

建设系统工程

卢有杰 著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书以城市、乡镇和工程建设以及城市管理和工程管理为对象,讲述了系统工程的基本原则和方法,及其在城市规划、城市管理、工程设计、工程管理中的应用。本书共分 8 章,包括系统工程概论;线性规划模型;特殊线性规划模型;非线性规划;动态规划;系统控制;系统评价和系统决策。

本书与其它建筑工程本科生教材相比,增加了一些略有难度、较为新颖的内容,以激发读者深入学习的兴趣。书中例题丰富,便于自学。

该书适合于高等院校结构工程、水利、环境、工程管理及建筑设计、城市规划等专业的师生及广大工程技术、工程管理人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

建设系统工程/卢有杰著 .- 北京:清华大学出版社,1996
ISBN 7-302-02378-6

. 建... . 卢... . 经济建设-系统工程 .F224.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 23205 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:北京密云胶印厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787x 1092 1/16 印张: 19.5 字数: 484 千字

版 次: 1997 年 2 月第 1 版 1997 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02378-6/TP · 132

印 数: 0001—5000

定 价: 19.50 元

前 言

系统工程是关于生产、建设、交通、运输、通讯、商业、科学研究以及人类其它活动的规划、组织、协调和控制的科学方法。

系统工程以系统为对象,从系统的整体观念出发,研究各个组成部分,分析各种因素之间的关系,运用数学方法,寻找系统的最优方案,使系统总体效果达到最佳。

系统工程自本世纪40年代诞生以来,已有半个多世纪的历史;传入我国,广泛地应用在多种领域也已近40年。系统工程在我国建设事业、生产管理、商业经营、资源利用、环境保护、经济体制改革、科学研究诸多领域取得了显著成效,其重要作用已被人们认识和接受。

在大学里,系统工程已成为许多学科学生的必修课。

土木、建筑、环境、水利、建筑设备等专业的学生毕业后将从事建设事业,即工程建设、城市建设和乡村建设,更应该学习这门科学。理由是:没有哪一个建设项目不是复杂的系统,没有哪一个建设项目不要多、快、好、省地完成。

工科学生学习系统的思想、理论、原则和方法,主要目的是让自己跳出某种狭窄的圈子,站到高处,环顾四周广阔的天地,把目光投向远方,不但要看到本学科,还要看到其它学科。

分门别类的教育本是人类的一大进步,但其消极的一面也日渐明显。传统的工科教育不知不觉之中把学生的注意力束缚到了他们的专业领域,甚至思维方式也专业化了。

在这种情况下,为这些学生开设一门系统工程,至少可以让他们明白,他们毕业后做为工程技术人员,不单单要考虑建筑学、力学、工程结构、环境工程等方面的问题,还要考虑经济、社会和环境效益;明白系统的整体最优目标往往要求牺牲专业局部最优目标。学生们会明白,他们的专业技术只是手段,而不是目的;除了为社会、为人类造福外,他们不能为技术而技术,为专业而专业。

系统工程的背后是系统方法和系统论。就世界观和方法论而言,系统工程和辩证唯物主义在许多地方不谋而合。系统工程处理问题活生生地体现了唯物辩证法。因此,学习系统工程有助于学生树立正确的世界观,学习科学的方法论。

系统工程涉及面广、内容丰富,像本书这样的篇幅不可能概其全貌,只能从目前仍然在成长壮大的系统工程宏伟大厦中搬出一小部分,让学生根据这小小的部分去想象系统工程的全貌。

建设事业被公认是系统工程广阔活动舞台的重要部分。一个建设项目,从构思、可行性研究、规划、设计、施工到运行的全过程,每一个阶段都需要运用系统的思想、原则和方法。

运筹学中的网络计划、排队论、存储论等等重要内容,由于篇幅或其它课程已讲授过的

原因未纳入本书。

但在另一方面,本书对控制论给予了相当的篇幅。控制论被认为是系统工程三大支柱之一,然而国内许多教材对这部分内容只是一笔带过,并未具体讲述,实在是一个遗憾。

作者介绍控制论时,尽量举出建设事业中的例子。希望学生或其他读者能够因此受到启发,在城市建设以及整个人居环境建设和改造中学会使用控制论。

系统工程是综合性很强的学科,大量使用数学工具,涉及多种学科领域,因此学生要学好系统工程,必须具备微积分、微分方程、线性代数、概率论的基础,必须要有土木、建筑工程、管理科学、经济学等多方面的知识。

学生在学习系统工程时不要畏惧其内容的多样性,因为系统工程本来就是一门交叉学科;不要被表面上的无系统弄得心绪烦躁,透过表面,就会发现系统工程内在的规律和优美;不要轻视数学手段的一些很简单的原则和方法,正是这些原则和方法能够节省大量的资源,创造巨额的财富。

学生在学习系统工程时切忌把注意力局限在数学解算方法上,应该把注意力放在如何具体问题具体分析,如何将实际问题抽象成合理的数学或其它模型,如何解释数学计算的结果等等方面。学过这门课之后,若只记住了解题方法,则表明仍未达到本来的学习目的。

作者虽然在校内外多年从事有关系统工程的教学和科研工作,但毕竟水平有限,不妥之处在所难免,望使用本教材的老师、学生及其他读者不吝批评指正。

卢有杰

1995年夏 清华园

目 录

第 1 章 建设事业和系统工程	1
1.1 建设事业中的系统	2
1.2 系统方法和系统工程	8
1.3 系统分析	15
思考题	22
第 2 章 系统优化线性规划模型	23
2.1 线性规划基本概念	23
2.2 单纯形法	35
2.3 单纯形法的特殊情况	43
2.4 对偶理论与灵敏度分析	47
练习题	59
第 3 章 特殊线性规划模型	67
3.1 不平衡报价	67
3.2 最小费用流	69
3.3 供求平衡运输问题	86
3.4 供求不平衡运输问题	96
3.5 运输问题中的系统思想	97
3.6 指派问题	98
3.7 最短路	103
3.8 最大流	111
3.9 建设系统分级决策分解算法	117
3.10 建设系统布局的整数规划	137
练习题	142
第 4 章 系统优化非线性模型	147
4.1 建设事业中非线性规划模型	147
4.2 基本概念	149
4.3 最优性必要条件与无约束极值	152
4.4 几何规划	160
4.5 非线性规划约束条件	164
4.6 Kuhn-Tuck 条件	167
4.7 二次规划	171

4.8	可行方向法	174
4.9	制约函数法	176
	练习题	180
第 5 章	动态规划	183
5.1	多阶段决策和动态规划	183
5.2	动态规划基本概念	185
5.3	最优性原理和最优性定理	187
5.4	解题方法和应用举例	188
	练习题	199
第 6 章	系统控制和动态优化	201
6.1	控制论基本概念	201
6.2	管理和工程系统中的控制问题	202
6.3	控制问题动态规划解法	205
6.4	变分法与控制问题	207
6.5	城市建设与管理问题变分解法	212
6.6	极值原理	216
6.7	线性最优控制	222
	练习题	224
第 7 章	系统评价	225
7.1	系统评价的对象	225
7.2	评价因素和标准	226
7.3	系统评价的步骤	226
7.4	系统评价的方法	227
7.5	经济分析法	227
7.6	专家评价法	235
7.7	模糊综合评判	242
7.8	DEA 法	248
	练习题	258
第 8 章	系统决策	260
8.1	多目标决策	261
8.2	多目标多阶段决策	272
8.3	风险型决策	278
8.4	非确定型决策	294
8.5	效用理论在决策中的应用	296
	练习题	299
	参考文献	303

第 1 章 建设事业和系统工程

建设事业,即城市建设、村镇建设和工程建设,自古以来就是人类活动的重要内容。

古代御敌的城池沟堑、万里长城;防涝、排灌用的堤、坝、渠、堰;便利交通的驰道、桥梁、隧道、栈道和运河;帝王的宫殿和陵寝,祭天封土的庙坛,无一不是先人建造活动的成果。古代劳动人民筑造的城郭、园囿、工程虽多已在时光流逝中圯毁、湮没,但那仅存的遗迹就足以让我们赞叹。我们赞叹先人丰富的想象力,非凡的创造力和高超的技艺,我们更为他们在建造活动中的规划、组织、协调等多方面的运筹能力所折服。可以想象,在他们那样的时代,若不事先计划运筹,不合理地组织,如此大规模、复杂的建造活动是难以进行的。

在现代,横跨天堑的桥梁,斩断江河的巨坝,潜越海底的隧道,纵横交错的公路和穿山越岭的铁道,更充分显示了人类规划、组织和实施建设活动的巨大潜力。

自改革开放以来,我国建设事业生气勃勃。经济在发展,社会在进步,城市化进程大大加快。我国城市已由 1979 年的 297 个增加到 1994 年的 457 个,这个数字至今仍在刷新。十几年来,公路、铁路在延伸,机场、码头在增多,水力、火力甚至核电站一个接一个地建成,住宅楼群如雨后春笋拔地而起。

人类通过各种各样的建造活动,不断地改善生存和发展的环境。人类的建造活动同生产、科研以及征服自然的其它活动一样,要动员大批人力,耗费大量材料,投入巨额资金。这样的活动常常历时几年、十几年,甚至几十年。对于大规模的建设活动,必须经过事先慎密的思考,详细的规划,在实施中必须认真地组织、及时地协调、严密地控制,否则,就会不可避免地造成人力物力的浪费、时间的拖延,乃至工程和事业的失败。

另一方面,人类在为自身的生存和发展而从事生产和建造活动时,砍伐了无数森林,毁坏了大片植被,污染了水、空气和土地,破坏了生态平衡,致使水土流失、气候失调、资源枯竭。人类要想持续不断地发展,为子孙后代留下足够的能源、资源和生存空间,就必须立即制定可持续发展战略,保护资源,回收资源,合理地利用资源。人类在今后的建设活动过程中必须贯彻可持续发展战略,保护自然,重建自然,使建造活动适应人类持续发展的要求。在保护环境、保护资源的活动中,人类同样需要对这些活动进行规划、组织、协调和控制。

随着人类改造自然、征服自然和保护自然的规模的扩大,生产、建设和探索宇宙奥秘的活动也愈来愈复杂。在这些活动过程中人类逐渐认识到,要想使这些活动获得成功,达到预想的目的,仅有数学、物理、化学、天文学、生物学、地质学等自然科学以及土木、建筑、水利、机械、电机、热机等工程技术远远不够。必须对上述各种活动进行规划、组织、协调和控制。进入 20 世纪,人们对规划、组织、协调和控制的认知、要求和运用已大大超过了以往的任何时代。

第二次世界大战结束以后,社会生产力、科学技术迅猛发展。特别是电子计算机、运筹学

和信息科学的形成和发展终于把人类自身在规划、组织、协调和控制各种活动方面的经验、知识汇集成新的知识领域——系统工程。系统工程是关于规划、设计、制造、试验、组织、协调和控制的科学方法。系统工程以系统为对象。

1.1 建设事业中的系统

1. 系统

人类建造活动及其成果都是系统。系统都可以分解成两个以上的组成部分。组成部分按一定方式结合在一起,互相依赖、互相制约,在一定的空间和时间内表现出一定的特征,完成一定的功能和效用。

一项工程,如运河、水库、公路、桥梁、隧道、港口、机场等都是系统。机场由候机楼、楼前广场、跑道、机库、油库、控制塔及其它地勤设施等部分组成,共同完成接送旅客、运输货物的功能。各组成部分在平面和空间上以一定方式联系起来,缺一不可。

一座城市,其中各组成部分有机地结合在一起,完成各种复杂的功能,使得城市中社会、经济、文化和政治活动能够顺利进行。城市是社会经济发展的产物,是人类长期建造和其它活动形成的复杂系统。

一个建筑群也是系统。住宅区除了住宅,还有各种公用设施、社会服务设施、绿地、区间道路等等,这些都是区内居民日常生活中不可或缺的。

一座建筑物由地基、基础、主体结构、围护装修、电气照明、给排水、采暖通风、生产或生活设备等组成,为使用者创造了一个生产、生活或其它活动的空间。

工程建设活动也是一个系统。从提出到竣工完成,一个建设项目要经过若干相互联系阶段。在我国,建设项目要按图 1.1 所示的阶段进行。这几个阶段,一环套一环,缺一不可。如果不在经济、技术、社会效益和环境保护诸方面进行认真的可行性研究,未发现项目建成后可能会遇到的不利市场条件,把本来不可行的项目当做可行,结果会造成生产出来的产品无销路,那么这个项目的工艺和土建设计做得再好,施工组织得再科学,这个本来不应建设的项目就会给国家造成严重的损失。

建筑公司也是一个系统。公司由计划、生产、劳动人事、材料、财务等多个职能科室,多个项目经理部和公司领导层组成(见图 1.2)。公司承建的每一个工程项目,都要由项目经理部、各职能科室以及公司领导层的共同努力来完成。公司的这些组成部分在工程进行过程中必须密切联系,互通信息,协调合作。项目管理班子也是一个系统,由项目管理人员、项目管理设备、项目管理知识和技术等构成。

政府的建筑业管理机构也构成系统。在我国,最高机构是建设部,省市、自治区一级有建设厅或城乡建设委员会,地区、县、市有建设局。除了实体机构外,管理建筑业的还有法律、法规和规章等。

在自然界演化过程中形成的系统叫做自然系统,如天体系统、生态系统、水系统、生物系统等。由人类生产、建造或其它有意识活动形成的系统叫人造系统,如城市系统、道路交通系统、通讯系统、水利灌溉系统。由自然力和人力共同造成的系统叫复合系统,如水力发电系统。人类几千年的活动使地球表面许多系统成了复合系统。本课程主要讨论人造和复合系统。

图 1.1 我国现阶段建设项目程序

图 1.2

系统各组成部分之间有着各种各样的复杂关系。它们之间的相互影响、作用和制约遵循多种不同规律。例如,一个建筑公司可以看成是一个生产系统、信息系统、文化系统、也可以看成是一个社会系统。

客观世界皆系统。某个具体系统必然存在于其它系统之间。其它系统构成了该系统的存在条件和环境。系统与环境之间以种种方式联系着。这些联系可以归纳为三种基本方式,即系统与环境不断地进行物质、能量和信息的交换。例如,绝大多数城市都有建筑公司。城市构成了建筑公司的环境。建筑公司需要从这个环境中吸收劳动力,筹集资金,采购材料或其它用品。建筑公司通过自身的努力,把完成的建筑物交给用户。建筑公司时刻注视着城市的各种动态,捕捉为社会提供服务的机会。另一方面,建筑公司的施工和其它活动受到各界人士的注意,他们对建筑公司的活动做出各种各样的评价。建筑公司对这些评价进行分析,并做出反应。这些都是建筑公司同它的环境进行的物质、能量和信息的交换(见图 1.3)。

与周围环境持续不断进行物质、能量和信息交换的系统是开放系统,否则是封闭系统。我们接触的都是开放系统,封闭系统无法长久生存。开放是系统生命之源。当系统赖以生存的原有的资源耗尽时,必须及时寻找新的资源。濒临倒闭的公司仅仅依赖整顿内部难以起死回

图 1.3

生。只有顺应外部市场上的需求,吸收新思想、新技术,启用有新思想的人才,才有希望摆脱困境,走向新生。

根据热力学定律,封闭系统的熵随着时间的推移不断增大,系统由有序变为无序。要想遏制这种不可逆转的趋势,必须要从系统外部补充负熵,即能量、物质和信息。开放不仅仅是维持或挽救系统生命、使其发展壮大的必要条件,开放还能使系统发生质变,从原有的低级平衡状态跳到高级平衡状态,呈现新的面貌。

80年代以前,从事建筑设计的单位分属于政府的不同部门或不同的地方政府。它们一般不能承揽别的部门或地方的设计任务,处于封闭状态。这种系统造成的后果是,许多设计单位设计任务不足,积压了大批优秀人才。当这些人员提出调往别处时又难上加难。80年代初期解除了设计单位只准接受本部门设计任务的禁令,允许接受社会上的设计委托。结果,面貌大改观。设计单位如此,施工单位也是如此。过去只能承担当地或本部门任务的施工企业,现在可以驰骋全国,打到国外,使得施工企业的经营范围和规模不断扩大。

在系统与环境交换的物质、能量和信息中,从外界进入系统的叫做输入、投入或资源,而系统交给外界的叫输出或产出。输入之中,又分两大类。一类由系统转换为输出,另一类用于控制系统的行为。

一般来讲,系统对资源具有选择性,即有的资源容易被系统利用,有的不容易,甚至根本不能利用。但这种选择性有很大的变化范围。这种事实对于系统来说,就存在一个如何选择资源,如何对各种不同资源进行组合以取得最理想效果的问题。

系统还有无形与有形之分。

无形系统指由反映客观实体、实体属性、实体间关系、相互作用和影响的思想、原理、原则、方法、制度、方针政策、图形、方案、符号等等组成的系统。例如设计图纸、代数或微分方程组、电脑程序、合同文件、经济法和分类方法等等。无形系统也可以称做概念系统或观念系统。

不能归入无形系统的都可称为有形系统,或称实体系统。

无形系统依附于有形系统。无形系统的功能、作用和属性由有形系统体现出来,又在有形系统的行为中得到检验、校正和补充。

系统的组成、属性或状态以及功能都随着时间的推移而变化。当系统的变化较显著,并且人们也关心这种变化过程时,系统就是动态系统。例如,建筑配件厂的产品生产和销售问题。市场对这种产品的需求量是随时变化的。该厂的管理人员必须做好市场预测和生产规

划,保证及时供应,满足市场上的需要;另一方面,要尽量降低各时期的生产和存贮总费用。这时管理人员就应该把生产存贮系统当做动态系统来处理。

人们研究系统的动态,目的是多方面的。首先,必须清楚地了解系统随时间的演变过程,了解系统状态随时间的变化规律。第二,在必要的时候根据系统的变化趋势,做出正确的决策,采取恰当的措施,使系统朝着人们希望的方向发展,优化系统的整体功能。

严格说来,所有的系统都是动态系统。当系统的变化不显著,或者人们不关心变化的过程,或者只关心某些特定时刻系统的属性、状态、功能以及系统各组成部分之间的关系时,系统可以被看做是静态系统。动态系统和静态系统之间没有不可逾越的鸿沟。研究动态系统的方法可应用在静态系统上,而动态系统往往可以在某个时刻“冻结”起来,用静态系统的研究方法处理。

现实系统不但多得难以计数,而且形态各异,千姿百态。人类对客观世界的认识是有限的,不可能用有限的几种分类穷尽所有的现实系统。但是人们在研究系统的数量方面时,常常将这些系统划分为线性和非线性系统、时变和时不变系统、连续和离散时间系统、确定和随机系统、模糊和明晰系统、控制和行为系统、动态和静态系统、平衡和不平衡系统,等等。

2. 系统的结构

系统的结构指组成系统的元素、元素的组织方式及其相互间联系和影响的方式。

任何系统都有一定的结构。系统的结构决定着系统的功能和效率。尽人皆知的例子是石墨和金刚石。它们同是由碳原子组成,但性质、功能和价值却迥然不同。

建筑公司可以有多种组织结构。图 1.2 是目前多数国有建筑公司的组织形式,叫矩阵式。图 1.4 是 80 年代以前我国城市型建筑公司采用的形式。图 1.4(a) 是多数国有大中型施工企业的组织形式,叫直线职能式;图 1.4(b) 是多数小型施工企业的结构。由于这两种形式不能适应市场经济体制,已被图 1.2 的矩阵式所取代。一般来讲,矩阵式更能适应环境的变化,更能有效地利用公司资源。

图 1.4

以前,大多数建筑施工企业都有终身雇用的现场作业工人。公司内,技术人员、管理人员、技术工人、非技术工人,各种人员一应俱全,队伍十分庞大。拥有万人以上职工的施工企业多得很,不足为奇。不管有没有施工任务,职工都不能离开自己的企业,不能流动。这样的制度一方面造成了人力的巨大浪费,另一方面又抑制了人们的进取心。如今,经过十几年的改革和调整,全国施工企业已经完成了改组过程。根据不同情况改组成了总承包、施工总承包、施工承包、施工作业、劳务承包和专业承包几种类型的企业。在用工制度上,废除了固定用工

制,实行了全员合同制。新的行业结构有利于人力、物力的流动,增加了灵活性。建筑业整个行业可以根据建设任务在时间和空间上的变化,及时吐纳劳动力。另一方面,改革后的建筑业结构也有利于施工企业专业化,提高技术和管理水平。

系统的结构有的容易识别,便于用语言、图形或数学符号表示,有的则不易。容易表示的,叫结构化好的系统,不易表示的叫结构化不好的系统。

系统结构一般是随时而变的。但是这种变化一般很缓慢,具有稳定性。

系统结构往往还具有层次性。层次性指组成系统的各部分本身也具有一定的结构。一个建设项目可以由多个单项工程组成。单项工程又由单位工程组成,单位工程可以划分为多个分部工程,而分部工程进一步划分成分项工程。像建设项目这样从上到下的逐级划分,叫项目或工作结构分解。了解系统结构的层次性有助于认识和把握系统的整体结构。

系统结构还常常呈现某种自相似性。自相似性指系统局部的结构同系统整体结构相似。大自然中的自相似现象不胜枚举。人们天天见到的树木具有典型的自相似性。电脑中的文件管理系统就是树结构,子目录的结构与根目录结构相似,也是树;孙目录的结构与子目录结构相似,还是树,……。军队系统的结构也具有自相似性。施工进度网络图也具有自相似性,子网络类似于总体网络。

城市街道系统也具有自相似性。北京市城区整体街道系统呈棋盘状;下属各市区,如东城、西城、宣武等区的街道系统还呈棋盘状。

认识系统的自相似性意义重大。在系统分析、设计和表示时,利用自相似性可使工作大大简化。

3. 系统的基本特征

从人造或复合系统存在的条件、本来的目的、要实现的功能来看,系统应具备下面的几种性质。

(1) 集合性

系统的集合性有多方面含义。系统要由两个或多个元素构成才能完成某些特定的功能。建筑物的结构系统要承受铅垂和水平方向的静、动荷载,必须要有地基、基础、墙、柱、梁、楼板、屋盖等构件组合起来,才能完成它的结构功能。

系统集合性第二方面的含义是,系统的整体功能是各组成元素功能的综合,而不是简单加和。整体功能与各组成部分的功能有质的差别。例如,工程项目管理系统包括有形和无形两个部分。工程项目管理人员、办公场地、电脑等等是有形部分;管理人员的经验、规章制度、管理技术和方法等等是无形部分。这两部分只有通过工程项目管理实践结合起来才能真正实施对项目的管理。整体功能大于部分功能之和,是系统的集合性。

集合性的第三方面含义即系统要有一定的结构。系统各组成部分要按一定方式组织起来,无组织不成系统,不成系统则无法发挥各组成部分的作用。各组成部分离开了系统整体则什么也不是。

集合性第四方面的含义是,系统整体功能由各组成部分的功能综合而成,各组成部分不一定个个最优,但一旦构成系统就能发挥出色的作用。反之,系统各种元素个个最优,结合在一起却不一定能发挥良好作用。混凝土抗压能力强,又便宜,但抗拉能力极差;钢筋抗拉能力强,但由于细长不能承受很大压力,而且还怕锈蚀。但是这两者结合起来,做成钢筋混凝土

梁,就能承受外荷载造成的巨大弯曲作用,其效果远远优于混凝土和钢筋单独作用时的效果。一个设计院,如果个个都有博士学位,都是身体健壮的男性高级工程师,则设计院一定办不好。因为设计院的工作多种多样,分析、计算、设计、绘图、后勤、营销、行政管理,等等。其中许多工作,初中、高中、中专毕业生就能胜任。高级工程师干这些工作,浪费人才,且心生怨言,相互间不服气,涣散人心,不利于团结。相反,设计院中各种学历、技术能力、经验、性别,甚至各种性格的人搭配在一起,使他们学以致用,充分发挥各自的特长,就能使多数人心情舒畅,把全院的工作做好。

(2) 关联性

系统的关联性指各组成部分相互联系、相互依赖、相互制约、相互补充等。系统任何一部分状态发生变化,都会影响其它部分、甚至系统总体的状态和性能。系统某个部分数量上的减少可能会提高系统整体的功能。当各组成部分在数量上达到某种比例时,系统整体功能才有可能达到最佳状态。

例如,单层厂房排架结构的纵向柱间支撑系统一般由型钢和钢筋混凝土柱组成,其计算简图见图 1.5。柱间钢支撑的功能之一是抵抗沿纵向作用的水平地震荷载。初看起来,钢支撑构件横断面越大越好。实际上,横断面大了,柱间支撑的刚度增大,因而引起的地震荷载也大。因断面增大而增加的抵抗力跟不上地震荷载的增加。只有钢支撑各构件横断面达到某一比例时,钢支撑抵抗力的增加才能跟上地震荷载的增加。

系统的关联性还体现在某组成部分的改善可大大改善整个系统的性能。例如钢筋混凝土模板工程的改善可以大大节约人力和材料。如果模板工程能够使现浇钢筋混凝土墙、柱、梁、板的表面平整、密实、光滑,就可以省去这些构件表面的抹灰工程,从而节约大量人工和材料及其运输、堆放保管费。抹灰省去后,建筑物自重就可以减轻,从而减少承重构件的尺寸;承重构件尺寸减小后,又进一步减轻了建筑物重量。重量减少之后,地震荷载也可减少。此外,抹灰工程减少后,建筑工人的工作条件也极大地得到改善。

图 1.5

有时候,系统各组成部分虽然都无问题,但若彼此之间关系不协调,也会损害系统的整体功能。

(3) 目的性

人类活动形成的系统都有一定的目的或目标。有的只有一种目标,有的有多种。系统的目的性既是建立系统的依据,又是评价系统性能的基准。

(4) 环境适应性

系统不是孤立的,任何系统都存在于特定环境之中。环境发生了变化,必然要影响到系统。在外部环境发生变化时,系统能够调整内部各组成部分之间的关系,在改变了的环境中继续维持下去的能力叫环境适应性。环境适应性可以分为被动适应和主动适应两种情况。被动适应指环境发生变化后,系统才调整内部关系或结构以适应变化了的环境。主动适应的系

统一般都有预测能力,系统不断监视外部环境,捕捉变化的信息,从中发现环境的发展趋势。

被动适应和主动适应都要求系统结构有应变能力。开放程度高、同外部环境联系广,不专门依赖特定资源的系统环境适应性强。一个系统要提高环境适应性,必须开辟新的资源,避免同其它系统争夺即将饱和的活动空间或即将耗尽的资源。

(5) 节省性

人类在建造系统时,总是力图付出尽可能少的代价,获得尽可能多的收益。

地球表面上的道路系统,从林间小径到通衢大道,一般都是联结人类栖居地点的最短路。当我们从高空向地面俯瞰时,大地上的道路竟是那样笔直,若无天然障碍,决不弯曲。再看桥梁和水坝,若无特殊要求,人们总是找江河最窄处架桥、筑坝。人类定居,总是找植被茂盛、交通便利之处。在北方农村,房屋朝向总是选择冬季全天日照时间最长的角度。屋顶大梁总是沿着房屋平面最短的方向架设。

节省性在人造系统中还体现为“因势利导、因地制宜、综合利用”。因势利导,就是巧借大自然赋予的天时与地利,为人类所用;因地制宜,就是根据不同空间的具体情况,规定最适宜的办法;综合利用,就是发挥各种资源的作用,减少利用中的浪费。

集合性、关联性、目的性、环境适应性和节省性不单单是人造或复合系统具备的性质,天然系统也具有这些性质。天然系统的这些性质是在自然力的长期作用下,通过自然选择而形成的。适者生存,不适者淘汰。正是基于这种认识,人类才师法自然,希望人造系统也具备这些性质。今人赞叹古人的,实际上是古人对大自然和人类自身的深刻理解,是古人对自然和社会规律的顺应。

(6) 有限性

系统的有限性表现在时空两个方面。在时间上,一个具体系统不能永远存在下去。随着时间的推移,系统内部机制逐渐僵硬、老化,丧失了从外部环境吸收物质、能量和信息的能力;或者系统赖以生存的外部资源枯竭,这时候系统要么走向灭亡,要么必须改变自身的内部结构,寻找新的资源,将自身改造成新的系统。

在空间上,具体系统的规模不能无限扩大,其发展总有一个限度。具体系统在生存发展过程中往往要同其它系统争夺资源,地球上的资源是有限的,因此一个系统的发展往往要以其它系统的衰败为代价。

1.2 系统方法和系统工程

1. 系统方法

在系统的规划、设计、建造、改造、使用和管理中必须遵循一定的原则,采取一定的方法。一般来讲,人们在处理系统问题时,可以有多种方法。而从系统整体出发,对系统内部和外部环境之间的关系进行综合,不拘泥于局部的得失,找出对于全局最有利的方案的方法就是系统方法。

宋代沈括在《梦溪笔谈》中介绍了一个建筑工程管理“一举而三役济”的例子。宋真宗大中祥符年间,京城汴梁(今河南开封)发生火灾,皇宫烧毁。灾后,命大臣丁渭主持皇宫修复工作。这项工作被认为是耗资巨大、旷日持久的工程,许多人认为难以完成。可是丁渭欣然领命。“患取土远”而首先下令在宫前掘沟取土烧砖,土足而沟成。接着,又下令将汴水引入沟

内,成一渠。利用“竹木筏和船”运输木、竹、灰、石等建筑材料“入至宫门”。皇宫修复后,又将瓦砾灰壤复填入沟,“使复为街衢”。结果,不仅“省费以万亿计”,而且还大大加快了工程进度。丁渭这一箭三雕的修复方案至今为人们所称道。丁渭高明之处,就在于他没有把挖土烧砖制瓦、运输建筑材料和清除瓦砾灰壤这三件事孤立起来,分别处理,而是找出三者之间的联系,将其做为一个整体来综合解决。丁渭的方法中蕴涵着系统观念,是一种系统方法。

战国时期秦国太守李冰父子主持修建了四川岷江上的水利工程——都江堰。该工程恰在内、外江分流之处。都江堰建成前,岷江经常泛滥成灾,使成都平原民不聊生。李冰父子在总结前人对此处地势、山势与水势的观察而得到的自然启示下,因势利导,修成了由“鱼嘴”、“飞沙堰”和“宝瓶口”三大工程组成的都江堰渠首工程系统。这三项工程配合巧妙,具有分洪、灌溉的综合功能。当夏季洪水来时,“鱼嘴”将上游来的洪水大部分分到外江,进入内江多余的水再由“飞沙堰”第二次分洪,排入外江。由于江水在到达“宝瓶口”之前的回流运动,江水中夹带的泥沙通过“飞沙堰”排入外江。高狭的“宝瓶口”对多余的洪水具有第三次遏制作用。枯水期时,又利用竹笼、杓槎将岷江水大部分引入内江,满足成都灌溉之需。此外,在两千多年的使用过程中,还总结了“深淘滩、低作堰”的维修准则,沿用至今。都江堰的建成使两千多年前“江水荡潏、蜀人几为鱼”的川西苦海变得富甲天下,成为举世闻名的天府之国。

人类社会的发展不断造成新的社会分工,社会分工有利于人们精神专注、积累经验、提高技艺,进而提高劳动生产率,推动经济和社会的发展。到了近代,特别是现代,社会分工已达到了十分精细的程度。社会分工也有消极的一面。大多数人长期局限于自己的行业、工种、专业和学科领域,在思想方法上久而久之养成了某种片面性。他们在处理问题时容易只看局部不看整体,只见树木,不见森林。由于他们的工作责任只限于他们熟悉的学科、专业、工种和岗位,缺乏对系统其它方面、其它部分的了解,看不到他们所从事的工作同其它专业、工种以及系统整体和外部环境的关系。

在精细的社会分工条件下,一种产品、一项任务、一个项目、一个系统被分解成许多小的部分,分别由不同的人完成,然后再汇集、组装起来。汇集和组装本身也是一种专业。在这种条件下,人们对系统精于分析,疏于综合。

系统方法则是从系统整体目标出发,对系统进行分析,分析的目的是综合。系统方法是既见树木、又见森林,着重系统的整体效果,不计较个别组成元素的优劣,有时甚至牺牲局部和眼前的利益换取系统整体和长远的利益。系统方法在处理问题时特别注意由于分工而被忽略的方面,协调各组成部分之间由于分工而造成的矛盾和冲突。

系统方法不但注重系统各部分之间、系统与环境之间互相依赖、互相制约的质的方面,而且十分重视量的方面。系统方法研究问题总是定性与定量相结合,借助数学工具描述系统的状态,研究系统的行为,多方面比较各种可行的系统方案,进行必要的计算,根据比较和计算,选择最佳方案。系统方法克服了单凭经验、甚至主观愿望处理问题的盲目性。

2. 系统工程

系统观和系统方法,古已有之。我们现在要学习的系统工程则是第二次世界大战期间及以后的40年代才形成的一门新学科领域。这门学科诞生于20世纪30年代。首先是贝尔电话公司的工程师们在设计巨大项目时,感到采用传统的分析方法不能满足要求,从而提出了系统概念、系统思想和系统方法这类术语,于1940年首创了系统工程学这个名词。他们在研

制美国微波通讯网络时,按照时间顺序把研制工作分为规划、研究、制造等几个阶段,取得了良好效果。从40年代开始,系统工程在工程设计管理和军事国防系统中的运用,取得了卓越成就,充分显示了它对解决复杂系统问题的效力。1942年,美国研制原子弹的曼哈顿计划,规模庞大,技术复杂,耗费惊人,时间紧迫。如何合理地组织,以最少的人力、物力和资金,最有效地完成研制任务就成了一个难题。这个难题为系统工程提供了实践机会。1958年美国又着手另一个大型项目,研制“北极星潜艇导弹”。全国以各种方式参与这项研制任务的企业、大学、科研机构多达一万家。对这种大规模的研制项目要能够进行严格的控制,科学的管理,仅凭少数几个人的经验和组织工作是不行的。必须要有一种系统的计划管理手段。专家们经过研究,提出了体现系统工程方法的计划评审技术(PERT)。PERT的采用,大大提高了组织管理的科学性,使“北极星”的研制提前两年完成,并节约了大量资金。从此,系统工程进入了管理领域。50年代,美国被苏联第一颗人造卫星的发射所震惊,急于在太空技术方面赶上苏联。60年代美国航空航天局(NASA)着手阿波罗登月计划。阿波罗计划庞大而复杂,仅载人登月舱和运载火箭的零部件就有700万个,参加研制的公司2万多家,大学和实验室120多所,动员科学家、工程技术人员、工人和军人达42万人,耗资300亿美元,历时11年之久。该计划包括了大量科研、实验设计、试制、生产、装配等多方面工作,涉及了多种学科和工程技术。技术和组织管理极其复杂。1969年7月,阿波罗11号首次登月成功,第一次把人类平安地送上月球。系统工程在规划、组织、协调和控制阿波罗计划中发挥了关键性的作用。

3. 系统工程的特点

从认识论和方法论的角度来看,系统工程与系统方法一脉相承。

系统工程解决问题时奉行整体性和最优性原则,综合运用多种学科、多种专业的理论、技术和手段。

(1) 整体性原则

系统工程的整体性原则是基于对系统集成性、关联性和环境适应性的认识。系统工程处理问题时着眼点不是各个组成部分如何各自充分发挥作用,而是注重如何使整个系统更有效地运行;如何使各组成部分之间、系统与环境之间协调一致。我国古代就有许多贯彻系统工程整体性原则的例子。其中典型的有战国时代齐威王与大臣田忌赛马。军事家孙臆给田忌出主意,要他不以上、中、下三种马一对一地比赛,而是让他以下马对齐威王上马,再以上马、中马分别对齐威王的中、下两种马。结果田忌一负二胜,取得了全局胜利。在经营管理中贯彻整体性原则的例子更是不胜枚举。例如,在云南鲁布革水电站招标过程中,日本大成公司以低报价取得了承包权,在这一局部上,大成公司为自己中标后的管理增加了困难,承担了很大的风险。但在夺取承包权这个全局上是获胜了。至于由于报低价而失去的赢利机会全都在工程施工过程中通过各种办法弥补回来。相比之下,其他投标者,斤斤计较于报价上的得失,结果永远地丢掉了所有获胜的机会。

再一个最近的例子。江西省赣江多少年来水中泥沙含量不断增加,淤了航道,减少了鱼类,江水难以饮用。同时赣水上游山区人民长期生活在贫困之中,原因是水土流失,土地瘠薄,种而无收。江西人民在长期调查研究的基础上,弄清了水浑、贫穷、鱼少三者之间的关系,没有将三者分开来处理,而是提出了综合性的“山江河”工程,治山、治坡、治水、治穷,干了10年,使得山绿了,水土流失少了,江水由浑变清,鄱阳湖中鱼多了,山区人民告别了贫困。

(2) 最优性原则

最优性原则是基于对系统节省性和目的性的认识,有两重含义。一是要求系统整体功能和产出最大,付出的代价和投入的资源最少,尽可能完美地实现系统的目标。二是系统工程总是建立数学或其它模型,利用电子计算机对各种可行方案的代价、收益进行分析、计算和比较,从中选择最优者实行之。

(3) 系统工程的综合性

系统工程研究的系统大多因素复杂,规模庞大。必须综合考虑系统的组织、结构、机理技术、经济甚至社会、政治、法律制度等多个方面。因此系统工程运用多种学科、技术和专业的理论、原则和方法来解决系统的问题,是跨专业、跨学科的新学科。

例如,城市住宅系统涉及城市规划、建筑艺术、建筑材料、园林绿化、建筑经济、生态环境、环境工程、施工技术、土地制度、国民收入分配、历史、心理、生理、民俗、宗教许多方面。城市住宅系统的建立、维护、管理和改造一直是敏感的社会经济问题,各国政府历来十分重视。

系统工程的综合性有别于其它学科和技术领域的综合性。一般来讲,工程技术和其它专业人员在处理技术、社会和经济问题时也要综合运用数学、力学、材料、经济、艺术各方面的知识。但是这种综合性一般限于系统的某些侧面,较少顾及系统的全局和整体。例如建筑师,在思考某个办公楼的设计方案时,要考虑建筑物的功能、气候、地质、地形、交通、造价、建筑材料、构配件、施工技术、消防、疏散、排水、建筑艺术等诸多方面,要运用建筑艺术、建筑史、结构力学、建筑材料等多方面知识。但是他或她很少顾及该建筑物的资金筹集、施工组织和实施、建设周期、建成后的使用、管理、建设资金的回收等等关系到该办公楼能否实现其本来目的等重大问题。

4. 系统工程的基础理论和手段

系统工程解决系统问题时不但需要综合运用多种学科和工程技术,而且还有自己独特的基础理论。除了前面介绍的系统方法之外,还有运筹学、控制论、信息论和管理科学。电子计算机是实施系统工程的工具和手段。

运筹学。运筹学是运用多种数学方法使系统的规划、设计方案达到最优的一门科学。运筹学做为学科名称出现在 20 世纪 30 年代末。运筹学被看做是系统工程的前奏曲。运筹学处理问题时与系统工程本身很相似。有人认为系统工程侧重于系统战略性的全局问题,而运筹学则侧重于系统的战术性的具体问题。系统工程着重于分析、规划、设计和控制未来系统,而运筹学则着重计算、比较已存在的系统或系统工程确定了了的系统设计方案。运筹学的形成和发展对系统工程的形成具有决定性作用,因此,至今仍有人认为不必将运筹学和系统工程严格分开。

运筹学最早发端于军事方面。早在二次世界大战期间英美等国利用运筹学有效地解决了军事上的许多问题。二次大战后,运筹学被广泛地应用在社会经济、科学研究和经营管理的许多方面,取得了很大成功,并得到了飞速发展。目前运筹学已有许多分支,如数学规划、图论、网络分析、排队论、存储论、对策论、决策论、搜索论、可靠性理论等等。正是借助这些数学分支,人们才有可能对系统进行定量分析和计算。因此,运筹学是系统工程的数学基础。

人们在规划、设计、建立和运用系统时,总要受到资源方面的限制,如人力、物力、资金和时间等。如何充分利用有限资源达到最好的效果,或者为了达到既定的目标,如何节省有限