

建筑系统工程

肖维品 主编

重庆大学出版社

级工程师、重庆市第三建筑工程公司吴正方高级工程师、重庆市第四建筑工程公司顾志强高级工程师、重庆市第八建筑工程公司舒华彬高级工程师、重庆市住宅公司罗永丰高级工程师、重庆市第二工业设备安装公司贺启进高级工程师、南充地区房地产开发公司蒲元平高级工程师、重庆市房屋开发公司武维陵高级工程师、四川省第一煤炭建筑安装公司邱忠信高级工程师、四川省第三煤炭建筑安装公司金承刚高级工程师、铁二局设计院二分院马镕善高级工程师、十八冶金建设工程公司黄远超高级经济师、重庆市第九建筑工程公司熊高国高级经济师、重庆市工程建设总公司刘成汉高级工程师、广西北海市建委黄汝夫高级工程师、宜宾市城市建设综合开发公司李方清高级工程师等单位领导和专家们，以及重庆建筑工程学院有关院系领导对本书的出版、发行给以的大力支持表示衷心的感谢。

借此机会，作者向重庆大学出版社、重庆建筑工程学院印刷厂对本书出版、印刷和发行工作所付出的辛勤劳动和热情支持表示衷心感谢。同时，作者还要感谢重庆建筑工程学院图书馆的有关同志对本书编著过程中所提供的热忱服务。

肖维品

1991年12月，于重庆

建筑系统工程

肖维品 主 编

责任编辑 杨世明

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店 经 销

重庆建筑工程学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 20.5 字数: 512 千

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

印数: 1—2500

标准书号: $\frac{\text{ISBN } 7-5624-0498-4}{\text{TU} \cdot 15}$ 定价: 10.50元

(川)新登字 020 号

前 言

自20世纪70年代,美国阿波罗飞船登月计划的成功,系统工程已得到了飞速的发展和广泛的应用。它已成为现代科学技术体系中管理系统规划、研制、设计、制造、使用和维护的一门综合性的学科。

现代工程建设的发展,引起了工程建设行政、规划、设计、施工、研究和教育等部门的领导、工程技术人员和管理人员的高度重视。在工程建设领域内如何突破传统的思维模式与传统的方法,代之以系统思想和系统方法,以推进现代工程建设规划、设计、施工和管理的理论与技术的发展,已是现代工程建设领域内急待解决的紧迫问题。

作者多年从事建筑系统工程的教學和研究工作,深刻地感到有必要逐步地形成具有工程建设特色的一类专门化的系统工程,以适应建筑工程和城市建设工程有关专业的研究生和本(专)科高年级学生的教学需要,以及作为工程技术人员和管理人員学习和应用系统工程时的参考。出于这种目的,作者在几年前已逐步地撰写了有关建筑系统工程的各种讲义,分别在研究生、本(专)科学生和干部培训的教學中使用,收到了良好的效果,极大地鼓舞了作者編著《建筑系统工程》的信心。本书正是基于已撰写的各种讲义的基础上,列入了作者在建筑系统工程研究中的较多成果,以及引进了有关专家的一些宝贵的成果和经验,經修改、完善、充实而成。由于这本书论述深入浅出,数据翔实,图文并茂,系统性、针对性和实用性都较强,为解决工程建设规划、设计、施工和经营管理中的大量的系統问题提出了若干有效方法,故本书取名为《建筑系统工程》。它在建筑系統开发的实践和建筑系统工程理论的研究中,仅仅起着抛砖引玉的作用,谬誤之处,在所难免,尚需同行专家和广大读者多加指正。

本书由五部分共21章组成。第一篇建筑系统工程导论(共4章);第二篇建筑系統规划与评价(共4章);第三篇建筑系統设计与控制(共5章);第四篇建筑工程施工系統管理(共4章);第五篇工程建设系统工程案例分析(共4章),本篇的案例分折可以作为有关篇章的具体实例。除此之外,在各篇章中还引入了大量的有关建筑规划、设计、施工和经营管理等方面的系統问题的研究成果,供读者学习和应用建筑系统工程时参考。由于各篇章具有相对的独立性、系统性,在教學实践中作适当的教學组织,即可以分別适用于对土木、城建、管理等有关专业的研究生、本(专)科学生和干部培训,学习系统工程课程的主要参考书或教學用书。

本书由肖维品主编。在修订过程中,緒论、第一、二、三、四、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五和十七章由肖维品执笔;第五、六、二十和二十一章由曹小琳执笔;第七、十六、十八和十九章由李世蓉执笔。全书插图由曹小琳同志绘制。歐文平同志参与了本书的校对工作。

作者对四川省系统工程学会工程建设专业委员会、重庆市建管局科技处张義处长、四川省攀枝花市建管局局长赵湘高级工程师、四川省建筑科学研究院张寬权高级工程师、西南交通大学管理系郭跃煌教授、中国建筑西南设计院汪颖富高级工程师、重庆建筑专科学校武育泰副教授、重庆市第一建筑工程公司卢国太高级工程师、重庆市第二建筑工程公司石玉郎高

目 录

绪 论	(1)
第一节 我国城市建设的任务	(1)
第二节 建筑工程与系统工程	(2)
第三节 建筑系统工程	(4)
第一篇 建筑系统工程导论	(6)
第一章 系统工程概述	(6)
第一节 系统概念	(6)
第二节 系统工程	(9)
第三节 系统分析	(15)
第二章 建筑系统目标分析	(18)
第一节 目标分析概述	(18)
第二节 多目标系统的分析方法	(20)
第三章 建筑系统结构分析	(26)
第一节 系统要素分析	(26)
第二节 系统相关性分析	(27)
第三节 系统整体性分析	(28)
第四节 系统功能分析	(28)
第五节 建筑系统结构分析举例	(32)
第四章 建筑系统环境分析	(34)
第一节 物理与技术环境分析	(35)
第二节 经济与经营管理环境分析	(35)
第三节 社会与生态环境分析	(36)
第四节 建筑系统环境分析举例	(37)
第二篇 建筑系统规划与评价	(39)
第五章 建筑系统预测	(39)
第一节 系统预测的概述	(39)
第二节 回归预测技术	(41)
第三节 确定时间序列预测技术	(55)
第四节 概率预测技术	(60)
第五节 预测数据处理与模型评价	(64)
第六章 建设项目可行性研究	(66)
第一节 建设项目的规划研究	(66)
第二节 建设项目可行性研究	(67)
第三节 项目费用与效益估算	(69)
第四节 财务评价与国民经济评价	(74)
第七章 建筑系统模糊评判法	(81)
第一节 模糊集合及其运算	(81)
第二节 模糊关系及其运算	(85)
第三节 模糊变换与模糊综合评判	(87)

第四节 建筑系统模糊综合评判举例·····	(89)
第八章 建筑系统综合评价法·····	(92)
第一节 综合评价的概述·····	(92)
第二节 评分法·····	(92)
第三节 技术经济价值法·····	(97)
第四节 层次分析法·····	(100)
第三篇 建筑系统设计与控制·····	(110)
第九章 工程设计问题的系统观·····	(110)
第一节 工程设计问题的系统特点·····	(110)
第二节 工程设计的基本系统问题·····	(111)
第三节 建筑工程设计的最优化·····	(114)
第四节 建筑工程设计的系统模型·····	(116)
第十章 城市与区域规划系统工程·····	(119)
第一节 城市与区域规划的系统思想·····	(120)
第二节 城市与区域经济发展规划的指标体系·····	(125)
第三节 结构功能分析——投入产出模型·····	(128)
第十一章 建筑静态系统优化设计·····	(134)
第一节 结构优化设计的基本问题·····	(134)
第二节 线性建筑静态系统设计与线性规划·····	(137)
第三节 非线性建筑静态系统设计与非线性规划·····	(143)
第十二章 建筑动态系统设计与控制·····	(150)
第一节 动态最优控制问题·····	(151)
第二节 泛函极值·····	(153)
第三节 建筑经济管理中的变分问题举例·····	(162)
第四节 动态系统的最优控制·····	(164)
第五节 建筑动态系统最优控制举例·····	(175)
第十三章 建筑系统可靠性设计与分析·····	(180)
第一节 可靠性的基本概念·····	(181)
第二节 系统可靠性分析·····	(189)
第三节 建筑系统可靠性分析举例·····	(206)
第四篇 建筑工程施工系统管理·····	(210)
第十四章 建筑工程施工系统管理的原理·····	(210)
第一节 建筑工程施工系统管理概述·····	(210)
第二节 建筑工程施工系统管理原则·····	(211)
第三节 建筑工程施工系统管理模型·····	(212)
第十五章 现代施工现场总体规划设计与管理·····	(214)
第一节 施工现场总体规划系统·····	(214)
第二节 施工现场总体规划系统基本要素的量化·····	(217)
第三节 施工现场总体规划系统要素的相关性分析·····	(226)
第四节 施工现场平面设施选址优化·····	(228)
第五节 施工现场线性设施选址优化·····	(232)
第六节 施工现场总体规划系统的综合评价·····	(234)

第十六章 工程计划的风险评估	(236)
第一节 工程施工计划管理系统	(236)
第二节 PERT网络计划的风险估计	(239)
第三节 GERT随机网络的基本原理	(242)
第四节 GERT随机网络的解析法	(246)
第五节 GERT网络在工程计划风险估计中的应用	(251)
第十七章 建筑工程全面质量管理的系统方法	(254)
第一节 全面质量管理体系	(254)
第二节 现代质量管理方法	(260)
第三节 全面质量管理评价	(266)
第五篇 工程建设系统工程案例分析	(271)
第十八章 大型土方工程机械化施工的系统分析	(271)
第一节 背景材料	(271)
第二节 土方平衡调配	(271)
第三节 土方机械配套与选择	(273)
第四节 技术经济评估	(279)
第十九章 城市供水项目开发评价	(280)
第一节 问题背景	(280)
第二节 项目的财务评价	(281)
第三节 项目的国民经济评价	(284)
第二十章 水资源规划的模型体系	(286)
第一节 水资源规划的多目标模型	(287)
第二节 灌溉规划模型	(290)
第三节 水质管理模型	(295)
第二十一章 工程建设项目投标决策模型及信息管理模式	(297)
第一节 工程建设项目投标决策系统结构	(297)
第二节 招揽任务及投标项目选择模型	(297)
第三节 工程项目估价模型	(299)
第四节 投标报价竞争模型	(301)
第五节 工程项目投标报价信息管理模式	(301)
附录	(302)
附表1 标准正态分布表	(302)
附表2 t 分布表	(304)
附表3 F 分布表	(305)
附表4 相关系数检验表	(305)
附表5 DW 检验表	(307)
附表6 随机数表	(310)
附表7 一次支付复利系数 ($F P, i, n$) 表	(311)
附表8 一次支付现值系数 ($P F, i, n$) 表	(313)
附表9 等额支付系列复利系数 ($F A, i, n$) 表	(315)
附表10 等额支付系列现值系数 ($P A, i, n$) 表	(317)
主要参考文献	(319)

绪 论

第一节 我国城市建设的任务

一、城市发展的展望

城市是社会、经济、文化发展的产物，是人类文明的结晶。

自第二次世界大战以后，由于资本主义社会的工业生产发生了巨大变化，城市作为政治、经济、军事、文化、人口和社会经济效益聚集中心的地位更加突出。城市的聚集作用促使了“城市化”的进程。据联合国1972年统计，全世界100万人口以上的特大城市，1950年只有75个，人口占世界总数的7%，到1985年发展到273个，人口占世界总数的16%。从1920年到1980年期间，居住在城市的人口由2.53亿增加到18.70亿，占世界总人口比例由13.5%增加到42.2%，到2000年大约有50%以上的世界人口将进入城市地区。

人口“城市化”促进了社会经济和文化的发展。从世界“城市化”的进程可以看出，城市人口所占的比重越大，人均国民生产总值也就愈高，城市人口占总人口一半以上的国家，人均国民生产总值比城市人口占总人口20%以下的国家高7—12倍。但是，人口“城市化”与国民经济发展极不平衡，造成贫富悬殊。据世界银行划分穷富国家经济实力的标准，按人口平均国民生产总值在200美元以下为最贫穷，在200—500美元为贫穷，在1000美元以下统称为不发达国家。根据这种划分标准，1977年世界上184个国家或地区中，一半以上是贫穷的，其中贫穷的国家或地区有39个，最贫穷的有21个，两部分之和有60个国家和地区，总人口数为22.7亿，占世界人口的56%。

在世界人口“城市化”的发展进程中，给世界各国的政治、社会、经济和文化带来了一系列难以克服的困难，形成了“城市病态”的出现与发展，诸如供应困难、就业困难、住房紧缺、基础设施落后、环境污染严重和交通堵塞等，随之将引起若干社会问题。这些问题突出地表现在城市危机、乡村衰落、空间结构失衡、城乡冲突日益激化等方面，严重地阻碍了整个社会经济的发展。

随着我国经济建设的发展，城市数量和城市人口数量也在逐年增加。据国家统计局公布的有关资料，1952年我国城市数目为157个，100万人口以上的特大城市全国仅有6个，城市人口占全国人口总数的12.5%。1978年我国城市数目为191个，100万人口以上的特大城市为10个，城市人口占全国人口总数的15.4%。但是，在10年经济改革期间，国民经济有了较大的增长，城市规模、数量和人口数量增长迅速。据1988年统计，全国有城市450个，其中100万人口以上的特大城市为28个，城市人口占总人口的28.5%。由此看出，我国城市发展和城市人口的聚集，在党的城市建设方针指导下，发展是比较均衡的、稳步的。即使是这样，由于城市建设投资和城市基础设施建设欠账过多，我国城市发展与国民经济发展仍不相适应，“城市病态”在不同城市有不同程度的表现。交通拥挤、住房困难、供水短缺、能源紧张、环境污染、就业困难等，已构成了我国大中城市较为严重的问题。

从系统观点来看，城市作为社会经济巨系统，只有当组成系统的各种要素及其子系统相

互协调，城市规模与国民经济发展相适应时，才有可能缓解“城市病态”蔓延，促使我国城市的健康发展。

二、我国城市建设的任务

我国城市建设同经济、文化等各项事业的发展一样，在1978年以前，经受了某些错误思想干扰，对城市在经济和社会发展中的地位和作用缺乏足够的认识，造成城市建设中的一些失误，加深了“城市病态”的发展，妨碍了城市综合效果的发挥。

在党的十一届三中全会以后，对城市建设已引起了足够重视。1980年10月召开了全国城市规划工作会议，提出了城市建设的基本方针是“控制大城市发展，合理发展中等城市，积极发展小城市”。在这一基本方针指导下，10年来已收到明显的效果，50万以上人口的大城市由1978年占全国城市总数的20.94%下降到1988年占全国城市总数的13.36%；20万人口以下的小城市由1978年占全国城市总数的48.2%上升到1988年占全国城市总数的61.3%。小城市的发展提高了城市投资的经济效果，缓解了人口向大中城市聚集的趋势；同时通过小城市的发展还带动了农村经济的发展，缓解了城乡矛盾的冲突。

我国在城市发展总方针的指导下，还制定了在一定时期内城市建设的具体方针，提出了城市建设的具体任务，即“统一规划，合理布局，综合开发，配套建设”。这一具体的城市建设方针是系统思想的深刻体现，对我国城市建设的发展有着深远的意义。

第二节 建筑工程与系统工程

一、现代建筑工程的发展趋势

建筑工程就其狭义的含义是指为人类提供居住和工作场所的建筑物和构筑物的规划、设计、施工和管理全过程的总称。

建筑工程就其广义的含义是指土木工程一大类的规划、设计、施工和管理全过程的总称，其中包括民用建筑工程、工业建筑工程、公共建筑工程，以及公路、铁路、桥梁、港口码头、城市基础设施、水利建设等中的一大类土木工程均可以列入广义的建筑工程范畴。

城市建筑工程是城市建设的主要对象和重要内容。随着国民经济和城市建设的发展，我国建筑工程的发展也出现了一些新特点，概括起来有如下几点：

第一、基本建设投资增长迅速。据统计，我国1982年基本建设总投资为555.53亿元，到1988年基本建设总投资为1574.31亿元，年平均增长率为9.05%。

第二、建筑施工企业发展迅速。据统计，1980年我国建筑施工企业总数为57404个，其中全民所有制企业1996个，城镇集体所有制企业4608个，农村建筑队50800个，到1988年，我国建筑施工企业总数为87224个，其中全民所有制企业3798个，集体所有制企业10336个，农村建筑队73090个。建筑施工企业总人数1980年为982.7万人，到1988年，我国建筑施工企业总人数为1889.4万人。

第三、工程规模浩大。工程建设规模是指工程投资规模、重点工程建设规模、资源消耗规模，以及规模宏大的高层建筑尤如雨后春笋般地拔地而起。据统计，我国重点建设的大中型工程项目投资：“一五”计划期间为492.18亿元，“二五”计划期间为861.82亿元，“三五”计划期间为680.13亿元，“四五”计划期间为1082.24亿元，“五五”计划期间为1747.31亿元，“六五”计划期间为2516.02亿元，“七五”计划中的1988年为1084.70亿

元；大中型工程项目数量：“一五”计划期间为595项，“二五”计划期间为581项，“三五”计划期间为748项，“四五”计划期间为742项，“五五”计划期间为515项，“六五”计划期间为520项，“七五”计划中的1988年为121项。我国高层建筑在80年代以前发展极其缓慢，但在80年代以后，很多大中城市都建造了为数众多的高层建筑，如北京市的京广大厦，层数为53层，高为208米，成为全国第一幢最高的钢结构建筑；又如，广州国际大厦，层数为62层，高为196米，成为全国最高的钢筋混凝土建筑。高等级的高层建筑的建设，将促使防火、防盗、交通、水电、装饰、环保等工程的复杂化、大型化。

第四、工程结构和功能复杂，技术质量要求高。现代建筑工程具有优美的建筑造型、复杂的工程结构、高水平的室内外装饰、多功能的配套设施等，对建筑工程规划、设计、施工和管理都有着严格的技术质量要求。因此，现代建筑工程建设是集多种科学技术和艺术的结晶。

第五、建筑工程正朝着生产经营一体化方向发生。从事现代建筑工程建设的施工企业，不仅是工程施工的组织者，而且还面临建筑市场的严峻竞争，使当今的施工企业正在成为生产——经营——一体化的组织者。

综上所述，现代建筑工程正沿着高（技术质量要求高）、大（工程规模大）、全（功能、结构、配套设施复杂）的多极方向发展。因此，对建筑规划、设计、施工和经营管理的要求愈来愈高，这就激励着广大工程技术人员和管理人员去寻求一种新的思想和新的技术方法，以适应组织现代大型建筑工程的规划、设计、施工和经营管理的需要。系统思想和系统方法对组织现代建筑工程开发，全面提高建筑工程规划、设计、施工和经营管理的效益，其中包括建筑实用效益、审美效益、经济效益、安全度效益、社会效益、环境效益等，以及对现代建筑创作和建筑科学理论研究突破传统思想的思维模式和工作方法都有着重大的现实意义。

二、系统工程

系统思想的产生和发展来源于社会实践。在远古时代就有着系统思想的萌芽。但是，系统工程作为一门综合性的科学技术而诞生，是在第二次世界大战期间及其以后才开始逐渐形成的。现在它已成为现代科学技术发展史上的一束灿烂之花。

系统工程原理和方法目前在建筑工程领域内的应用尚不够普及，但从所获得的成果看，系统工程在建筑工程中的应用有着广阔的前景，其原因可以概括为下述几个方面：

第一、建筑与国民经济各部门有着密切的联系。国民经济各部门的兴旺发达必然会促使建筑业的发展。国民经济作为建筑业经营和建筑产品生产的外部条件，极大地影响着建筑业的生产经营过程。要搞清楚各种影响因素及其影响程度，必须深入地研究系统与环境的各种复杂关系，就离不开应用系统工程原理及其方法。

第二、无论对何种形式的建筑工程，按其发展的全过程可以划分为资金筹集与工程投资阶段；工程规划与设计阶段；工程施工阶段；工程竣工验收阶段；工程投入使用及其维修更新阶段。在建筑工程发展的任一阶段中，都存在着若干系统问题需要加以研究，为系统工程在建筑工程中的应用提供了广泛的研究对象。

第三、由于现代建筑工程正在朝着“高”、“大”、“全”多极方向发展，特别是对那些大型现代建筑工程项目和那些大型建筑施工企业，其系统结构的复杂性、系统功能的多样性和系统环境的可变性均不亚于大型工业项目和工业企业。因此，对大型现代建筑工程项目

的规划、设计、施工和管理,以及对大型施工企业生产经营活动都离不开系统思想和系统方法。

第四、建筑施工企业正面临着建筑市场竞争的挑战,企业要生存,要发展,必须加强自身的素质建设,其中包括人材素质、技术素质、装备素质、管理素质建设等。由于企业经营环境的错综复杂,要提高这些素质,其中仍存在着若干需要加以研究的系统工程问题。

由上述分析,无论从建筑工程投资、规划、设计和施工,到建筑施工企业生产经营的全过程,都存在着大量的系统问题需要研究,需要解决。因此,系统工程作为建筑工程投资、规划、设计、施工和管理研究的一门综合技术是十分必要的。

第三节 建筑系统工程

一、基本概念

建筑系统实质上是指从广义建筑工程含义所包含的建筑工程系统、建筑规划设计系统、建筑施工企业生产经营管理系统和建筑行政管理系统的总称。

建筑系统工程是应用系统工程的原理和方法来研究建筑系统规划、设计、施工、管理等各方面出现的系统工程问题,是对建筑系统开发全过程的研究。其目的是以最少投入来获取建筑系统规划、设计、施工、管理等的最佳效果,其中包括经济、财务、安全、质量、审美、功能、环境和社会诸方面的效果。

二、建筑系统工程特点

建筑系统工程是一门综合性的建筑科学技术。从它研究的对象、目的、内容、方法等方面与传统的建筑科学技术既相联系,又相区别。其联系就是建筑系统工程在研究建筑系统时,根据研究对象、目的和内容的不同要求,需要应用有关建筑科学技术的学科知识,如规划技术、设计技术、施工技术,以及建筑经济与管理知识和其他有关建筑科学技术的学科知识。其主要区别表现在下述几方面:

第一、建筑系统工程是以建筑系统整体为研究对象,是对系统发展的全过程的研究。

第二、建筑系统工程是以系统整体效益为目标,局部服从整体。

第三、建筑系统工程是从系统角度来看待和处理工程问题。它是采用软硬科学技术相结合的方法论,而不是追求某种单一的技术方法。

第四、建筑系统工程使用定量分析与定性分析相结合的研究手段,通过建立系统模型,应用系统优化方法和计算机技术来获得研究对象的最佳结果。

第五、建筑系统工程除有自身的研究方法外,还要应用有关的自然科学和社会科学的知识。

三、建筑系统工程研究的主要内容

概括地说,建筑系统工程是以广义建筑工程范畴内的有关系统工程问题为其研究的主要内容,其中包括建筑规划系统工程、建筑设计系统工程、建筑工程项目施工系统工程、建筑企业经营管理系统工程和建筑行政管理系统工程。研究的主要问题可以归纳为下述几个方面:

第一、建筑系统投资前期研究,包括系统预测、系统规划、系统可行性研究等;

第二、建筑工程设计系统研究及系统管理;

第三、建筑工程施工系统管理研究;

第四、建筑系统运行机制研究；

第五、建筑系统环境研究；

第六、建筑系统防灾系统工程；

第七、建筑施工企业生产经营管理系统研究；

第八、建筑行政管理系统研究；

第九、建筑系统工程科学理论研究，包括评价技术、优化技术、决策技术、控制技术等方面。

四、建筑系统工程理论体系

建筑系统工程的基本理论是系统科学，包括系统论、运筹学、控制论、信息论、模糊数学等。建筑系统工程的技术理论是建筑科学技术，包括建筑规划、建筑设计、建筑材料、建筑机械、建筑经济等学科技术。除此以外，有关自然科学和社会科学知识，以及计算机技术也是建筑系统工程必备的科学技术理论。因此建筑系统工程是社会科学、自然科学、系统科学、建筑科学技术和计算机科学技术等的多种学科知识的综合，它是一门研究建筑系统的综合性学科。

第一篇 建筑系统工程导论

第一章 系统工程概述

第一节 系统概念

一、什么叫系统

系统一词是人们日常生活中最熟悉、应用最广泛的一种词语，如城市系统、城市建设系统、建筑系统、经济系统、科技系统、教育系统、社会系统等。但是，人们对系统的认识经历了一段漫长的发展过程。自系统工程与系统科学问世后，系统一词才具有一定的科学含义。

目前，对系统的科学定义从文字上虽有各种描述，但对其认识已逐渐趋于统一。一种比较普遍的系统定义是“系统是指由两个或两个以上相互区别、相互联系、相互制约的要素所组成的一种具有确定功能的有机综合体。”

因此，在对系统进行科学定义时，必须包含下述 5 个方面的内容：

- 第一、要素：是组成系统的基本单元；
- 第二、结构：是表明要素的相关关系；
- 第三、功能：是建立系统的目的；
- 第四、行为：是实现系统目标所产生的活动；
- 第五、环境：是系统行为的外部制约条件。

任何一种系统都可以划分出若干更小的系统，称为子系统（或分系统），反之，任何一个系统都有可能隶属于一个更大的系统。例如，城市建设系统是一种复杂系统，如果人们从不同角度去研究城市建设系统，该系统可以划分为城市投资系统、主体建设系统、附属设施建设系统、基础设施建设系统和城市建设管理系统等子系统。而每一个子系统还可继续细分成更小的子系统，如城市主体建设系统可以分成工业建设、商业建设、文教建设、科技建设等。但是，城市建设系统隶属于城市社会经济这个更大的系统。

二、系统的特征

建筑系统是一种人造系统，除具有自身的特点外，还具有一般人造系统的共同特征。下面将介绍系统的一般特征。

1. 集合性

系统的集合性由组成系统要素的总体（称为要素集）表示，可记为

$$X = \{x_i | x_i \in X, i = 1, 2, \dots, n, n \geq 2\} \quad (1-1-1)$$

式中 X ——要素集；

x_i ——某一要素或子系统；

n ——要素的数目。

例如，城市污水处理工艺系统，如图1-1-1所示，其中 x_1 为泵站， x_2 为筛滤， x_3 为沉砂， x_4 为初沉， x_5 为曝气池， x_6 为二沉， x_7 为消毒， x_8 为泥井， x_9 为污泥浓缩， x_{10} 为污泥消化， x_{11} 为污泥脱水，则城市污水处理工艺系统要素集可表示为

$$X = \{x_i | x_i \in X, i = 1, 2, \dots, 11\}$$

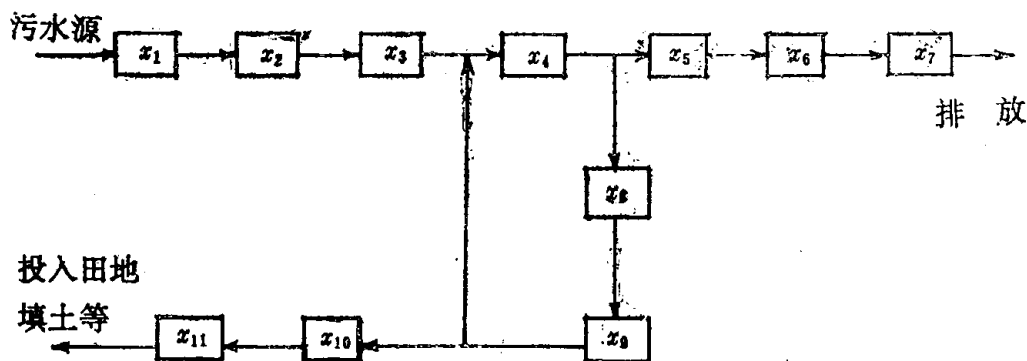


图1-1-1 城市污水处理工艺系统图

2. 相关性

相关性是表示系统要素之间的相互关系，是揭示系统具有结构性的重要特性。图1-1-1箭线表明城市污水处理工艺系统组成要素之间的相关关系。这类有向图称为系统结构图，简称为系统图。

系统的相关性可以表示为

$$x_i R x_j \quad \text{或} \quad x_j R x_i \quad i \neq j \quad (1-1-2)$$

或者

$$x_i = R(x_j) \quad \text{或} \quad x_j = R(x_i) \quad i \neq j \quad (1-1-3)$$

式中 R ——表示要素 x_i 与 x_j 之间的某种相关关系，也是一种映射关系。

3. 目的性

目的性是系统具有特定功能的表示，是设计或改造系统的目标。系统的目标可以用一个或多个指标表示，组成系统的目标集。只具有一个目标的系统称为单目标系统，具有两个或两个以上目标的系统称为多目标系统。系统目标可以分为总目标和分目标，组成的目标集可以表示为

$$G = \{g_i | g_i \in G, i = 1, 2, \dots, p, p \geq 1\} \quad (1-1-4)$$

式中 G ——系统的总目标，

g_i ——第 i 个分目标，

p ——分目标的数目。

4. 阶层性

阶层性是系统相关性的一种特殊属性。由于系统具有阶层性，才有可能把一种复杂系统分解成若干个子系统（或分系统）加以研究。

系统的阶层性具有三种基本关系，即

领属关系：支配要素通过各种控制手段对下属要素（称为被支配要素或执行要素）起作用。

从属关系：表示下层要素从属于上层某一要素。

相互作用关系：表示要素之间存在着一定的物质、能量和信息的相互交换。

图1-1-2表示北京市制定政治体制改革对城市建设管理体制改革的初拟方案之一。这种系统图具有鲜明的层次结构，又称为系统层次结构图。

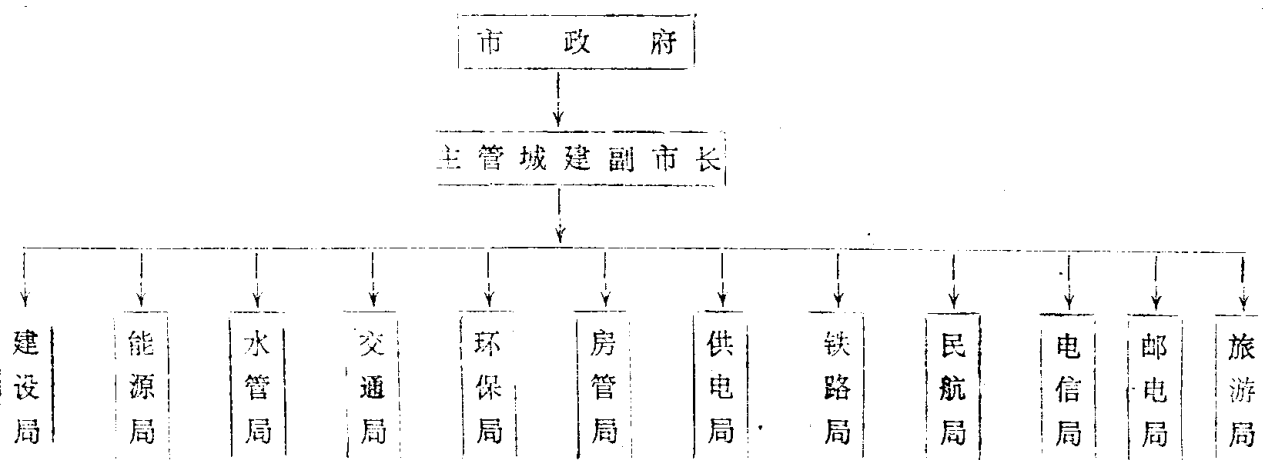


图1-1-2 北京市城市建设管理系统

5. 整体性

整体性是指组成系统的，且具有独立功能的各种要素之间的相关性和阶层性在系统整体上进行逻辑统一和协调。因此，整体性是从协调侧面来说明集合性、目的性、相关性和阶层性的特征。对系统整体性的研究是在保证系统总目标的前提下，使系统要素集（ X ）、相关集（ R ）和阶层集（ C ）的总体结合效果最大，即

$$E^* = \max_{P \cdot G} P(X, R, C) \quad (1-1-5)$$

式中 E^* ——系统最大整体结合效果；

$P(X, R, C)$ ——整体结合效果函数；

G ——系统的总目标。

6. 环境适应性

任何一个系统，无论其复杂程度如何，都存在于一定的环境之中，系统与环境之间存在着一定的物质、能量和信息的交换。这种交换称为系统的输入和输出。只有当系统适应环境的变化时，系统才会具有一定的生命力。

环境对系统的影响主要是限制系统运行条件。这种由环境对系统提供的制约，总称为环境约束集，可以表示为

$$O = \{o_i | o_i \in O, i = 1, 2, \dots, r\} \quad (1-1-6)$$

式中 O ——环境约束集；

o_i ——第 i 个环境约束条件。

所谓系统的最优化问题，就是求在一定的环境约束条件下，为了实现系统目标，使其系统的最大结合效果最佳，即由公式（1-1-5）可得：

$$E^{**} = \max_{\substack{P \cdot G \\ P \cdot O}} P(X, R, C) \quad (1-1-7)$$

以及

$$S_{opt} = Opt_S \{S | E^{**}\} \quad (1-1-8)$$

式中 E^{**} ——对应于系统目标集 G 和约束集 O 的最优结合效果；

S_{opt} ——系统的最佳输出;

S ——系统的输出方案集。

7. 动态性

动态性是表明系统发展过程与时间进程有关的一种特性,或者说是在系统生命期内显示出的一种特性。例如,对城市居民小区建设系统,从小区投资前期研究,直到投资、规划、设计、施工、使用、维修、更新等过程,需要经历较长时间,在各个时期、不同阶段系统将会显示出不同特征。这种在系统生命期内显示出的特征,无疑是跟系统的发展时间有关的,故称为系统的动态性。对系统的动态特征与静态特征的划分不是绝对的,应视研究系统的目的、内容和方法而定。

三、系统的形态

概括地讲,系统可按不同形态进行如下分类。

1. 按系统生存形态

(1) 自然系统:即组成该系统的要素是一些自然物或自然现象。

(2) 人造系统:为满足人类物质文明和精神文明的需要,人为建立的系统,统称为人造系统。

2. 按构成系统要素的形态

(1) 实体系统:由各类物质组成的系统。

(2) 概念系统:由概念、原理、法则、制度、指令等观念形态组成的系统,如信息系统、法律系统、科学系统等均属概念系统。

3. 按系统发展与时间关系

(1) 动态系统:即系统状态与时间进程有关,如生命系统、生态系统等。

(2) 静态系统:即系统状态变化不随时间的变化而变化,如建筑结构系统、城市供水管网系统等。

4. 按系统与环境的交换关系分为封闭系统和开放系统。

5. 按组成系统要素的多少可以划分为简单系统、复杂系统和极复杂系统(或巨系统)。

6. 按系统状态变化分为确定性系统、不确定性系统和随机系统。

7. 按系统特定标志划分为因果系统、目的系统、控制系统、行为系统和对象系统等。

任何一种系统从不同形态可以划分为不同的系统类别,如建筑系统可以归属于人造系统、实体系统、开放系统等。

第二节 系统工程

一、系统工程产生的历史背景

1. 系统概念的发展

系统概念自古以来都是一种普遍概念,它适用于一切现象和一切研究客体,是不以人的意志为转移的、客观世界固有规律在人们头脑中的一种映射。但是,在不同时代和不同领域内,由于人们所处的环境和拥有的知识的差异,对系统认识的深度和广度也有所不同,其实质仍然具有一定的相似性。

现代科学技术的发展,对系统概念有着更深刻的认识,存在着相互补充的若干系统概念。归纳起来,有如下三种系统概念。

(1) 结构的系统概念

这种概念指出,系统是由若干相互联系、相互制约、相互作用的要素结合成整体,要素的结合赋予系统的新质,而这种质可以追溯和还原到原来的要素上去。由结构的系统概念引出一条系统定律:即系统整体属性大于组成该系统各种要素属性之总和。这条定律对任何系统都是成立的,且可以表示为:

$$A \supset \bigcup_{i=1}^N A_i, \text{ 而不会有 } A \subset \bigcup_{i=1}^N A_i \quad (1-1-9)$$

式中 A ——表示系统的整体属性;

A_i ——表示组成系统的第*i*个要素的孤立属性, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

(2) 功能的系统概念

这种概念只关心系统的行为,即“做什么?”,而不关心系统的组织,即“是什么?”。这就是人们常说的“黑箱原则”。这种原则只注重系统的输入和输出。功能的系统概念适用于结构复杂或结构未知的系统,是应用相似类比原理来研究系统性态的一种系统概念。

(3) 等级(层次)的系统概念

这种概念指出,任何一个系统一般都可以分解为若干子系统,而每一个系统又隶属于它的一个更大系统。在整体和部分中形成许多等级,将不同等级作为系统看待,就构成等级系统。系统的等级概念隐含着系统的结构概念。由系统的等级概念出发,可以建立大系统的递阶分层分解协调定律。它是处理大系统最优设计和最优控制的基础。具体作法是首先将一个系统逐层分解,即“化整为零”,进行局部优化;然后应用协调原则(平衡关联原则、预估关联原则等),将各小系统“集零为整”,互相协调配合,以实现整体的稳定性和最优化。

2. 系统思想和系统方法的发展

系统思想的产生和发展来源于社会实践,自远古时代就有着系统思想的萌芽。在我国古代工程建设中,应用系统思想和系统方法解决了大量的工程实践问题。

第二次世界大战的中期,在英国由数学家、物理学家、经济学家和军事专家组成了世界上第一个“运筹小组”。他们应用系统思想和系统方法来研究对德作战方案、物资运送等问题,从而产生了“运筹学”这门学科。本世纪40年代,美籍奥地利生物学家贝塔朗菲在生物学界突破和批判了“机械论”观点,提出了研究一切综合系统的一般模式、原则和规律的理论体系,创立了“一般系统论”。

系统方法在系统思想——这种先进的哲学思想的指导下,是研究和处理有关对象整体联系的一般科学方法。它在唯物辩证法指导下,应用系统科学理论,为研究和设计各种系统对象提出了若干基本原则,如整体性原则、相关性原则、有序性原则和动态原则等。因此,系统方法是在进行系统研究时,是哲学方法与其他科学方法之间的中介环节,是既定目标方法和实现目标方法的统一。

3. 系统科学体系的创立与发展

所谓系统科学可以被理解为一种广泛地称为系统论的认识和改造世界的方法论与数理科