



高等学校试用教材

道路交通工程 系统分析方法

(交通工程、运输工程、土木工程专业用)

王 炜等 编著
裴玉龙 主审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校试用教材

Daolu Jiaotong Gongcheng Xitong Fenxi Fangfa

道路交通工程系统分析方法

(交通工程、运输工程、土木工程专业用)

王 焱 等 编 著
裴 玉 龙 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为面向 21 世纪交通版高等学校教材,全书简要介绍了系统分析的基本原理、原则和基本方法及其在道路交通工程中的应用。主要内容包括:系统工程的基本概念、线性规划问题、非线性规划问题、图论与网络理论、排队论、系统决策分析、预测方法、工程经济分析方法等。

本书除作为高等院校交通工程、运输工程、土木工程等专业本科生教材外,也可供相应专业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

道路交通工程系统分析方法/王炜等编著. —北京:
人民交通出版社,2004.1

ISBN 7 - 114 - 04933 - 1

I . 道... II . 王... III . 系统分析—应用—道路工
程 IV . U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 001326 号

高等学校试用教材

道路交通工程系统分析方法

(交通工程、运输工程、土木工程专业用)

王 炜等 编著

裴玉龙 主审

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:389 千

2004 年 3 月 第 1 版

2004 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001~4000 册 定价:28.00 元

ISBN 7-114-04933-1

面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铨砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

总序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的发展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

随着科学技术的迅猛发展,各学科之间的交叉日趋增强,人们在生产、生活、科研过程中遇到的问题,不仅涉及到工程技术问题,还涉及到社会经济问题、生态环境问题,要解决这些问题必须从结构组成、技术性能、经济效果、社会效果、生态影响等多方面进行综合分析研究。用传统的分析方法来分析这些复杂问题,往往带有很大的片面性,而系统工程分析方法正是从整体上来研究这些问题,使其达到总体最佳的目的。

系统工程学自从 20 世纪 50 年代产生以来,已被广泛应用于许多领域,APOLLO 登月计划的成功,显示了系统工程的无比威力,现代数学及计算机技术的发展,为系统工程分析提供了强有力的工具。系统工程分析方法的应用推广,无疑对我国现代化建设具有十分重要的意义。

在以往的道路交通工程系统的规划、设计、建造、管理中,工程师们已或多或少地应用了一些系统工程的方法。笔者希望通过本书对系统工程分析方法的系统论述,能在推进系统工程在道路交通工程中的应用方面有所裨益。

为了便于从事道路交通工程的读者学习这门新技术,本书在内容安排上着重介绍系统分析方法的基本原理、原则和基本方法。在系统分析方法在道路交通工程中的应用方面,力求浅显易懂,而不过分追求应用的深度。全书共分九章并附有习题,第一章介绍系统工程的基本概念、原则;第二章、第三章、第四章介绍确定型系统的优化分析方法;第五章介绍图像模型的优化分析方法;第六章介绍随机型系统的优化分析方法;第七章、第八章介绍系统预测与决策分析方法;第九章介绍工程经济分析方法。

本书是在王伟教授 1990 年编著出版的《道路交通工程系统分析方法》一书基础上修编而成。第一章由王伟撰写,第二、三章由王伟、常玉林撰写,第四章由常玉林、顾国怀撰写,第五、六章由王伟、李文权撰写,第七章由陆键撰写,第八章由王伟、陆键撰写,第九章由王伟、李铁柱撰写。全书由东南大学王伟教授统稿,哈尔滨工业大学裴玉龙教授主审。

限于笔者的理论水平及实践经验,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

王 炜

2003 年 11 月 18 日

目 录

第一章 系统工程与系统分析基本概念	1
第一节 系统与系统工程	1
一、系统的概念、特性与形态	1
二、系统工程	2
三、系统工程的基本处理方法	4
第二节 系统分析	6
一、系统分析的基本概念	6
二、系统目的的分析与确定	7
三、系统的模型化	9
四、系统的最优化	12
五、系统评价	12
六、系统决策分析	13
第二章 线性规划	14
第一节 线性规划问题及其数学模型	14
第二节 线性规划问题的图解法及其几何意义	17
第三节 线性规划问题的基本性质	19
一、基本概念	19
二、基本定理	20
第四节 单纯形法	21
一、单纯形法的基本算法	21
二、单纯形法的基本步骤	28
三、初始基本可行解的确定	28
第五节 线性规划在道路交通设计中的应用	31
习题	38
第三章 特殊类型的线性规划	42
第一节 运输问题	42
一、问题的数学模型	42
二、表上作业法	44
三、产销不平衡的运输问题	53
第二节 整数规划	55
一、例子与模型	55
二、分枝定界法	57
三、割平面法	60
四、0-1 规划	63

第三节 资源分配问题	66
一、资源分配问题的数学模型	66
二、求解方法	68
第四节 特殊类型线性规划在道路交通工程中的应用	71
习题	75
第四章 非线性规划及其应用	77
第一节 非线性极值问题	77
一、模型及解的概念	77
二、下降算法	78
三、多目标极值问题	80
第二节 一维搜索	80
一、精确一维搜索法	80
二、不精确一维搜索法	83
第三节 无约束极值问题的解法	85
一、最速下降法	86
二、牛顿法	86
三、阻尼牛顿法	87
四、共轭梯度法	87
五、变尺度法	89
第四节 有约束极值问题及求解	89
一、解的最优性条件	90
二、惩罚函数法	92
三、碰壁函数法	93
四、可行方向法	94
五、梯度投影法	96
六、乘子法	99
七、二次规划法	101
第五节 非线性规划在道路交通工程中的应用	103
习题	106
第五章 图与网络系统	108
第一节 图与网络的基本概念	108
一、图	108
二、子图	109
三、连通图	109
四、树	110
五、无向图与有向图	113
第二节 最短路问题	114
一、从始点到终点的最短路问题	114
二、任意点之间的最短路问题	116
第三节 网络最大流问题	118

一、基本概念与基本定理	118
二、寻找最大流的标号法	121
第四节 最小费用最大流问题	125
第五节 图论与网络在道路与交通工程中的应用	128
一、路面更新问题	128
二、出行交通的“全有全无”分配问题	129
三、综合运输中交通运输方式的确定问题	131
四、确定区域公路网络主骨架问题	132
五、交通监视器安装问题	133
习题	134
第六章 随机服务系统理论——排队论及其应用	137
第一节 排队论的基本知识	137
一、服务过程的一般表示	137
二、服务系统的分类	137
三、服务系统的组成	138
四、排队模型的表示方法	139
五、服务系统的运行指标	140
第二节 顾客到达分布和服务时间分布	141
一、最简单流(泊松流)	141
二、负指数分布	143
第三节 生灭过程	144
一、生灭过程的定义	144
二、生灭过程的哥尔莫可尔夫方程	144
三、在统计平衡条件下哥尔莫可尔夫方程的解	145
第四节 $M/M/1$ 排队系统分析	147
一、 $M/M/1/\infty/\infty$ 系统	147
二、 $M/M/1/m/\infty$ 排队系统	151
第五节 $M/M/S$ 排队系统分析	154
一、 $M/M/S/\infty/\infty$ 排队系统	155
二、 $M/M/S/m/\infty$ 排队系统	157
第六节 其他类型的排队系统	159
第七节 排队服务系统的最优化问题	159
一、 $M/M/1$ 系统中的最优服务率	161
二、 $M/M/S$ 系统中的最优服务台数	161
第八节 排队论在道路交通工程中的应用	163
一、交叉口规划问题	163
二、停车场规划问题	164
三、收费亭问题	165
四、车站售票口设置问题	167
五、公路收费站通行能力问题	168

习题	169
第七章 预测方法及其应用	171
第一节 概述	171
一、预测的概念和作用	171
二、预测的要素和程序	172
三、预测方法的选择	173
第二节 时间序列法	173
一、趋势外推法	174
二、移动平均法	175
三、加权移动平均法	177
四、指数平滑法	178
五、使用要点	179
第三节 回归分析法	180
一、一元线性回归	180
二、多元线性回归	183
三、非线性回归	185
第四节 灰色模型法	186
一、灰色预测的概念	186
二、GM(1,1)模型	187
第五节 马尔可夫链法	188
一、基本概念	189
二、一次马尔可夫链预测	189
第六节 蒙特卡罗法	191
第七节 神经网络法	192
一、神经网络的概念	192
二、神经网络的 BP 算法	194
第八节 其他预测方法	196
一、经验法	196
二、弹性系数法	198
第九节 预测技术在道路交通工程中的应用	199
一、运输量预测分析	199
二、城市道路交叉口高峰小时流量预测	201
三、运输市场占有率预测	202
四、汽车保有量预测	203
习题	204
第八章 决策方法及其应用	206
第一节 概述	206
一、决策的定义	206
二、决策问题的构成与分类	207
三、决策过程	208

第二节 确定型问题的决策分析	209
第三节 不确定型问题的决策分析	209
一、悲观准则	209
二、乐观准则	210
三、折衷准则	211
四、等可能准则	211
五、遗憾准则	211
第四节 风险型问题的决策分析	212
一、最大可能准则	213
二、期望值准则	213
三、决策树法	215
四、风险型决策问题的讨论	219
第五节 决策分析在道路交通工程中的应用	220
一、交叉口改造设计决策分析	220
二、客运线路班次计划决策分析	220
三、洪水防护系统决策分析	222
四、公路建设方案决策分析	225
五、路面设计方案决策分析	226
习题	228
第九章 工程经济分析	229
第一节 资金的时间价值	229
一、时间价值与利率	229
二、现值与终值	229
第二节 方案经济比较的计算方法	234
一、现值法(Present Worth Method)	234
二、年值法(Annual Worth Method)	237
三、回收率法(Rate of Return Method)	237
习题	241
参考文献	242

第一章 系统工程与系统分析基本概念

第一节 系统与系统工程

一、系统的概念、特性与形态

系统这一概念来源于人类的长期社会实践,但由于受到科学技术早年历史的影响,系统的概念一直没有受到应有的重视,直到 20 世纪 40 年代才开始在工程设计中应用系统这一概念,到了 50 年代以后,才把系统的概念逐步明确化、具体化,并在工程技术系统的研究和管理中得到广泛的应用。

所谓系统,是指由相互作用、相互依赖而又能相互区别的若干组成部分(单元)组合而成的,具有特定功能的有机整体。一般来说,系统具有以下四个特征:

(1)整体性

系统是由若干个单元组成的,每个单元都具有独立的功能。具有独立功能的单元以及单元之间的相互联系只能是逻辑地统一和协调于系统的整体之中,才能发挥系统的整体功能。因此,即使每个单元并不都很完善,但它们也可以综合,统一成为具有良好功能的系统。反之,即使每个单元都是良好的,但作为整体却不具有某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。

(2)相关性

系统内各单元之间是有机联系、相互作用的,在这些单元之间具有某种相互依赖的特定关系。例如,道路交通控制系统是一个大系统,它由道路网、车辆、信号控制系统以及交通规则等单元或子系统组成,在交通控制系统的运行中,这些单元(或子系统)是相互关联的,通过它们之间的协调关系,使道路上行驶的车辆有条不紊。如果各个组成部分各自为政,那么它们就不能组成为互相协调的系统,势必造成交通混乱。

(3)目的性

通常,系统都具有一定的目的性,而系统单元正是按照这种目的组织起来的。例如,在某城市进行道路交通规划,那么从规划目标设计、交通状况调查、现状交通分析、交通需求预测、道路交通网络方案设计、规划方案评价、到规划方案实施整个过程就形成了一个“城市道路交通规划系统”,该系统的目标可以是在一定的道路交通服务水平下使道路交通建设的投资最少,或者是在一定的道路交通建设投资条件下使建成的道路网络的服务水平最高,或使社会获得的效益最大。

(4)环境适应性

系统总是存在于一定的环境之中,与环境不断进行物质、能量、信息的交换。系统必须适应外部环境的变化。

在自然界和人类社会中,系统是普遍存在的。根据系统的性质,系统形态可分为以下

几类：

(1)自然系统与人造系统

自然系统是指以自然物为组成部分,自然形成的系统。如海洋系统、气象系统、矿藏系统等。

人造系统是指由人工造成的各种单元所构成的系统。如人类对自然物质进行加工,造出各种机器所构成的各种工程系统等等。

(2)实体系统与概念系统

凡是以矿物、生物、机械、能源和人等实体为构成单元所组成的系统都是实体系统。

凡是由概念、原理、原则、方法、制度及程序等概念性的非物质实体所构成的系统称为概念系统。如管理系统、教育系统。

(3)动态系统与静态系统

动态系统是指系统状态随时间而变化的系统,即系统的状态变量是时间的函数。静态系统则是表征系统运动规律的数字模型中不含有时间因素的系统,即模型中的变量不随时间而变化。静态系统是动态系统的一种极限状态,即处于稳态的动态系统。

(4)控制系统与行为系统

控制就是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作,为了进行控制而构成的系统称为控制系统。

行为系统是以完成目的的行为作为构成单元而形成的系统。

在道路交通工程中,实际上存在的系统大多数是自然系统与人工系统复合而成的实体系统。如道路网络系统、交通控制系统、公路运输系统、交通环境保护系统等均属于自然—人工复合系统,并且大都是实体系统。

二、系统工程

对某一个具体问题的分析,传统的方法往往是把一个事物分解成许多独立的部分来分别进行研究,人们可以把问题分得很细,然后进行深入的研究。但是这种研究方法往往容易把事物看成是孤立的、静止的,因而所得出的结论只能限制在一个局部的条件下,只能解决一些简单问题。如果把这些结论放到更大的范围来考察,那么这些结论就可能是片面的,甚至可能是错误的。

近几十年来,由于科学技术的迅猛发展,出现了许多庞大而复杂的系统。例如宇宙开发系统、交通运输系统、钢铁化工联合生产系统、生态环境保护系统、军事指挥系统、社会经济系统等等。这些大系统不仅涉及到科学技术问题,还涉及到社会问题,这些系统常常具有综合性的功能和目标,需要从结构组成、技术性能、经济效果、社会效果、生态影响等多方面来研究考虑,用传统的分析方法来分析这些大系统显然是行不通的。而系统工程正是要从整体上来研究这些系统的共同问题。

由于参与研究和发展系统工程学的学者来自不同的领域,各国学者,对系统工程有不同的解释。下面例举了美国学者对系统工程所做的定义。

“系统工程学是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学”(1969年,美国质量管理学会系统工程委员会)。

“系统工程学是研究由许多密切联系的单元组成的复杂系统的设计科学。设计该复杂系统时,应有明确的预定功能和目标,并使得各个组成单元之间以及单元与系统整体之间有机相

连,配合协调,使得系统总体能达到最优目标。但在设计时,要同时考虑到参与系统中的人的因素与作用”(1975年美国科学技术辞典)。

“系统工程学是为了研究由多个子系统构成的整体系统所具有的多种不同目标的相互协调,以期系统功能达到最优,并最大限度地发挥系统组成部分的能力而发展起来的一门科学”(1967年美国 H. Chestnut)。

系统工程学是一门综合性科学技术,研究的对象是大型复杂系统的设计和运行,有目的地对新工程对象进行研究与设计,对已有工程对象进行运行、管理与改进,以达到总体最佳的效果为目标。系统内部的组成是各种设备与人的有机联系,它们又与环境之间密切联系、相互作用,以研究系统的总体优化。在时间领域方面,则按照工程的时序综合考虑规划、计划、研究、设计、试验、制造、安装、运行各阶段的相互关系和联系。它既是一门跨专业领域的总体工程学,也是一种思维方法论与工作方法论,它的若干原则也能用于行政管理系统和一切系统,关键在于这些系统能否抽象为一定的模型并求得最优的解答。

系统工程学是一门不属于某一专业的新科学,是对广泛工程领域的探讨。系统工程虽然是一种工程,但它与其他的工程学相比具有几个特点。首先,系统工程不同于机械工程、道路工程、交通工程、化工工程、电力工程等。各门工程学都有其特定的工程物质作为对象,如道路工程的研究对象是道路,交通工程的研究对象是人、车、路。而系统工程的研究对象则不限于某个领域,任何一种物质系统都能成为它的研究对象,而且它的研究对象还限于物质系统,它还可以把各种自然现象、生态、人类、企业和社会等组织体、管理方法和步骤等一切作为研究对象。由于它处理的对象是信息,所以,在国外有些学者认为系统工程是一种“软科学”。

其次,系统工程不仅涉及工程系统,还涉及到非工程系统,不仅涉及技术因素,还涉及到社会、生态甚至心理因素,所以它的研究和运用不仅涉及自然科学和技术科学,还涉及社会科学,特别是需要把它们结合起来。

系统工程作为一门独立的学科,具有它自己独特的思想方法、理论基础、程序体系和方法论。但是,当前系统工程还正在发展中,尚未形成完善的理论体系和方法论。系统工程思考方法通常叫作系统方法,它是在对系统的概念、系统的基本构成及各种形态作了深入研究的基础上,把对象作为整体系统来考虑、掌握、分析、设计、制造和使用时的基本思想方法。系统工程也具有自己独特的工程程序体系,虽然在实际运用时,由于对象不同,运用的人各异,所采用的具体程序步骤会各不相同,但其程序体系的一般原则具有普遍意义。

系统工程具有自己独特的方法论,它的方法体系的基础就是运用各种数学方法、计算机技术和控制理论来实现系统的模型化和最优化,进行系统分析和系统设计。

总之,系统工程方法论的基本特点可归纳如下:

(1)研究方法上的整体性

整体性就是要把系统当作一个整体,不要见木不见林。系统既然是由各个单元按一定方式组成的,我们就不能孤立地只考虑其中一个部分。一个系统可以分成许多个子系统,而这个系统本身又可能是一个更大的系统的组成部分或子系统。常常会有这样的情况:从局部看来是有利的方案从整体看来可能是不利的;而从整体看来是有利的方案,对于其中某些局部可能是不利的。这就要求有整体观点、全局观点。上面提到的这种整体性是从空间来看的。而从时间上来看,我们也要把一个系统的研制、建立与使用过程当作一个整体,要从全过程来衡量和处理问题,不能只抓住一个片段或阶段,特别要从发展上看问题。由于一个系统从规划到使用经历的时间很长,而科学技术发展得又很快,考虑不周会在花费很长时间和很大代价后由于

技术陈旧而失去使用价值。我们在处理任何一个系统时,首先要注意的便是它的整体性。

(2)应用技术上的综合性

当前新的发展趋势是一个大规模的复杂系统,往往不是一个单纯的技术系统,而是涉及到许多社会的、经济的因素,构成一个复杂的社会—技术系统,或社会—经济系统,促使自然科学、技术科学和社会科学日益紧密地结合在一起,这就是系统工程在解决社会—技术系统时所表现出来的一个重要特点。

因此,在考虑一个系统时,应该时时想到它是一个综合体,其中不仅有技术问题,还有经济问题,甚至于社会、生态等问题。技术问题本身也是物流、能流、信息流交织在一起。各种因素互相制约,有时还会出现矛盾,必须综合地加以考虑。例如技术性能与成本的关系,产品与副产品(包括环境污染)的关系,必要性与可能性等,都必须从各方面加以综合考虑,在多种方案中选择最可行的方案。由于系统工程问题的多样性和综合性,这就要求在处理这些问题时应该综合使用各门科学技术的理论、方法和工具。系统工程的这个特点也是它成为一门边缘科学的原因之一。

(3)处理问题上的科学性

在处理系统工程问题时,应该尽可能做到正确、严密。系统工程中的概念和原则是本质的,数学方法是手段,为了准确地运用概念和原则,应该尽可能运用数学工具。因此,在建立系统的数学模型和进行最优化时,要充分利用现代数学方法和现代科学技术。

作为工程科学的系统工程,它是千百年来人们生产实践的总结。在人类历史上,人们在从事复杂的工程建设时,已经开始摸索到了一些系统工程的方法。早在公元前 250 年,李冰父子带领四川劳动人民修筑都江堰,把分洪、引水、排沙巧妙地结合起来,这种思想便是系统工程方法。在北宋真宗时皇宫失火,丁渭主持修复,其中清理废墟、挖土烧砖、运输建筑材料等工作都很繁重,丁渭提出了一个方案:在皇宫前的大街挖河取土烧砖、解决了取土问题;再放水入河,用船运输建筑材料,解决了运输问题;再在竣工后将废砖碎瓦回填,修复大街,解决了废墟清理问题。这种一举三得的施工方案便是一种系统工程方法。

但是,系统工程作为一门独立的学科,是在 20 世纪 50 年代在总结了二次世界大战以来,军事、经济以及尖端技术发展中开发系统的经验的基础上建立起来的。阿波罗(Apollo)登月计划的成功,显示了系统工程的无比威力,现代计算机与信息科学的发展,为系统工程的推广提供了有力的工具。近年来,系统工程的研究范围已由传统的工程领域扩大到工农业、交通运输、能源等部门的规划、设计、技术政策,以及城市建设、水利资源利用、生态环境保护、国民经济发展规划等社会经济领域。

三、系统工程的基本处理方法

如图 1-1 所示,一个系统从开始建立到成功地投入使用,按时间顺序可分为下述三个阶段:

(1)系统规划阶段

这一阶段的主要任务是定义系统的概念,明确建立系统的必要性,在此基础上明确目的和确定目标。同时,提出系统应具备的环境条件以及估计系统所需的各种制约条件。最后制订系统开发计划书。计划书中除包含上述内容外,还有系统建成的期限,系统投资限额等内容。

(2)系统设计阶段

该阶段中,首先是对系统进行概略设计,其内容主要是各种替代方案的建立,然后进行系

统分析。系统的替代方案是指具有相同功能的,可以相互替换的一组方案。系统分析的项目包括系统的目的、替代方案、费用和效益、模型及评价基准等,在系统分析的基础上确定系统设计方案,据此对系统进行详细设计。

(3)系统制造和运行阶段

在这一阶段,首先是对系统设计中的一些与系统有关的关键项目进行试验和试制,在此基础上进行必要的改进,并进行工艺设计。然后正式投入制造、安装、调试,同时,讨论系统运行方法和维护方法。最后,根据已制订的运行、维护方法,投入运用,在运行的基础上讨论系统的调整和改进工作。

上述系统工程处理步骤,可用图 1-1 所示的流程框图来表示。系统工程的工作步骤是根据多年来系统工程的实践总结出来的,不同领域的系统工程研究人员,对系统工程的阶段和步骤的划分有不同的看法,上述步骤仅供参考。

所谓系统工程的基本处理方法,就是根据系统的概念与系统的基本组成和性质,把研究对象作为系统来进行分析,对分析结果加以综合,综合后产生的就是系统的设计,然后再对这个系统的设计方案进行评价,如图 1-2 所示。这样反复进行,直到能有效地实现预定目标为止。

所谓系统分析,是指为了把对象系统的目的等要求事项最优地予以完成,应该如何构成系统,可以应用各种分析方法对系统进行模拟、计算,从而获得系统设计所必须的信息。在分析过程中,每次结果都要同制订的评价标准做比较,在考虑环境条件的情况下,按照比较后的差距反复进行分析,直到满足评价要求为止,然后转入综合。所谓综合,就是根据分析与评价结果确定系统的构成方式和动作方式,做出系统的设计。最好能有多种设计方案,然后按

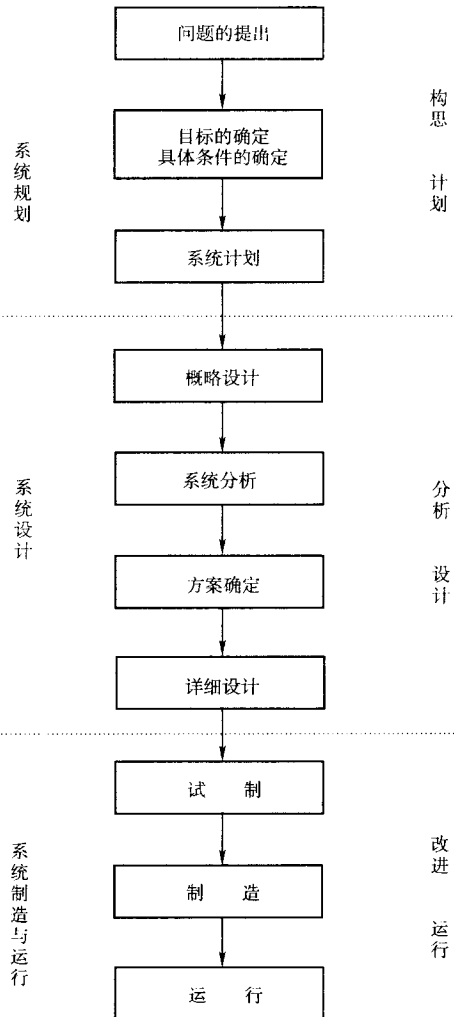


图 1-1 用系统工程处理问题的步骤

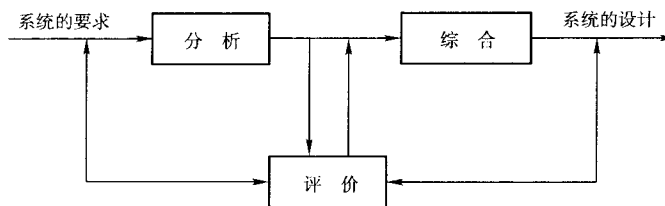


图 1-2 系统工程基本处理方法框图