

清华大学土木工程系主编
工业与民用建筑工程自学辅导丛书

土 建 工 程 系统分析方法

佟一哲

主 审 卢 谦
责任编辑 邝守仁

辽宁科学技术出版社

1987年·沈阳

他一些相关学科或理论、方法，也已在本书中介绍，请参见本书中的有关说明。

本书注意了理论联系实际，注意解释数学原理的物理或几何意义，以及在工程中应用的有关问题；各种最优化方法介绍中都附有计算例题以利理解和应用。书中多数最优化方法中都介绍其迭代步骤，以供学习电子计算机程序时参考，但少数复杂的最优化方法的计算步骤则偏重于介绍原理，而不过多考虑计算机程序的需要，以求简化。此外，本书介绍了一些最优化方法在土建工程中应用的实例，为节约篇幅，它们都以简化的教学例题的形式出现。

本书第二章至第五章介绍的各种最优化方法也可以在其他各种工程中应用。对于非系统问题，即一般技术性问题，应用这些方法可得到反映最佳效益的最优解，因而得到了广泛的应用，并被称为最优化技术或最优化方法。

阅读本书前应具备高等数学，线性代数及一般土建专业知识。

本书在编写过程中得到清华大学土木工程系建筑工程管理与施工技术教研组同志们的大力支持和具体帮助，卢谦同志对全书进行了审阅，书中习题经彭淑银、解滨同志校核，王立杰同志为整理书稿付出了辛勤的劳动。在此表示衷心感谢。

限于作者的水平，本书谬误之处在所难免，希读者不吝指正。

佟一哲

1985年7月于清华大学土木系

《工业与民用建筑工程自学辅导丛书》

编 委 会

主 编 王国周 龙驭球 沈聚敏 陈肇元

副主编 崔京浩

编 委 (以姓氏笔划为序)

支秉琛 邝守仁 刘元鹤 江见鲸 杨德麟

土建工程系统分析方法

Tujian Gongcheng Xitong Fenxi Fangfa

佟一哲 编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 朝阳新华印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $13 \frac{1}{4}$ 字数: 273,000

1987年2月第1版

1987年2月第1次印刷

责任编辑: 枫 岚

责任校对: 王 莉

封面设计: 张丽梅

印数: 1—2,900

统一书号: 15288·219

定价: 2.75 元

内容简介

本书介绍系统分析原理以及它在土建工程中应用的概况。全书共分五章，第一章介绍系统工程、系统分析原理和方法；第二章至第五章介绍土建工程系统分析中常用的几种方法：线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划等。书中所叙述的原理和方法着重直观解释并注意联系其在土建工程方面的实际应用。

本书可供高等院校土木、建筑、水利等系各专业学习系统分析原理及方法之用。有关科技人员也可参考。

编 委 的 话

为了适应自学成才、继续教育和多种形式办学的需要，我们清华大学土木工程系组织一些教师编写了《工业与民用建筑工程自学辅导丛书》。丛书共二十一册，程度相当于大专水平，主要读者对象是：广播电视大学、职工大学的学生；准备高等教育自学考试青年；继续教育进修班的学员；土建专业的在职工程技术人员。

在编写中，我们遵循了“内容充实、取材新颖、注重实用、便于自学”的原则，努力做到不仅包括学科的基本内容，而且反映科学技术的最新成果，既重视理论概念的阐述，也注意实际专题和工程实例的讲解，此外，为了减少自学的困难，对于个别内容较深的章节和习题标以注解和题示，绝大多数习题列有答案，主要的程序语句附有说明。以上是我们的主观意愿，然而心有余而力不足，问题和缺点一定不少，希望能得到同行和读者的指教。

在编写中，我们参考了全国高等教育自学考试土建类自学大纲（草案），以及电视大学、城乡建设环境保护部职工高等专科学校等单位所制定的工民建专业的部分教学大纲。但是丛书中也有一些书目并无现成的教学大纲可资参考：这些内容在我国以往的高等学校教学中一般并不讲授，但在实

际工作中却有重要用处，我们把它们编写出来，以便从事实际工作的大专以上程度的工程技术人员，能作为继续学习或参考阅读之用。

丛书的出版，得到许多部门的帮助，得到辽宁科学技术出版社的大力支持，在这里谨向他们致谢。

《工业与民用建筑工程自学辅导丛书》编委会

1985年5月

前 言

系统工程学是一门经营、组织、管理大型复杂工程的工程技术学。一个系统是由多种相互依赖、相互制约的要素所组成的一个统一体，例如，一项土建工程可以看作一个系统，它是人力、资金、材料、设备、时间以及信息等多种要素组成的一个统一体。系统工程是对于一个系统进行规划、研究、设计以及实施时力求系统效益达到最优状态的一门新兴学科。所谓最优状态，是指人们以预定的代价取得最大的效益，或者以最小的代价取得预定的效益等。

系统工程是用近代科学理论、方法以及电子计算机技术武装起来的一门综合性学科。自二十世纪五十年代问世以来，它在开发、处理各种系统问题时，发挥了各传统工程学科所起不到的作用，得到了各方面的重视。近年来在国内，系统工程在很多方面，包括土建工程在内，得到了较多应用，并取得了良好的效果。相信在我国社会主义现代化建设中系统工程将不断发挥更多的作用。

本书介绍了系统工程以及它的核心内容——系统分析的基本原理；并且介绍了土建工程系统分析常用的几种方法：线性规划、非线性规划、整数规划以及动态规划等四类共三十余种方法。网络技术也是一种常用方法，已在本丛书《建筑施工组织与网络计划》中予以介绍，该书就不再重复。还有其

目 录

第一章 系统分析与土木工程	1
§ 1—1 系统及其特征	1
§ 1—2 系统工程的理论和方法	5
§ 1—3 系统工程在土木工程中的应用	16
§ 1—4 系统分析	20
§ 1—5 系统的模型化和最优化	26
习题一	33
第二章 线性规划	34
§ 2—1 基本概念	35
§ 2—2 单纯形法	48
§ 2—3 改进单纯形法 (修正单纯形法)	74
§ 2—4 线性规划的对偶问题	84
§ 2—5 灵敏度分析及参数规划	100
§ 2—6 运输问题	113
§ 2—7 线性规划在土木工程中的应用	128
习题二	144
第三章 整数规划	150
§ 3—1 基本概念	150
§ 3—2 0—1规划及隐枚举法	154
§ 3—3 分枝限界法	158

§ 3—4	割平面法·····	168
§ 3—5	整数规划小结·····	176
§ 3—6	整数规划在土建工程中的应用·····	178
习题三	·····	182
第四章	非线性规划·····	184
§ 4—1	概念及基本理论·····	184
§ 4—2	单变量无约束极值问题的直接法·····	206
§ 4—3	多变量无约束极值问题的直接法·····	225
§ 4—4	多变量无约束极值问题的解析法·····	238
§ 4—5	约束极值问题的直接法·····	264
§ 4—6	约束极值问题的最优性条件·····	269
§ 4—7	用线性规划逼近非线性规划的方法·····	277
§ 4—8	可行方向法(容许方向法, Zoutendijk法)·····	285
§ 4—9	罚函数法(SUMT法)·····	292
§ 4—10	非线性规划在土建工程中的应用·····	303
习题四	·····	310
第五章	动态规划·····	315
§ 5—1	基本原理·····	316
§ 5—2	离散型动态规划问题及应用·····	332
§ 5—3	连续型动态规划问题及应用·····	364
§ 5—4	函数迭代法及策略迭代法·····	384
习题五	·····	403
习题答案	·····	408
参考文献	·····	414

第一章 系统分析与土木工程

§ 1—1 系统及其特征

系统工程是以系统为研究对象，应用系统分析方法，去寻求系统整体效果最优的一门新兴学科。学习这门学科时，首先需要了解：什么是系统，系统有哪些特征。本节的目的，就是阐明这两个问题。

一、什么是系统

系统是由两个或两个以上，相互联系的要素组成的。它是具有一定特征、功能和目的的有机综合体。人体就是一个典型的系统，它由血液循环系统、消化系统、神经系统等许多要素组成。这些要素各自具备特有的功能，但缺一不可，它们互相依存又互相制约，构成一个以生长、维持和繁衍生命为目标的有机综合体。

二、系统的特征

系统应当具有以下特征。

1. 集合性

系统的集合性表现在两个方面。首先，系统是由两个或

两个以上的要素构成的。这些要素之间，基于系统的特性或系统分析的需要，而互有区别，试以下例说明。

〔例1—1〕 一项土建工程作为一个系统，是由下列七项要素构成的（图1—1）。

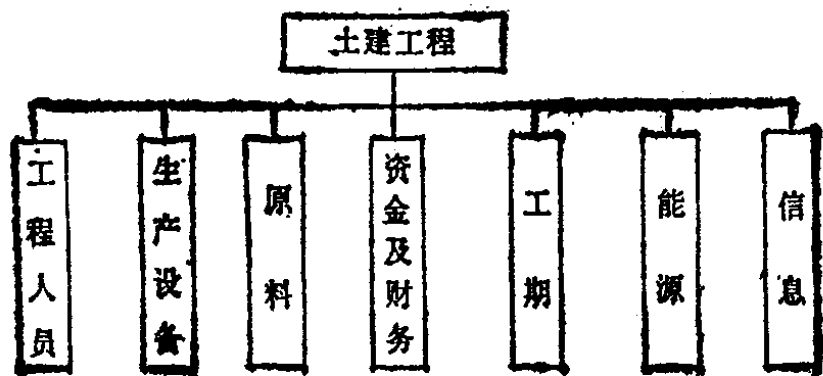


图 1—1

图中各要素既互有区别，又有机地构成一个工程系统。
根据系统工程研究的需要，一个工程系统可能由上述要素的特定形态所构成，参看下列。

〔例1—2〕 多层居住建筑的体系种类繁多，为优选和推广适于我国采用的多层居住建筑体系，将其构成如下系统，以利于研究分析（图1—2）。

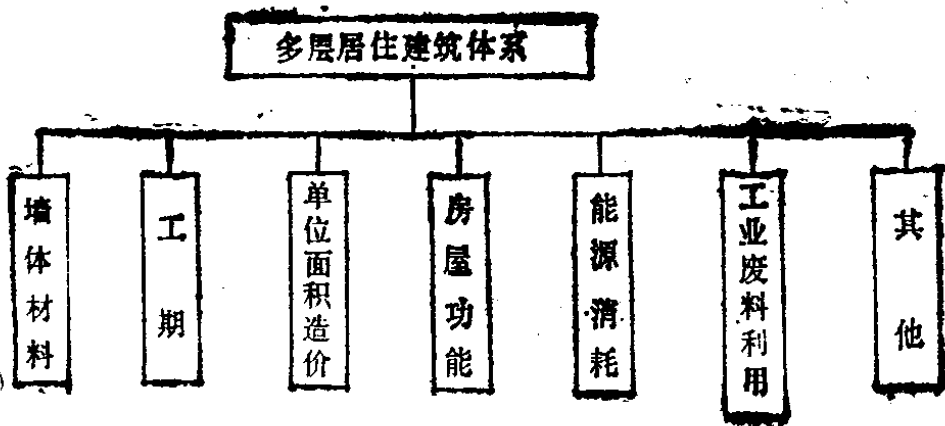


图 1—2

集合性的另一种表现是在复杂的或大型系统中还存在子系统以及二级子系统，如图 1—3。

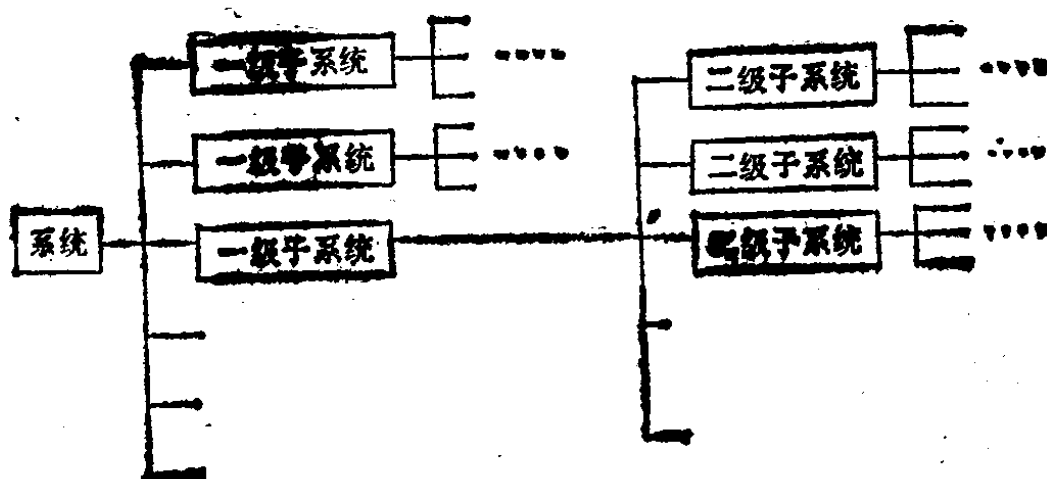


图 1—3

2. 相关性

相关性指系统中各个要素之间存在相互依赖和相互作用的关系。当系统中某一个要素产生变化，必将影响其他要素。以例 1—1 中工程人员这一要素而论，当他们的主观能动性得到发挥，生产率提高以后，必将影响工程成本的降低和工期的缩短。

显然，一个系统的各级子系统之间也存在上述相关性。

3. 目的性

一个系统，必然具有特定的目的。例如，在多层居住建筑体系的研究中，如果脱离了尽快解决城市住房短缺这一明确的目的，其价值将大为减少，甚至毫无价值。

系统的目的性既是建立系统的依据，又是评价系统的标准。

4. 环境适应性

任何系统都存在于一个环境之中，如图 1—4 所示。系

统可以看作为“转换机构”。以工业系统为例，它经常的“转换”方式是输入原料、人工、资金、信息等要素，而输出产品、创造利润、提供积累信息等。这种转换是在系统的内部和外部进行的，因而要求系统有一定适应性；一旦外部环境发生变化，系统必须能够相应的调整来适应这种变化，否则系统的功能和效率将要降低，甚至系统不能继续存在。

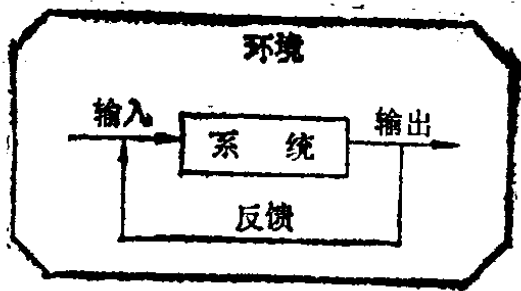


图 1—4

一个环境适应能力强的系统，往往具备图1—4中所示的反馈功能。例如工业系统的产品能否适应市场需要、竞争能力如何，都可以根据市场销售情况判断。这种以输出状态为信息，反向“输入”给本系统，以期改善系统的运行状态的功能，称为“反馈”。

根据以上特征，可以认为一个系统就是在系统与其要素之间、要素与要素之间、系统与环境之间存在严密有机联系的综合体。系统应具有特定的目的和功能。

具有上述特征的土建工程系统是很多的，例如，一幢房屋就是一个系统。它的结构体系、围护结构、功能设备等都是构成这种系统的要素；它具备供人们居住、生活、工作或其他功能等。上述各要素的有机组合，可以满足特定的适用、经济、美观的要求；而房屋抵抗风雨侵蚀、地震力作用等功能则体现了它的环境适应性。

此外，土建工程设计及施工管理；建筑企业管理；城市交通系统；高层居住建筑结构体系等都是常见的工程系统。

§ 1—2 系统工程的理论和方法

一、系统的概念

系统工程是以系统为对象，用定量化的综合优化方法对该系统进行规划、研究、设计制造或施工，以及运行使用的一门经营管理技术。在处理工程问题时，它能做到统筹兼顾，对系统的全局进行定量化的分析、综合，并在此基础上作出系统的最优设计、最优控制、最优管理。对于土建或其他工程问题，要求在人力、物力、财力、时间等方面作到最有效的利用，使得工程的总体效益达到最优。

以上关于系统工程的说明，可以归纳为两个方面：一是关于系统工程基本性质，它既是经营组织、管理的工程技术，又是处理、解决一项工程活动全过程的工程技术。

另外一个方面是系统工程的特点，即它与一般工程技术或传统的工程学科区别何在。这里有三个主要特点：

1. 整体性

应用系统工程时的着眼点不只是各个要素如何各自充分发挥效能，而是更注重如何使整个系统最有效的运行；使各要素（子系统）之间、系统与要素（子系统）之间、系统与环境之间关系协调一致。正如一个战斗队伍指挥得当、协同作战配合良好一样，此时队伍的总体战斗力将大大超过各个战斗员战斗力之和，协调一致的系统功能也会大大超过各要素功能之和。

2. 综合性

为了科学地处理一个系统问题，我们需要对这个系统中的各个要素的成分、结构、功能、相互联系、环境状况、历史状况等进行深入的分析与综合，这就必然涉及多种学科、多种专业内容。系统工程力图综合运用各学科、各专业的理论和方法综合处理问题。它是一门跨专业跨学科的新型学科。

3. 最优性

最优性有二重含意：一是要求系统的总体效益最优，尽可能完美地实现既定目标；另一个含意是系统工程具有自己的基础理论和方法，足以使整体性和综合性落实在定量化分析之上，利用它所特有的数学方法和电子计算机技术，得到数量化的最优方案、最优指标和“最优解”。

工程问题中存在大量的求最优效益的课题。参见表1—1各例。

表1—1

范 围	求最小值的指标	求最大值的指标
财务	工程总投资，总成本，工程费用，产品成本，运行费	产值，利润，销售额，流动资金利用率
生产	废品率	劳动生产率
工期	总工期	有效利用时间
成品、材料	库存量，原料耗用量，材料供应强度	产品数量，销售量，工业废料利用

续表

范 围	求最小值的指标	求最大值的指标
能 量	燃料、能量耗用量	利用率
人 力	人力耗用强度 (工/日), 总用工量, 单位产品用工量	人工效率, 每工的单位产量
运 输	吨—公里数	总货运量, 单位时间货运量
设 备	设备运行总台班数	设备利用率

上述各种极值经常是一项工程追求的目标。系统工程处理上述课题时力求达到下列效益:

① 以最小的代价取得预定的效益。

例如一个建筑企业如果以最少的人工、资金、时间等因素完成了计划的产值, 这就是以最小的代价取得预定效益的一个例子。

② 以预定的代价取得最大的效益。

例如建筑企业考虑如何以现有人力、资金、原料供应条件等因素取得最大的产值, 也就是以预定的代价取得最大的效益。

最优性是系统工程突出的特点。

以上三个特点也正是系统工程方法论的要点。它们集中反映了系统工程与传统的各门工程学科的区别。传统工程学侧重研究本专业、本学科内部的规律性。随着时代的发展, 它们的研究愈来愈深入到本身的微观结构和微观机理; 进而

每个专业的学科划分也愈来愈细致。近几十年来，由于规模大、投资多、技术要求高的工程越来越多，作好这些工程的主要困难不一定是具体的技术问题，而是全局的经营管理；这时单纯依靠传统工程学已完全不能满足要求了。系统工程也正是在这一背景下应运而生的。

二、系统工程的方法及实施步骤

表1—2介绍了系统工程的方法及实施步骤。其中实施过程一栏是以一个复杂产品的研制过程为例进行划分的。方法与步骤一栏则具有更为普遍的意义。它共划分为如下七部分：

(1) 摆明问题

系统工程的方法与步骤

表1—2

方法 与步骤		1	2	3	4	5	6	7
实施过程		摆明问题	系统指 标 设	系统综合	系统分析	系统优化	决策	实施计划
1	规划阶段	a ₁₁	a ₁₂					
2	拟订方案	a ₂₁		a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅	a ₂₆	
3	系统研制	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	a ₃₅	a ₃₆	a ₃₇
4	生产阶段		a ₄₂			a ₄₅	a ₄₆	a ₄₇
5	安装阶段						a ₅₆	a ₅₇
6	运行阶段						a ₆₆	a ₆₇
7	更新阶段	a ₇₁	a ₇₂	a ₇₃	a ₇₄	a ₇₅	a ₇₆	a ₇₇