年来交通系统分析的新理论和新方法。主要内容包括:概论、交通系统分析、交通系统建模与分析、交通系统预测、系统评价、交通系统决策、交通系统优化和交通系统仿真。

本书可作为交通工程、交通运输、交通规划、交通管理等专业的研究生和高年级本科生教材,同时也可作为相关科研与工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

交通系统工程前沿理论与方法 / 周雨阳,王扬,陈艳艳编. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.3
ISBN 978-7-114-12733-5

I. ①交… II. ①周…②王…③陈… III. ①交通工程—系统工程 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 007480 号

书 名:交通系统工程前沿理论与方法

著 作 者:周雨阳 王 扬 陈艳艳

责任编辑:戴慧莉

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×980 1/16

印 张:12.5

字 数:289 千

版 次:2016 年 3 月 第 1 版

印 次:2016 年 3 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12733-5

定 价:40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

为了适应不断迅猛增长的出行需求,交通系统逐渐完善并呈现出高度复杂、多样、开放、非线性等特征。这种多模式共存的交通系统,已经模糊了各类交通系统的边界,且各模式之间的互动日趋复杂。因此,只有从系统的角度出发,采用系统分析的思想,将各子系统相互联系起来,才能更加有效地解决交通问题中的顽疾,为构建可持续交通系统奠定良好的基础。

本书在介绍系统工程的基本概念和主要理论的基础上,引入系统工程前沿理论、工业及工程应用的最新技术发展,结合工程案例进行系统分析,增加了理论方法的可读性及推广应用的可行性,对于交通运输工程及相关专业的读者、相关行业领域的实践者将起到积极的助推作用。

本书第一章、第八章由北京工业大学陈艳艳编写;第二章、第三章及第五章由北京工业大学周雨阳编写;第四章、第六章及第七章由北京工业大学王扬编写。本书的编写,结合了作者讲授的北京工业大学交通运输工程专业的博士生课程《交通系统分析》、学术型硕士生课程《交通系统工程》以及工程硕士课程《交通网络分析》近五年的教学素材,并综合学生的课堂与作业反馈而逐步修订完成。

本书得到国家自然科学基金青年科学基金项目(51208014)“城市路网连通可达性矩阵优化模型研究”、北京市自然科学基金重点项目(8131001)“多方式出行链协同机理及公交一体化关键技术研究”和北京市教育委员会科技计划面上项目(KM201310005026)“不确定交通状态下的行程时间估计模型”的资助,在此表示感谢。

本书的编写,建立在大量现有文献资料基础上,因篇幅所限未能在参考文献中一一体现,在此一并向书中涉及文献的作者、前辈及同行表示感谢;感谢人民交通出版社的戴慧莉编辑在本书出版过程中耐心细致的协助和支持工作;此外,还要感谢参与书稿部分案例计算、绘图、文字及公式录入及校订工作的研究生龚艺、陈冠男、侯亚美、冯国臣、宋程程、赵倩阳等。

由于编者经验及水平有限,书中难免不当之处,敬请读者不吝批评指正。

编 者

2015 年 12 月于北京

目 录

第一章 概论	1
第一节 系统概述	1
第二节 系统科学	6
第三节 系统工程	16
第四节 交通系统	28
第二章 交通系统分析	30
第一节 系统分析概述	30
第二节 系统分析的要点	32
第三章 交通系统建模与分析	37
第一节 系统模型	37
第二节 系统建模	40
第三节 系统分析常用数学模型	42
第四章 交通系统预测	84
第一节 概述	84
第二节 卡尔曼(Kalman)滤波预测法	86
第三节 灰色预测法	91
第四节 人工神经网络预测法	97
第五节 支持向量机预测法	102
第五章 系统评价	107
第一节 系统评价概述	107
第二节 关联矩阵分析法	112
第三节 层次分析法	118
第四节 收益成本分析	126
第五节 模糊综合评判	130
第六章 交通系统决策	138
第一节 系统决策概述	138
第二节 决策树及多目标决策	142

第三节 博弈论	144
第四节 数据包络分析法	150
第七章 交通系统优化	155
第一节 系统优化	155
第二节 模拟退火法	157
第三节 遗传算法	163
第四节 蚁群优化算法	168
第五节 粒子群算法	173
第八章 交通系统仿真	178
第一节 系统仿真概述	178
第二节 交通仿真模型	180
第三节 系统动力学仿真方法	185
参考文献	192

第一章 概 论

第一节 系统概述

一、系统概念的由来

“系统”一词,源自于古希腊语 $\sigma\acute{\upsilon}\sigma\tau\eta\mu\alpha$,后被译为拉丁语 systema ,又转变为英语 system ,经日本汉译之后,成为中文名词。其涵义最早是“总体”、“群体”或“联盟”的意思。

第一个在自然科学中提出“系统”概念的,是 19 世纪的法国物理学家尼古拉·莱昂纳尔·萨迪·卡诺(Nicolas Léonard Sadi Carnot)。1824 年,他在对热力学的研究中,用“系统”这一概念表示蒸汽发动机中有能力来利用蒸汽进行工作的“工作物质”(working substance),即通常说的在一个由锅炉、冷储(冷水流)、活塞组成的体系中,水蒸气可以做功。

1850 年,德国物理学家鲁道夫·尤利乌斯·埃马努埃尔·克劳修斯(Rudolf Julius Emanuel Clausius)在工作物质(working substance)的基础上,引入了环境(surroundings)的概念,称之为工作体(working body),揭示了系统与环境的联系,扩展了系统的含义。

奥地利生物学家路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy)是系统学的一位重要先驱,他不拘泥于系统的特定种类、性质、组成要素之间的关系或作用力等细节,阐述了系统及其子系统的模型、原理和定律,于 20 世纪 40 年代末创立了一般系统论。

美国麻省理工学院的诺伯特·维纳(Norbert Wiener)应用数学方法对系统研究做出了重要贡献,并创立了控制论学科。

我国著名科学家钱学森对系统科学的研究和发展做出了重要贡献。钱学森是世界著名空气动力学家,中国载人航天事业的奠基人,中国科学院及中国工程院院士,中国两弹一星功勋奖章获得者,他将系统理论与方法与航空航天及军事领域相结合,使中国导弹、原子弹的发射向前推进了至少 20 年,被誉为“中国航天之父”,“中国导弹之父”。

二、系统的定义

钱学森对“系统”的描述为“系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成的

具有特定功能的有机体,而且这个系统本身又是它从属的一个更大系统的组成部分”。这一定义被我国系统科学界普遍采用。

汉语词典中对“系统”的解释是“自成体系的组织,同类事物按一定的关系。组合成的整体”。在其实现实生活中,“系统”是一个被广泛使用的词。在自然界和人类社会中,可以说任何事物都是以系统的形式存在的,每个所要研究的对象都可以被看成是一个系统。

全球海洋是一个大的生态系统,具体又可按海区划分为沿岸生态系统、大洋生态系统、上升流生态系统等,也可按生物群落划分为红树林生态系统、珊瑚礁生态系统、藻类生态系统等。人体本身也是一个系统,由运动系统、神经系统、内分泌系统、循环系统、呼吸系统、消化系统、泌尿系统、生殖系统等构成。计算机系统也是一个系统,由计算机硬件和软件两个子系统组成,硬件包括中央处理机、存储器和外部设备等,软件包括计算机的运行程序和相应的文档。城市管理也可以看作是一个系统,由公检法系统、交通运输系统、资源系统、商业系统、市政系统、卫生系统、教育系统 etc 相互作用着的各部门组合而成,通过各个部门相互协调的运转去完成城市生活和发展的特定目标。

各子系统可以进一步分解,一辆汽车是一个系统,包括动力系统、转向系统、制动系统、安全系统、操控系统、外部配置系统、内部配置系统、座椅系统、灯光系统、玻璃及视镜系统等,单就灯光系统这个子系统而言,又可分为外部灯光系统和内部灯光系统,外部灯光系统又包括近光灯、远光灯、转向灯、雾灯、制动灯等。但如果只拿出一个转向盘、一个远光灯、四个车轮等汽车的零部件,并不能构成一个汽车系统。

系统本身也从属于更大的系统。例如研制一种战略核导弹,就是研制由弹体、弹头、发动机、制导、遥测、外弹道测量和发射等分系统组成的一个复杂系统;它可能又是由核动力潜艇、战略轰炸机、战略核导弹组成的战略防御武器系统的组成部分。导弹的每一个分系统在更细致的基础上划分为若干装置,如弹头分系统是由引信装置、保险装置和热核装置等组成的,每一个装置还可更细致地分为若干电子和机械构件。

系统是普遍存在的。在宇宙间,从基本粒子到河外星系,从人类社会到人的思维,从无机界到有机界,从自然科学到社会科学,系统无所不在。人们在观察和认识客观事物、改造事物的过程中,用综合分析的思维方式看待事物,根据事物内在的、本质的、必然的联系,从整体的角度进行分析和研究,这类事物就被看成一个系统。自然界和人类社会中的很多事物并不是孤立存在的,而是相互制约和相互联系的,它们形成了各式各样的系统。系统间可以相互包含与被包含,可以互相交叉与融合。

通过对具体系统的分析,可以发现,撇开系统的形态和性质,我们可以从系统的以下四个共同点,来进一步理解系统的概念。

1. 系统具有一定的结构

系统由两个或两个以上的要素组成。要素是构成系统的基本单位,因而也是系统存

在的基础和实际系统的共同特征载体。系统离开了要素就不称其为系统,单个要素也无法构成系统。系统与要素是相互伴随而产生、相互作用而变化的。系统通过整体作用支配和控制要素,要素通过相互作用决定系统的特性和功能。

2. 系统具有一定的行为

系统不仅是作为状态而存在的,有实现功能或任务的流程,具有时间性。

3. 系统具有内部有机联系

系统各要素需要完成系统所规定的任务,要素与要素之间存在着一定的有机联系,从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序,任一系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分(要素)。系统整体与要素、要素与要素、系统与环境之间,存在着相互作用和相互联系的机制。系统可以划分为不同层次,层次的划分具有相对性。所研究的任何系统是更高一级系统的组成要素,但所研究的系统的要素又是更低一级别的系统。

4. 系统具有一定的界限

系统具有一定的界限,使之能够从所属的环境中分离开来。系统通过界限可以与外界环境进行物质、能量和信息的交换,发生输入与输出等相互作用,体现系统的功能。系统的界限和功能是根据一定的目的和需要来规定的。

系统的上述四项共同性,也称为系统的完备条件。

三、系统的特征

1. 整体性

系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素,按照作为系统所应具有的综合整体性而构成。系统各要素之间存在一定的组合方式,各要素之间是相互统一和协调的,系统整体的功能不是各组成要素功能的简单叠加,而是呈现出各组成要素所没有的新功能。一般来说,系统的整体功能大于各组成要素的功能总和。“三个臭皮匠,顶个诸葛亮”,充分地说明了系统要素与整体功能间的关系。单独来看,每个臭皮匠的能力是有限的,但是,一旦这三个臭皮匠形成一个“系统”,构成一个“整体”,其整体的智慧大于各个皮匠的智慧之和。在一个系统整体中,即使每个要素并不都很完善,也可以协调综合成为功能良好的系统。是否多个要素凑在一起,其功能都一定大于部分功能之和呢?不一定!最典型的就是人们所说的“一个和尚挑水吃,两个和尚抬水吃,三个和尚没水吃”。按理说,和尚运水的效果是可以累加的,三个和尚运水,应该比一个和尚运的多,但为什么会出现“三个和尚没水吃”的局面呢?这是因为,这三个和尚没有形成一个“系统”,这些“和尚要素”相互不协调、不统一,要使整体功能大于部分功能之和,组成该整体的要素必须协调统一,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不具备某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。系统整体性要求使各要素形成整体,以获得更多、更大的功能。在认识和改造系统的时候,必须从整体出发,全局考虑,从系统、要素、环境的相互关系中

探求系统整体的本质和规律。各要素的结合要保持合理,从提高整体功能的角度去提高和协调要素功能,并在提高要素质量的同时,注意各要素与系统的协调。

2. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用、相互依存又相互制约的。系统中每个要素的存在都依赖于其他要素的存在,系统中任一要素的变化都将引起其他要素的变化乃至整个系统的变化。系统中各要素之间有着一定的组合关系、联系方式,交通管制系统中的交通网、运输工具、信号控制等要素在系统中是相互关联的,通过它们之间的协调关系,使交通网上的运输工具有条不紊地运行。如果各个要素各自为政,那么它们就不能组成相互协调的系统,势必会造成交通的紊乱。系统的相关性要求努力建立起系统各要素之间的合理关系,以消除各要素相互间的盲目联系和无效行动,提高系统的有序性,尽量避免系统的“内耗”,提高系统整体运行的效果。

3. 目的性

通常系统都有某种目的,要达到既定目的,系统都具有一定功能,而这正是区别这一系统和那一系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来体现,对于比较复杂的社会经济系统具有不止一个目标,因此,需要一个指标体系来描述系统的目标。例如,衡量一个工业企业的经营实绩,不仅要考核它的产量、产量指标,而且要考核它的成本、利润和质量指标的完成情况。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的,有时是互为消长的。因此,要从整体出发,力求获得全局最优的经营效果,这就要求在矛盾的目标之间做好协调工作,寻求平衡或折中方案。系统目的性要求明确系统功能,从而进一步确定系统结构。

4. 环境适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中,必然要与外界环境产生物质的、能力的和信息的交换,外界环境的变化必然引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化,不能适应环境变化的系统是没有持续生命力的,只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统,才是经常保持不断发展势头的理想系统。例如,任何一个工业企业都必须经常了解市场动态和同类企业的经营动向、有关行业的发展动态、国内外市场的需求等环境的变化,在此基础上研究企业的经营策略,调整企业的内部结构,以适应环境的变化。系统的环境适应性要求明确系统存在的条件,想方设法创造有利条件,保证系统的生存发展。

四、系统的分类

1. 按生成属性划分

系统是以不同的形态存在的,根据系统生成原因可分为自然系统和人造系统。自然系统是自然界自发生成的一切物质和现象,与人类活动无关。人造系统是人类应用自然

规律建造的,以自然系统为基础的一切满足人类生存和发展需要的人造物。人造系统以破坏自然系统为前提,同时改变自然系统的某些状态,与自然系统之间存在着制约关系,破坏或改变超出了一定界限,人类就将受到惩罚。

2. 按组成属性划分

根据系统的组成性质,系统又可分为实体系统和概念系统。实体系统是概念系统的形态化,又是实现概念系统要求的运行体。概念系统是实体系统的“灵魂”,而实体系统是概念系统的“躯壳”。只有两者结合,系统才能得以建立和不断完善。在军事作战系统中,既需要武器装备实体系统,也需要战略战术概念系统。在三国演义中,诸葛亮被誉为军事家,不仅因为他发明制造了木牛流马,诸葛连弩等独特的装备设备,而且也以隆中对、赤壁连营、七擒七纵等军事策略传为佳话;在学校及科研机构中,一个实验室系统既需要仪器设备、实验材料、实验场地等组成的实体系统,也需要实验室管理规范、仪器设备操作守则等形成的概念系统,实体系统是实验室正常运转、实现系统功能的基本条件,而概念系统是对实验室系统实现其功能的过程中对安全性的重要保障,二者缺一不可。

3. 按状态属性划分

根据系统状态是否随时间变化,实体系统又可分为静态系统和动态系统。例如未开机的计算机、停工待料的生产线等是静态系统;生产系统、交通运输系统是动态系统。静态系统的状态不随时间变化而改变,动态系统的状态是时间的函数。静态系统是动态系统的基础,动态系统则是通过状态的改变实现静态系统的功能。静态是相对的,严格的静态系统是找不到的。系统的静态与动态属性也是相对的,在一些假设条件下可以将某些系统近似看作是静态系统。在一定时期内,城市的行政区域划分没有调整,可以认为各行政区域的规模布局是不变的,在道路交通规划时可以将行政区域看作是静态的系统,以行政区、社区、街道等行政单位划分交通小区。但是随着外部政策环境的影响,如随着都市群、区域经济的建设和发展,京津冀地区、长江三角地区、珠江三角地区等行政区域的格局是因时制宜的动态系统,在进行交通规划时应进行相应的分析和调整。

4. 按界限属性划分

根据有无环境交换关系,系统又可分为开系统和闭系统。开系统是与环境有物质、能量、信息交换的系统,其重要特性就是在进行物质能量信息交换的过程中,系统自身能保持有序性及自组织性。例如,生命系统就是通过自组织的新陈代谢活动来维持有机体在生存和发展的,因此建立有生命力的系统,必须是与环境有交换能力的开系统。真正的闭系统在客观世界并不存在,但是为了研究需求,可以将一个系统假设为与环境隔绝,没有物质、能量、信息交换,看作是闭系统。

5. 其他分类方式

系统还可以按逻辑关系分为因果系统(如信号系统);按工作属性分为作业系统和管理系统;按系统对象分为卫生系统、教育系统、交通系统等;按控制功能和手段划分为控

制系统与行为系统;按确定性划分为确定性系统与随机系统等。可以将路径、垫层、基层和面层定义为路基——路面结构系统,将基础、墩台、上部结构和桥面系统定义为桥梁结构系统,分析不同组合的系统内各组成部分在荷载和环境因素作用下产生的应力或位移量,以寻求使各组成部分的承载能力或使用功能都得到充分利用的平衡设计方案;也可以将路面、桥梁或其他工程设施在计划和使用期内实施的规划、设计、施工、养护和监测等管理阶段,组合成一个工程设施项目的管理系统,为管理部门提供以最低的总费用实现要求的服务水平的最佳路面、桥梁或其他工程设施项目的对策方案。

系统的分类是从多个角度来描述系统的形态。系统在某些具体的系统建造时将有其特定的功用,对系统形态的分析能使我们明确各种系统的特点及它们之间的关系。系统形态千差万别,现实世界存在的各种系统中,大多数是实体系统和概念系统相结合的人造系统,对人类活动起到了重要作用。

第二节 系统科学

一、系统科学体系

人类在改造世界的活动中,思维方式不断发展变化,逐步认识并揭示出客观世界的本质联系和内部规律,形成系统思想。现代科学技术、计算机技术和信息技术的高度发展,对系统思想的产生与系统方法的应用产生了极为重大的影响,主要体现在两个方面:一是定量地处理系统各组成部分联系的科学方法,使系统思想、系统方法定量化、科学化;二是计算与信息技术的应用,为系统思想、系统方法的实际运用提供了强有力的工具。这两个特征使系统思想方法从哲学思维逐步形成了独特的系统理论,并在此基础上形成了一门专门的学科——系统科学。

系统科学是关于系统及其演化规律的科学,是多种理论交叉融合而成的大学科,包括一般系统论、控制论、信息论、系统工程学、大系统理论、系统动力学、运筹学、博弈论、耗散结构理论、协同学、超循环理论和一般生命系统论等分支。系统科学以系统及其机理为对象,研究系统的类型、性质和运动规律。其研究对象是一般系统所具有的概念、系统所具有的共同性质和系统演化的一般规律。当代科学技术的发展有两个显著的特点:一是向深度发展,科学研究的对象越来越专一,学科分类越来越精细,新领域、新学科、新专业不断产生;另一方面,各学科之间、各技术之间以及学科和技术之间相互渗透、相互交叉、相互移植,使得科学技术日趋整体化、综合化。系统科学就是现代科学技术整体化、综合化的产物。关于系统科学体系结构,也相应有多种角度的见解。

系统科学包括五个方面的内容,即系统概念、一般系统论、系统理论分论、系统方法论和系统方法的应用,如图 1-1 所示。

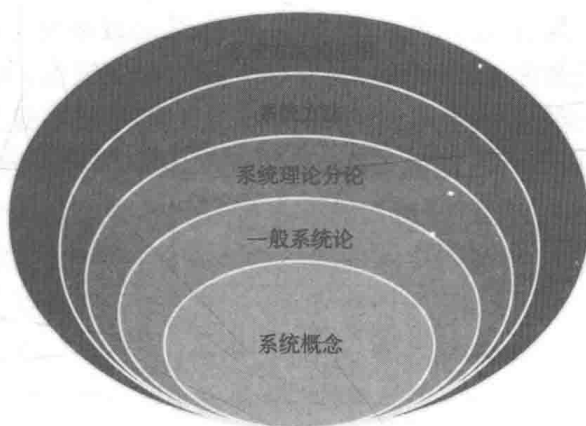


图 1-1 系统科学的五个方面

(1) 系统概念。系统概念即关于系统的一般思想和理论。

(2) 一般系统理论。路德维希·冯·贝塔朗非(Ludwig von Bertalanffy)在其著作《一般系统理论——基础发展与应用》中提出,用数学的形式描述和确定系统结构和行为。

(3) 系统理论分论。系统理论分论指为了解决各种特点的系统结构和行为的一些专门学科,如图论、博弈论、排队论、控制论、信息论等。

(4) 系统方法。系统方法即为了对系统对象进行分析、计划、设计和运用时采用的具体应用理论及技术的方法步骤,主要指系统分析和系统工程。

(5) 系统方法的应用。系统方法的应用即系统科学的思想和方法在各个领域各类实际问题中的应用。

系统科学是研究系统的类型、一般性质和运动规律的科学,包括系统学、系统方法学和系统工程学三部分。我国著名科学家钱学森认为系统科学与自然科学和社会科学处于同等地位。他把系统科学的体系结构分为四个层次(图 1-2)。

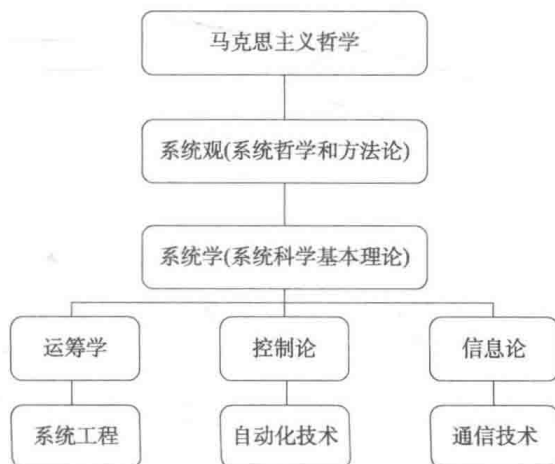


图 1-2 系统科学的层次结构

第一层次是系统工程、自动化技术、通信技术等,这是直接改造自然界的工程技术层次;第二层有运筹学、控制论、信息论等,是系统工程的直接理论,属技术科学层次;第三层次是系统学,它是系统科学的基本理论;最高一层将是系统观,这是系统的哲学和方法论的观点,是系统科学通向马克思主义哲学的桥梁和中介。对系统科学与其他科学的关系、各学科之间的支撑和应用方向分析,如图 1-3 所示。

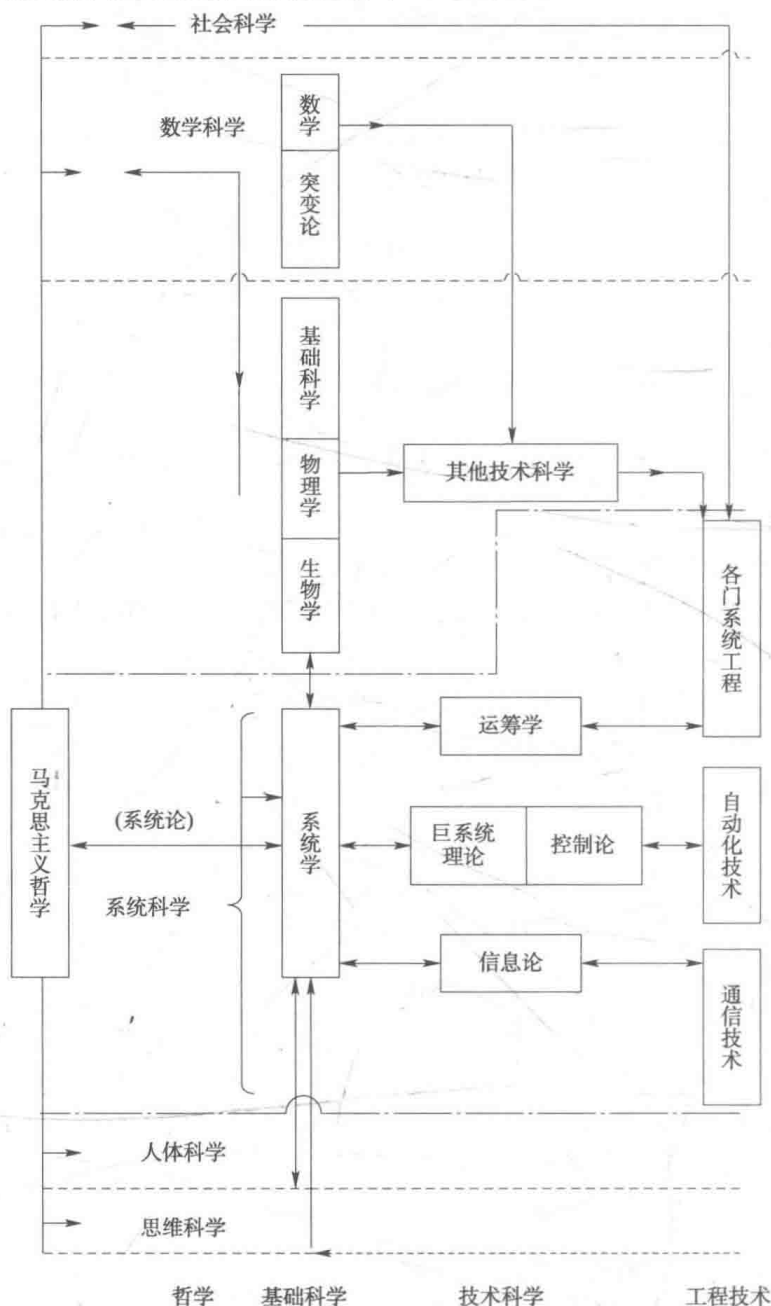


图 1-3 各学科关系与应用方向

二、系统理论

系统理论从不同侧面揭示了客观物质世界的本质联系,为现代科学技术的发展开辟了广阔的新领域。系统理论作为崭新的科学方法论,显示了对复杂事物研究的有效性,为现代科学技术及人类思维科学的发展提供了新概念、新思路、新方法。系统科学的理论基础还处在一个形成阶段,系统的基本概念和基本定律还不完善,复杂系统难以进行实验,数学工具缺乏,有待人们不断探索。

1. 一般系统论

一般系统论的创始人是奥地利生物学家路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy),在20世纪40年代以前,生命需要用神秘的“活力”或“生命的原理”来加以解释,贝塔朗菲凭着他在信息知识和兴趣上超乎常人的能力,广泛吸收多人的思想,于1949年出版了《生命问题》,对生命系统进行重点介绍,从对生物学基础甚至是本体论进行长期批判反思的结果出发,提出开放系统概念,并于1950年4月在《英国科学哲学杂志》上发表了系统思想的开创性论文《一般系统论概述》,标志着他的研究工作转向创建一般系统理论。他提出的系统一般性原则,主要包括以下内容。

(1)系统观点。一切有机体都是一种自然整体——系统,这个整体是由部分结合而成的,其特性和功能不只是各部分特性和功能的简单相加。系统是相互作用的诸要素的复合体,系统的特性取决于复合体内部特定的关系。要了解系统的特性,不仅要知道组成这个系统的要素,而且还要知道它们之间的关系。

(2)动态观点。一切生命现象本身都处于积极的活动状态,并与环境不断地进行物质、能量的交换,以使有机体能够有组织地处于活动状态,并保持其活力的生命运动。能与环境交换物质、能量的系统称为开放系统,生命系统基本上都是开放系统。任何一个开放系统都能在一定条件下保持其自身的动态稳定性。

(3)等级观点。各种有机体都按严格的等级组织起来,并通过各层次逐级组合,形成越来越高级、越来越庞大的系统。

(4)最佳观点。最佳观点即最优化,这是系统论的出发点和最终目的。人们对系统进行研究和改造的最终目的,是为了系统能够发挥最优的功能。

一般系统论有着十分广泛的含义,贝塔朗菲在1972年发表的《一般系统理论——基础发展与应用》中指出:一般系统论是一门新科学,属于逻辑和数学的领域,任务是确立适用于各种系统的一般原则,但不能局限在某项技术的范围内,或当作一般的数学理论来对待,因为许多实际问题不能用纯数学的方法得出答案,而要从系统的观点来认识和分析客观事物。一般系统论不仅是系统科学的基础,而且建立了自然科学与社会科学、技术科学与人文科学之间的联系,为各门学科提供了新视角和新方法,使许多学科得到了创新发展。



2. 控制论

1948年美国科学家诺伯特·维纳(Norbert Wiener)编写了《控制论,或关于在动物和机器中控制和通信的科学》一书,标志着控制论的诞生,维纳被誉为控制论的创始人。从控制的角度掌握系统运行的一般规律,控制系统的运行,是控制论的主旨所在。不论对于自然的、社会的或人工制造的系统,控制是系统建立、维持、提高自身有效性的手段,是施控者选择适当的控制手段作用于受控者,以期引起受控者行为姿态发生符合目的的变化。控制论是在运动和发展中考察系统,在通信和自动化技术、生物学和医学领域以及经济学和社会学中,都发挥了巨大的作用,其主要研究内容包括以下几个方面。

(1)最优控制理论。这是现代技术的核心。通过数学的方法,科学、有效地解决大系统的设计和控制问题,并强调通过采用动态的控制方式和方法,以满足各种输入和多种输出系统的控制要求,实现系统的最优化。

(2)自适应、自学习和自组织系统理论。自适应系统是能够按照外界条件变化,自动调整其自身结构和行为参数,以保持系统原有功能的系统。自学习系统是能够按照自己运行过程中的经验来改进控制系统能力的系统,是自适应系统的延伸和发展。自组织系统是能够根据环境的变化和运行经验来改变自身结构和行为参数的系统。这些理论对组织系统的控制研究带来了很大的影响和变革。

(3)模糊理论。模糊理论是在模糊数学基础上形成的一种理论,由于在现实问题中存在着大量的不够明确的信息和含糊不清的概念,很难用确定的数学模型来描述,因此,就必须借助于模糊数学来揭示这一类问题。

交叉口信号灯的控制分为定时控制与智能控制。前者是传统的路口控制模式,即路口交通信号灯的延时时间是固定不变的,不能根据车辆的流量自适应地动态调节时间,会使车辆延误时间长而造成不必要的拥塞等情况。智能控制的方法包括模糊控制、绿波带模式、夜间模式和急停模式等。

模糊控制模式根据随机的车辆流量智能完成模糊增减交通信号控制时间,通过检测交叉路口附近的车流量,并且可以在路边安装红外热释电传感器用于检测人流量,然后分别为人流量与车流量分配适当的权值生成一个总的流量,经过控制系统分析判断选择合适的控制模式来调节信号灯。当某个相位的车流量或人流量比其他相位大且该相位绿灯亮时,则适当地延长该相位的绿灯周期,保证车辆有充裕的时间通过该路口;如果该相位红灯亮,则适当地缩短红灯周期,尽可能减少车辆在交叉口的延误的时间;当检测到紧急车辆要通过时则采用急停控制模式。通过区域内多个交叉口信号灯的联动模糊控制,还可实现车辆路径诱导。

(4)大系统理论。大系统理论以规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素繁多的各种大系统作为研究对象,研究的主要问题是系统分析和系统优化,是现代控制论的一个新的研究领域。

3. 信息论

美国贝尔电话研究所的数学家香农 (Claude Elwood Shannon) 为解决通信技术中的信息编码问题, 将发射和接收信息作为一个整体的通信过程来研究, 于 1948 年发表《通信的数学模型》, 1949 年发表《噪声中的通信》两篇重要文章, 提出了通信系统的一般模型, 同时建立了信息量的统计公式, 奠定了信息论的理论基础, 被公认为信息论诞生的标志。

客观世界是由物资、能量和信息三大要素组成的, 信息是客观存在的, 系统的反馈主要是信息反馈。系统要素与要素之间、要素与系统之间、系统与环境之间的相互联系和作用, 都是通过交换、加工、利用信息来实现。信息论是关于信息的本质和传输规律的科学理论, 研究信息的计量、发送、传递、交换、接收和存储。信息论的基本思想是撇开系统物质与能量的具体运动形态, 把系统有目的的运动抽象为一个信息变换的过程, 探求信息的一般特征、传送规律和原理。

信息论是控制论的基础。人类的任何活动中都包含着人员流动、物流、资金流、信息流等各种传输活动, 其中信息流起着支配的作用, 它调节着系统内部其他流的数量、方向、速度、目标, 并控制着人和物有目的、有规律的活动。

4. 耗散结构理论

比利时物理学家普利高津 (Ilya. Prigogine) 在 1967 年的“理论物理与生物学”国际会议上, 提出了耗散结构理论, 并因此于 1977 年获得诺贝尔化学奖。普利高津从热力学第二定律出发, 通过研究非平衡态热力学指出: 一个远离平衡态的开放系统, 可以通过不断地与外界交换物质、能力和信息, 在外界条件达到一定阈值时, 从原有的混沌无序状态, 转变为一种在时间上、空间上或功能上的有序状态。普利高津认为, 只有在非平衡系统中, 在与外界有着物质与能量的交换的情况下, 系统内各要素存在复杂的非线性相干效应时才可能产生自组织现象, 并且把这种条件下生成的自组织有序态称之为耗散结构。耗散结构理论指出了在开放条件下系统如何在不违反热力学第二定律的情况下自发地从无序跃变为有序。耗散结构理论主要有以下几个观点。

(1) 开放系统是产生耗散结构的必要前提, 同时也是耗散结构得以维持和存在的基础。耗散结构实质上是远离平衡态的非线性系统, 通过不断地与外界交换物质、能量和信息来维持动态的有序结构。一旦交换停止, 系统的结构就会破坏瓦解。

(2) 非平衡态是系统有序之源。普利高津认为开放系统是形成耗散结构的必要条件, 但不是充分条件。耗散结构只有在系统保持远离平衡的条件下才有可能出现。平衡结构是一种“死”的结构, 而耗散结构是一种非平衡结构, 是一种动态而稳定的“活”的结构。

(3) 系统的涨落导致系统走向有序。所谓涨落, 是指系统的某个变量或某种行为对平均值的偏离, 涨落是偶然的、随机的、杂乱无章的, 在不同的状态下有不同的作用。对平衡态、近平衡态来说, 涨落是一种破坏其稳定性的干扰, 是一种消极作用; 对远离平衡