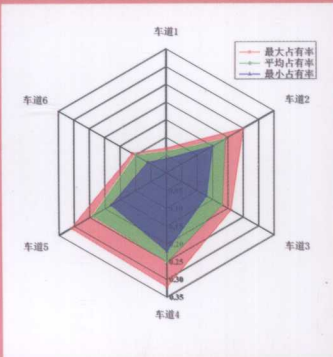
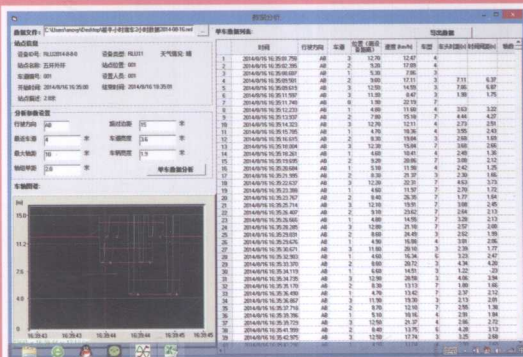




交通版高等学校交通工程专业规划教材

JIAOTONGBANGAODENGXUEXIAOJIAOTONGGONGCHENGZHUANYEGUIHUAJIAOCAI

JIAOTONGGONGCHENG XITONGFENXI



交通工程系统分析

郑长江 沈金星 主编
李燕 李永义 李锐 副主编
陆建 主审



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

 交通版高等学校交通工程专业规划教材

JIAOTONG GONGCHENG XITONG FENXI

交通工程系统分析

	郑长江	沈金星	主 编
李 燕	李永义	李 锐	副主编
		陆 建	主 审



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

内 容 提 要

本书系统阐述了系统分析的基本思想以及常用分析方法,以分篇分章的方式将系统分析的思想、方法与实际的交通工程问题衔接起来,以培养学生利用系统分析理论知识解决实际工程问题的能力。其主要内容包括:系统分析基础、交通运输与资源分配问题、交通网络配流问题、交通系统排队问题、交通系统预测与优化问题以及交通系统决策问题等。

本教材的理论性、实践性、实用性和教学性均较强,可作为高等院校交通工程和交通运输专业本科生和研究生的专业教材,也可作为相关从业人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

交通工程系统分析/郑长江,沈金星主编. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2016. 8

ISBN 978-7-114-13208-7

I. ①交… II. ①郑… ②沈… III. ①道路工程—系
统分析 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 166447 号

交通版高等学校交通工程专业规划教材

书 名: 交通工程系统分析

著 者: 郑长江 沈金星

责任编辑: 李 娜 郭红蕊

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.ccpres.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: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19

字 数: 441 千

版 次: 2016 年 8 月 第 1 版

印 次: 2016 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13208-7

印 数: 0001—3000 册

定 价: 39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通版高等学校交通工程专业规划教材

编审委员会

主任委员：徐建闽(华南理工大学)

副主任委员：马健霄(南京林业大学)

王明生(石家庄铁道大学)

王建军(长安大学)

吴 芳(兰州交通大学)

李淑庆(重庆交通大学)

张卫华(合肥工业大学)

陈 峻(东南大学)

委 员：马昌喜(兰州交通大学)

王卫杰(南京工业大学)

龙科军(长沙理工大学)

朱成明(河南理工大学)

刘廷新(山东交通学院)

刘博航(石家庄铁道大学)

杜胜品(武汉科技大学)

郑长江(河海大学)

胡启洲(南京理工大学)

常玉林(江苏大学)

梁国华(长安大学)

蒋阳升(西南交通大学)

蒋惠园(武汉理工大学)

韩宝睿(南京林业大学)

靳 露(山东科技大学)

秘 书 长：张征宇(人民交通出版社股份有限公司)

(按姓氏笔画排序)



随着城市化进程的加快,我国城市道路网规模不断增加,人们在交通出行中遇到的问题已不仅仅是单一的工程技术问题,还成为一种复杂的系统问题。面对这样的复杂系统难题,人们希望通过科学的系统方法来考虑交通系统中各种交通参与者之间的协调与冲突。因此,有关交通工程系统的理论与方法在近十年来再一次得到了快速的发展。

在系统科学的体系中,系统分析处于工程技术的层次,因此,系统分析是一种解决复杂问题的方法和手段。解决问题的关键是决策,而决策的前提是对信息的掌握与判断。用系统的观点来理解作为决策依据的信息,可以体会到系统分析的内容是庞大的,系统分析本身也是不断发展的。

为了充分体现交通系统分析的重要性,本着突出实践性、实用性、科学性和前瞻性的特点,人民交通出版社股份有限公司组织高等院校交通工程、系统分析、交通系统分析等领域的教师和专家编写了《交通工程系统分析》一书。

本教材系统阐述了系统分析的基本思想以及常用分析方法,以分篇分章的方式将系统分析的思想、方法与实际的交通工程问题衔接起来,以培养学生利用理论知识解决实际工程问题的能力。其主要内容包括:系统分析基础、交通运输与资源分配问题、交通网络配流问题、交通系统排队问题、交通系统预测与优化问题以及交通系统决策问题等。

本教材的编审人员既有长期从事教学的专业老师,也有本领域经验丰富的专家学者。本书由河海大学郑长江教授统筹编写,东南大学陆建教授担任主审。参编人员及主要分工为:河海大学郑长江负责第一篇第一章、第二章以及第六篇第十五章、第十六章的编写;河海大学沈金星负责第二篇第三~第五章的编写;苏州科技大学李燕负责第三篇第六~第八章的编写;南京工业大学李义负责第四篇第九~第十二章的编写;河海大学李锐负责第五篇第十三章、第十四章的编写。

教材中配有丰富的实际工程案例和复习思考题。本教材的理论性、实践性、实用性和教学性均较强,可作为高等院校交通工程和交通运输专业本科生和研究生的专业教材,也可作为相关从业人员的学习参考用书。

感谢河海大学交通运输规划与管理专业的研究生在资料收集与整理、数据处理以及绘图等方面做的大量工作。具体参与分工如下:陆棒为第二章;何瑞为第三章与第四章;倪勇为第五~第七章;张志伟为第八~第十章;付文进为第十一章、第十二章、第十五章、第十六章;杨淑茜为第一章、第十三章、第十四章。

作为本科生的专业课程教材,本书在编写过程中参考并引用了大量国内外相关文献资料 and 研究成果,在此一并表示感谢。

本教材在系统分析理论结合实际交通工程案例应用的衔接方面进行了新的尝试和探索,但由于编者水平有限,教材难免存在不足之处,欢迎各位专家和同行批评指正。

编 者

2016年1月





第一篇 系统分析基础

第一章 系统与系统工程	3
第一节 系统的基本思想	3
第二节 系统的基本概念与分类	4
第三节 系统的分类与系统科学	7
第四节 系统的特性	8
第五节 系统工程简介	9
第六节 霍尔三维结构	10
第七节 逻辑维步骤详解	12
第八节 几种常用的技术方法	14
第二章 系统分析技术	17
第一节 系统分析概述	17
第二节 最优化理论基础	29
第三节 图论基础	36
第四节 排队论基础	41
第五节 线性规划基础	46
第六节 非线性规划基础	63
本篇习题	105

第二篇 交通运输与资源分配问题

第三章 交通运输问题	109
第一节 运输问题的数学模型	109
第二节 平衡运输问题的表上作业法	110
第三节 产销不平衡的运输问题	123

第四章 整数规划与交通资源分配问题	126
第一节 整数规划的特点及作用	126
第二节 分枝定界法	128
第三节 割平面法	130
第四节 分配问题与匈牙利法	134
第五节 0-1 规划	138
第五章 交通运输与资源分配问题的应用实例	141
第一节 报刊征订的运费问题	141
第二节 货物转运问题	142
第三节 航空公司飞行方案选择问题	145
第四节 消防站选点问题	147
第五节 工程建设筹资优化问题	147
本篇习题	151

第三篇 交通网络配流问题

第六章 交通网络最短路问题	155
第一节 从始点到终点的最短路问题	155
第二节 任意两点之间的最短路问题	157
第七章 交通网络最大流问题	160
第一节 最大流问题	160
第二节 最小费用最大流	163
第八章 交通网络配流问题的应用实例	167
第一节 最小生成树在农村交通建设领域的应用	167
第二节 出行交通的“全有全无”分配问题	168
第三节 工程设备更新问题	169
第四节 综合交通运输中交通运输方式的确定问题	169
本篇习题	172

第四篇 交通系统排队问题

第九章 单服务台模型	175
第一节 基本模型	175
第二节 有限队列模型	177
第三节 有限顾客源模型	178
第十章 多服务台模型	182
第一节 基本模型	182
第二节 多服务台混合制模型	184

第三节	其他排队模型简介	187
第十一章	排队系统的优化	189
第一节	$M/M/1$ 系统中的最优服务率	189
第二节	$M/M/S$ 系统中的最优服务台数	191
第十二章	交通系统排队问题的应用实例	193
第一节	车站售票处问题	193
第二节	工地运输最优服务率问题	193
第三节	加油站出入道个数设置问题	194
第四节	隧道收费站个数设置问题	195
第五节	车辆维修问题	197
本篇习题	199

第五篇 交通系统预测与优化问题

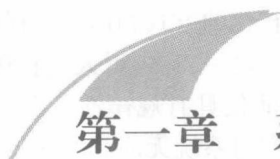
第十三章	交通系统预测	203
第一节	预测技术概述	203
第二节	经验预测方法	207
第三节	时间序列预测方法	210
第四节	回归分析预测方法	217
第五节	灰色模型预测方法	231
第六节	马尔可夫链预测方法	242
第七节	弹性系数预测方法	246
第八节	类比预测方法	247
第九节	预测技术在道路交通工程中的应用	248
第十四章	交通系统优化	253
第一节	交通系统优化概述	253
第二节	交通系统优化措施	259
第三节	交通系统优化案例	267
本篇习题	272

第六篇 交通系统决策问题

第十五章	决策分析基础	277
第一节	决策分析概述	277
第二节	确定型决策	279
第三节	不确定型决策	280
第四节	风险型决策	283

第十六章	交通系统决策问题的应用实例	287
第一节	厂房建筑设计决策分析	287
第二节	工厂建设投资方案决策分析	288
第三节	邮寄包收费方案决策分析	289
本篇习题	291
参考文献	292

第一篇 系统分析基础



第一章 系统与系统工程

第一节 系统的基本思想

19 世纪下半叶以来,科学技术进入全面发展时期,而 20 世纪自然科学的迅速发展,使之开始形成了一个多层次、综合的统一整体。在科学技术快速进步的今天,系统思想得到了极大和极快的发展。

贝塔朗菲的系统论思想便是其代表之一。他从 20 世纪 20 年代起多次发表文章,强调应当把有机体当作一个整体,一种在时空上有限的、具有复杂结构的自然整体来考虑。他认为“复杂现象大于因果链的独立属性和简单总和”,他甚至已经给系统下了如下定义:系统是相互作用的诸要素的复合体。贝塔朗菲还认为生命是一个开放系统,要从生物体与环境的相互作用中说明生命的本质。另外,他认为生物系统是分层次的。他于 1937 年第一次提出了一般系统论的概念。

随着生产规模的日益扩大,社会组织日益复杂,一个组织内的目标、协作以及信息的联系日趋重要,于是系统思想日益深入到管理领域。至于信息论、控制论等现代科学技术的发展,更是多方面地推动了系统思想、系统科学的发展。

20 世纪 60 年代以来,先后诞生了耗散结构、协同学、超循环理论、突变论、混沌学等一系列关于系统的新科学、新理论,从而使人们对系统的复杂性、组织性、整体性的认识又提升到一个新的高度。

哈肯在研究一类非平衡相变内在机制的基础上,吸取了耗散结构理论和突变论的核心,创立了统一解决系统从无序转变为有序过程的协同学。协同学认为,系统性质的改变是由于系统中的要素——子系统之间的相互作用所致。任何系统的子系统都有两种运动趋向:一种是自发地倾向于无序;另一种是通过子系统之间的关联引起的协调、合作运动,系统自发地走向有序。系统究竟是从无序走向有序还是相反,取决于哪一种运动趋势占主导地位。协同学通过序参量这一概念来描述一个系统宏观有序的程度,描述系统从无序到有序的转变,从而大大加深了人们对于系统演化内部机制的认识。

德国生物物理学家艾根于 20 世纪 70 年代提出了超循环理论。他认为,在关于生命起源的化学进化与生物进化之间,还有个生物大分子自组织进化阶段,随机无序的大分子通过采取循环形式的自组织,发展形成有序的组织并向更高的组织和复杂性进化。这一理论解

释了系统的演化,采取了循环发展的形式,即从低级循环到高级循环,不同的循环层次与一定的发展水平相关联。

法国数学家托姆提出了突变理论,该理论揭示了原因的连续作用有可能导致结果的突然变化,从而深化了我们对于系统有序与无序转化的方式和途径多样性的理解。

混沌理论是 20 世纪自然科学最重大的发现之一,它告诉人们在确定性系统中也存在随机性。从整体上看系统具有稳定性,系统整体演化具有规律性。而从微观上看系统又是不稳定的,系统没有具体的轨迹可循。这就使我们对系统无序和有序的统一,即系统自组织过程的复杂性有了更深刻的认识。

第二节 系统的基本概念与分类

一、系统

系统本质上是个描述客观对象存在方式的概念,其客观对象可以是人造的,也可以是自然的。而系统这一概念所要描述的存在方式主要关注些什么呢?这应从引入系统概念的目的来理解。引入系统概念本质上是为了从联系、整体的视角来认识世界,因而,系统概念的实质就是要揭示出联系与整体的特征与规律。

任何一个客观存在的对象总有其独立性,即存在一个边界,依据这一边界可以将此对象与其他的事物做出彼与此的区分,这是人们认识事物的最基本特征,也是事物存在的方式。既注意到客观对象的内部结构,又注意到客观对象与外界的联系,是系统概念描述客观对象存在方式的实质。

在此,我们引入系统的描述性定义:系统是相互关联的若干要素的集合体。

在这一定义中,“集合体”这样的概念,其意义仍然是模糊的。因此,在实际中用系统的特征来描述系统,是更具操作性的方法。

系统的特征可以概括如下:

(1)具有相互联系和彼此影响的要素。这是人们透视系统的最宏观特征,它强调了系统内部的可认识与可描述的存在方式。这一特征的进一步深化,就是系统结构的概念。

(2)具有一定的边界。以边界把系统从无限的存在中划分出来,系统以整个单位与环境发生关系。这一特征可进一步深化为系统功能的概念。

一所学校、一个部门、一个企业,这些作为系统是很容易被认同的。人体、家庭、社会,也当然是系统。但一只手、一支笔的笔套可以认为不是系统,尽管它们具有独立的物质存在形式,但这个独立的存在形式并不是与环境发生关系的整体单位,一般也不会把他们当作一个独立的认识对象。

二、结构

结构是描述系统内部组织秩序的一个概念,对系统内部组织秩序的描述包括不可分割的两方面——要素和关联。

(1)要素,为系统内的有一定独立性的“零件”。它是系统内部在一定意义下的最小的

基本单元。

既然要素是系统内部在一定意义下的基本单元,对要素的认定就有一定的任意性。系统内部要素的区分需遵守的基本原则是:此要素与彼要素的边界以及要素之间彼此联系描述是可行的。

在实际操作中,要素的划分与认识系统的目的有关,人们往往在达到目的要求的基础上,尽可能简单地规定划分要素的准则。

(2)关联,是指要素之间的联系。如领导与被领导关系是一种关联,师生关系是一种关联,企业之间在市场上的竞争是一种关联,企业之间组成集团是一种关联,有质量的物质之间的万有引力是一种关联,等等。

系统的结构是指要素及关联方式的总和。

需要强调的是,系统中的要素并不仅仅指物质的存在,也是指关联中的意义。如我们讲人体中的肺,其意义远比医学院里肺的标本那种物质存在形式意义深远;又如“砍下来的手不再是手”也是这一含义。

在一些特定场合,系统的机构可简单的指关联,这种场合主要是系统要素被命名后我们仅关注关联规律对系统的影响。如 $dX/dt = AX$, dX 称之为线性结构;又如由一组串联元件组成的系统,称之为串联结构。

实际上,结构这一概念与平常的一种认识方式相似,我们对一个认知对象首先会给它一个名字,以区别其他对象,然后通过揭示内部的组成达到认识的目的。

三、功能

功能是描述系统与外部环境关系的一个概念。处于特定环境中的系统,外界给予它一组输入,不论这组输入是受控的还是不受控的,一般的系统能对该输入进行变换和处理,并产生一组返回环境的输出。系统内部对输入的处理能力是通过系统要素之间的配合行动来实现的。对系统的输入,有两类输入是需要区分的:一类是系统直接接受并处理的输入;另一类是影响系统处理过程的输入,如图 1-1 所示。如一个生产企业,各生产要素是企业这一系统直接处理的,而市场价格、法律法规等环境因素都影响企业行为,但它们不被企业直接处理。

把影响系统行为但不被系统行为影响的输入称之为系统的环境因素。一般把输入区分为直接被系统加工的输入和环境因素。这样,系统的输入输出过程可以理解为,输入 X 经系统 S 作用后产生输出 Y , 若记环境因素为 e , 则输出 Y 可表示为:

$$Y = S(X, e) \quad (1-1)$$

一组输入在一定环境因素中导致了系统相应的输出,系统的这种输入输出过程称之为系统行为,全体行为的集合记录了系统与环境、输入与输出的全部关系。系统的功能就是指系统与环境相互联系与作用的能力。

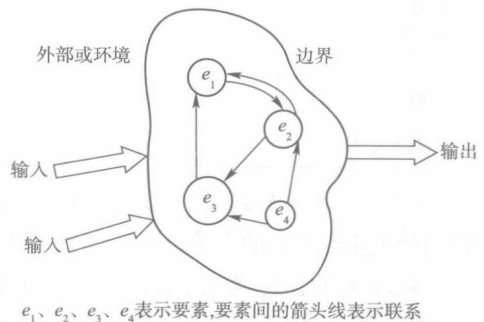


图 1-1 系统的图像

任何一个系统,被人认识的功能往往只有这个系统功能的一部分,而没有被认识的功能更多。人们无法了解系统的全部功能,但人们必须关注尚未被认识的功能。

四、层次

系统层次的概念是自然界层次性的发展与延伸,例如在物理学中,量子力学、牛顿力学、爱因斯坦的相对论等分别对应不同物质层次的运动。层次这一概念是因为描述运动时空结构的局限性而产生的,可以在同一时空结构中描述的运动称为同一层次。而通常所说的属于不同层次,意指不能在一个时空结构中进行描述。由此可见,系统的层次概念是一个相当基本的概念,甚至可以认为是一个比时空还要基本的概念。

系统的层次有两个方面的含义。

一方面,系统的层次是指各种各样的系统在不同时空中的存在,如波尔丁把物理界、生物界、社会界的所有系统分成九个层次,见表 1-1。

现实世界复杂性直观的层次关系

表 1-1

层 次	特 征	范 例
1. 结构,框架	静态	晶体结构,桥梁
2. 钟表机构	预定的运动	太阳系
3. 控制装置	闭路控制	有机体内的平衡机制
4. 开放系统	结构上自我维持	生物细胞
5. 低级有机体	拥有功能部件的组织化整体	植物
6. 动物	指挥全部行为的大脑	哺乳动物
7. 人	自我意识,知识,语言	人类
8. 社会—文化系统	角色,通信,价值观	家庭,民族,社会
9. 超越系统	目前不可知物	—

但一个系统有跨越许多层次的存在形式,如人体系统,有按中医五行层次上的存在形式,有细胞层次上的存在形式,也有分子层次和原子层次上的存在形式等。

从功能的角度考虑,系统的层次主要是要求系统结构的描述与功能的描述在同一层次上,即系统的结构与功能在同一时空结构中的可描述性。由于系统在很多层次中都具有存在形式,因此,对系统的研究就要求在适当的层次中展开。

系统的层次概念是要求人们在一定的层次上认识系统,特别需要避免几个层次之间的混淆。如在开发一个计算机系统时,在初步设计阶段就预定了购买某种显示器,这就是一种层次混淆;又如,一个不太称职的领导,其部下会反感其“该管的不管,不该管的又抓住不放”的无层次行为,等等。

另一方面,系统的层次也包括层面的意思。一个客观对象,被认为是系统时,往往可以从不同的视角去观察其存在及特性,这就是系统层面的含义。而观察对象的视角是无限多的,且不同视角所观察的内容与意义不同。

总之,系统具有复杂的层次形式,在认识系统时要求我们对系统按层次展开。同时需注意到,有限层次上已认识到的系统往往并不是这一系统的全部。

总结起来说,表现出复杂性的系统常常是具有层次结构的系统,而这种层次结构可以是以下几种:

(1)空间层次结构。即系统内要素之间的相互作用行为与他们在系统内所处的空间位置密切相关。例如,大多数宏观经济指标都是全国尺度上的加权平均,实际上忽略了不同地区与部门之间有着不同特征的空间结构。

(2)时间层次结构。即系统的变化与时间变化的尺度有着十分密切的关系。例如,社会经济系统在长时间尺度上的协调性、可持续性以及在短时间尺度上具体管理方案之间究竟应如何耦合,是一件很复杂的事,因为协调性、可持续性系统是系统演化意义下的概念,是与我们可操作的短时间尺度不一致的另外一种长时间尺度下的解。

(3)功能层次结构。即系统的不同层次具有不同的作用。例如,对企业管理而言,高层为模糊与长远的经营决策,中层为慢时间的监督、调度与管理,下层则为各种生产过程的逻辑操作与精确控制。

第三节 系统的分类与系统科学

一、系统的分类

从系统的概念可以体会到,系统是普遍存在的。从逻辑上看,外延与内涵总是一对矛盾。缩小外延以求得更深刻的内涵是人们普遍的做法。对系统进行分类能够附加某些特征,以揭示出系统更深刻的内涵。为达到对特定类型系统深入研究的目的,人们通常会从以下几个方面对系统进行分类。

(一)自然系统和人工系统

这一分类是按照形成系统的原因所做的分类。自然系统是指自然演变而形成的系统,如太阳系就是一个自然系统。人工系统就是人为制造出来的,或是对自然要素加以人工利用的系统。实际上,人工系统这一概念强调了为了特定目标而创造系统这一特点,它往往是功能要求的产物。而自然系统,当然不是人的功能要求的产物。人们认识自然系统是先认识结构,再认识其可被利用的功能。但人们对待人工系统则是以功能为出发点,研究以怎样的结构来实现功能。

(二)实体系统与概念系统

实体系统是由通常物理意义下的物质组成的系统。概念系统是由概念、原理、原则、程序、规则等不具物理属性的存在物组成的。如太阳系是一个实体系统,而人们对太阳系的描述是一个概念系统。对于一个实体系统,人们用语言对其所做的描述是一个概念系统。人工系统往往是先有概念系统再有实体系统,而概念系统往往是实体系统的抽象与简化。实际上,实体系统与概念系统这一对概念,是由于人类认识事物的过程是人的思想对被认识对象的反映这一特征引出的,即实体的存在与实体在人类意识中存在的区别。

(三)封闭系统与开放系统

封闭系统是指与环境之间没有物质、能量、信息交换的系统。当然,若系统不存在环境,