



全国高等院校**工业工程**专业系列规划教材

INDUSTRIAL
ENGINEERING

工程系统概论

—— 系统论在工程技术中的应用

黄志坚 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高等院校工业工程专业系列规划教材

工程系统概论

——系统论在工程技术中的应用

主 编 黄志坚

主 审 高举红



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

工程系统是由人造物理系统、人造抽象系统和人类活动系统三大类系统(有时还应包括自然系统)组成的复合系统。本书提出工程系统理论与方法的三维结构,即工程系统基本理论与方法、典型工程技术活动系统理论与方法以及典型工业门类系统理论与方法,结合实例分别从这三个角度对工程系统及相关理论与方法进行了较深入的论述。

本书紧密结合了系统科学与工程技术发展的最新成果;除工程系统管理理论与方法之外,也比较深入地总结了工程系统中工程技术活动的系统理论与方法。

本书可作为高等院校相关专业的教材,也可供企业管理人员与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程系统概论:系统论在工程技术中的应用/黄志坚主编. —北京:北京大学出版社, 2010.6
(全国高等院校工业工程专业系列规划教材)

ISBN 978-7-301-17142-4

I. ①工… II. ①黄… III. ①系统论—应用—工程技术—高等学校—教材 IV. ①TB

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 072746 号

书 名: 工程系统概论——系统论在工程技术中的应用

著作责任者: 黄志坚 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-17142-4/TH·0185

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 北京山润国际印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 396 千字

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着科学技术的飞速发展，现代工程技术体系的规模和复杂性日益增长，出现了所谓大系统(large scale system)的工程体系。系统论指导下的工程技术方法在完成大型工程项目中起着决定性的作用。工程系统是由人造物理系统、人造抽象系统和人类活动系统三大类系统(有时还应包括自然系统)组成的复合系统。因此，它不仅具有这三大类系统的某些基本性质，而且它还必然具有自己作为一类特殊复杂系统所独具的性质。工程系统论以各种各样的工程系统为研究对象，并力图寻找和概括在工程系统的共同规律。

本书提出了工程系统理论与方法的三维结构，即工程系统基本理论与方法、典型工程技术活动系统理论与方法以及典型工业门类系统理论与方法，结合实例分别从这三个角度对工程系统及相关理论与方法进行了较深入的论述。

本书共分5章。第1章绪论，简要论述了系统、系统论与系统方法、现代工程技术与系统论，是本书的基础知识。第2章工程系统概述，主要论述工程、工程系统与工程系统论、工程的系统特征、大型工程的系统复杂性，提出工程系统理论与方法的三维结构。第3章论述系统基本理论与方法在工程系统中的应用，主要内容是工程系统的分析、建模、评价、预测、优化、决策理论与方法。第4章论述典型工程技术活动系统理论与方法，主要包括战略规划、技术开发、工程设计、项目管理、生产运行、设备维修、质量管理、安全管理、环境保护、标准化等重要工程技术活动的系统理论与方法。第5章论述不同工业门类典型工程系统，主要包括航天工程系统、电力工程系统、冶金工程系统、水利工程系统、交通运输工程系统。

本书的主要特点是：紧密结合了系统科学与工程技术发展的最新成果；除工程系统管理理论与方法之外，也比较深入地总结了工程系统中工程技术活动的系统理论与方法。

本书可作为高等院校相关专业的教材，也可作为企业管理人员与工程技术人员的参考用书。

编 者
2010年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 系统、系统论与系统方法	1
1.1.1 系统的概念	1
1.1.2 系统论	2
1.1.3 系统方法	3
1.2 现代工程技术与系统论	4
1.2.1 现代工程技术系统日趋复杂	4
1.2.2 工程技术需要系统方法	5
本章小结	5
习题	5
第 2 章 工程系统概述	8
2.1 工程、工程系统与工程系统论	9
2.1.1 工程	9
2.1.2 工程系统	10
2.1.3 工程系统论	12
2.2 工程的系统特征	12
2.2.1 工程是一个动态联系的系统	12
2.2.2 工程是一个充满矛盾的系统	13
2.2.3 工程是一个不断创新的系统	15
2.2.4 工程是一个交叉立体的系统	16
2.2.5 工程是一个“天人合一”的 系统	17
2.2.6 工程是一个内含文化的系统	18
2.2.7 系统特征分析实例—— 岩土工程	19
2.3 大型工程的系统复杂性	22
2.3.1 大型工程是个复杂系统	22
2.3.2 大型工程系统复杂性的 相关影响因素	24
2.4 工程系统理论与方法的三维结构	26
2.4.1 工程系统理论与方法 三维结构概述	26
2.4.2 现代武器装备系统开发实例	27
本章小结	31
习题	31
第 3 章 工程系统基本理论与方法	35
3.1 工程系统分析理论与方法	36
3.1.1 系统分析概述	36
3.1.2 工程技术问题分析的 基本途径	40
3.1.3 工程技术问题分析的 重要方法	42
3.1.4 工程技术问题分析的 基本原则	52
3.1.5 工程技术问题分析的 整体论与还原论	54
3.2 工程系统建模理论与方法	55
3.2.1 工程系统建模概述	55
3.2.2 H 型钢轧后残余热应力 建模与仿真分析实例	60
3.2.3 建模理论与方法在企业动态 联盟中的应用	63
3.3 工程系统评价理论与方法	65
3.3.1 系统评价概述	65
3.3.2 层次分析法及钢铁企业发展 循环经济方案评价实例	67
3.4 工程系统预测理论与方法	70
3.4.1 预测概述	70
3.4.2 连铸连轧过程钢材组织性能 智能预报实例	74
3.5 工程系统优化理论与方法	75
3.5.1 工程技术系统优化概述	75
3.5.2 复杂工程系统优化方法与 应用实例	77



3.5.3 优化理论与方法在控制软件开发中的应用	79	4.4.3 系统论思维模式在工程建设项目管理中的应用	129
3.6 工程系统决策理论与方法	82	4.5 生产运行管理系统理论与方法	134
3.6.1 工程技术决策概述	82	4.5.1 生产运行系统概述	134
3.6.2 科学决策的思维模式	83	4.5.2 生产运行管理系统的特征	135
3.6.3 工程决策科学化与民主化	88	4.5.3 生产运行系统中的矛盾	136
3.6.4 三峡工程论证决策实例	93	4.5.4 生产运行系统正常运行的条件	137
3.6.5 管理决策过程中系统模拟技术及应用	95	4.5.5 现代生产运行管理方式	137
本章小结	99	4.5.6 MES 系统在炼油与化工生产运行管理中的应用实例	142
习题	100	4.5.7 基于大系统控制论的气田管网应急调度实例	146
第 4 章 典型工程技术活动系统理论与方法	106	4.6 质量管理体系理论与方法	148
4.1 企业战略规划系统理论与方法	108	4.6.1 质量管理概述	148
4.1.1 规划概述	108	4.6.2 质量管理体系论	149
4.1.2 基于系统论的企业战略规划	108	4.6.3 质量管理的信息与控制机制	152
4.1.3 宝山钢铁战略规划实例	110	4.6.4 人机工程学在全员质量管理(TQM)中的应用	154
4.2 技术开发系统理论与方法	112	4.6.5 珠钢(广州珠江钢铁有限责任公司)质量控制实例	155
4.2.1 技术开发概述	112	4.7 设备维修管理系统理论与方法	157
4.2.2 大型复杂工程系统开发的基本方法	112	4.7.1 生产设备的系统特征	157
4.2.3 技术开发中的矛盾与解决矛盾的途径	115	4.7.2 基于系统论的生产设备管理模式	158
4.3 工程设计系统理论与方法	117	4.7.3 大系统设备故障诊断与监测	160
4.3.1 设计的概念	117	4.8 安全管理系统理论与方法	166
4.3.2 系统论指导下的工程设计	117	4.8.1 安全和危险	166
4.3.3 工程设计中的系统分析与综合	118	4.8.2 安全系统及其特点	168
4.3.4 基于复杂性工程观的工程设计	119	4.8.3 安全系统工程概述	170
4.3.5 系统论在煤矿设计中的应用	120	4.8.4 安全管理系统方法	171
4.3.6 系统论在面向对象设计方法中的应用	122	4.8.5 “零缺陷”安全管理方法及其在煤炭企业的应用	175
4.4 工程项目管理系统理论与方法	125	4.9 环境工程系统理论与方法	177
4.4.1 系统工程与项目管理	125	4.9.1 环境系统	177
4.4.2 工程建设项目三大目标的协调与统筹	126	4.9.2 环境系统工程概述	179

4.9.3 环境系统的研究方法	180	5.2.2 电力工程的系统特征.....	222
4.9.4 环境系统工程学基本框架	181	5.2.3 系统理论与方法在电力	
4.9.5 在系统论指导下发展绿色		工程中的应用及实例.....	225
生产力	182	5.3 冶金工程系统	229
4.9.6 采矿环境再造系统理论及		5.3.1 冶金工程概述	229
应用	184	5.3.2 冶金工程的系统特征.....	230
4.10 标准化系统理论与方法	187	5.3.3 系统与方法理论在冶金	
4.10.1 标准化是一门系统工程	188	工程中的应用及实例.....	232
4.10.2 标准化系统的结构	191	5.4 水利工程系统	238
4.10.3 综合标准化及其在新型		5.4.1 水利工程概述	238
民用飞机研制中的应用	194	5.4.2 水利工程的系统特征.....	239
4.10.4 系统集成标准化	198	5.4.3 系统理论与方法在水利	
本章小结	205	工程中的应用及实例.....	240
习题	205	5.5 交通运输工程系统	248
第 5 章 典型工程系统.....	209	5.5.1 交通运输概述	248
5.1 航天工程系统	213	5.5.2 交通运输系统的组成.....	248
5.1.1 航天工程概述	213	5.5.3 交通运输的系统管理.....	251
5.1.2 航天工程的系统特征	214	5.5.4 交通运输系统的重要特征.....	251
5.1.3 系统理论与方法在航天		5.5.5 系统理论与方法在交通	
工程中的应用及实例	218	运输中的应用及实例.....	253
5.2 电力工程系统	221	本章小结	260
5.2.1 电力工程概述	221	习题	261
		参考文献.....	265

第1章

绪论



教学要求

知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
系统与系统方法	掌握	系统的概念、系统论的概念、系统方法的概念	系统理论与方法基础知识
系统论与现代工程技术	掌握	现代工程的系统特征、现代工程技术的复杂性与系统集成方法	系统理论与方法和工程技术的关系，工程系统研究的基础

【导入案例】

电话系统

电话是当今信息时代重要的通信工具，它是由人和设备严密组合而成的一个纵横交错的通信网络，整个系统中的任意两点都能直接通话，从而实现信息的远距离快速传递。电话系统包括设备、电话号码簿、电话电缆、通信卫星、总机站、公用电话和私人电话及设备的检修与维护服务等。它之所以能按部就班、有条不紊地工作，就在于从一开始它就被看做一个系统而不是互不相关的独立元素的堆积。

在电话系统中，运用了大量的系统思想。就一个城市的电话系统而言，“总机站”该设置在什么地方才能使整个系统的布线路径最短？城市人口的多少，决定着电话系统的“总装机容量”。一个城市大概需要安装多少部电话，才能满足人们的需求？显然，如果电话太少，通信不便，会影响经济发展；如果电话太多没有充分利用，又造成不必要的浪费。如何确定一个恰当的数量是一个很值得研究的问题。

1.1 系统、系统论与系统方法

1.1.1 系统的概念

所谓系统，就是由若干相互联系、相互作用的要素组成的有机整体。这个定义说明系统包括组成要素、要素之间的相互作用和系统整体的确定功能等三个方面，缺一不可。



系统是一个有机整体，整体性是系统最基本的特性。在一个系统中，系统整体不等于各孤立要素之和，系统整体特性和功能在原则上既不能归结为组成它的要素的特性和功能的总和，也不能从有关组成成分中推导出来。系统整体所获得的新的特性、新的功能等是各组成要素在孤立状态时所没有的。这种系统整体的特性和功能，只有当它们作为整体存在时才表现出来；当把它分解为各孤立要素时，系统整体的特性和功能也就不存在了。与此同时，处于系统整体中的组成要素的特性和功能，也不同于它们在孤立状态时的特性和功能。组成要素只有在系统整体中，才具有部分的意义；一旦它们离开了系统整体，也就失去了组成要素的意义。如生命是一个复杂的多分子体系，它不是核酸和蛋白质等化学大分子的简单相加。只有当以核酸为主的遗传体系与以蛋白质为主的代谢体系之间出现了耦联作用，多分子体系内部建立了信息传递、控制与调节的新关系时，才能出现新陈代谢、自我繁殖、生长发育和遗传变异等生命特征。这些特征中所包含的化学反应和一般的化学反应也有所不同，有自己的特殊性。一旦核酸和蛋白质离开了生命这个整体，彼此孤立存在而又不具备任何环境条件时，它们不具有在生命整体中的作用和功能了。

系统不同于堆积物或非系统。堆积物或非系统中的组成成分之间不存在有机的相互作用，堆积物或非系统的总和就是指成分的代数和，因此，堆积物不具有系统的整体性，从而也就不是系统。然而，我们所面临的自然界，又是一个相互联系、相互作用的整体，内部各部分之间全无有机的相互作用的事物是不存在的，因此，堆积物仅仅是物质系统的一种极限情况。

任何物质系统都具有层次性。在系统中，可以按照不同的性质和规律划分成不同的层次，这时，系统中的组成要素就成为若干子系统，子系统还可再分为若干二级子系统；层层深入，无限可分。与此同时，该系统又可按照相同的性质和规律与一定环境组成更大的系统。整个自然界是一个极其复杂的、多层次、多级别的特大开放系统。系统内的每一层次，都有特定的相互作用，都有不同的性质和规律。低层次是高层次的组成要素，高层次是低层次的系统整体。例如，原子层次是分子层次的组成要素，分子层次则是原子层次组成的系统整体等。

物质系统的层次具有多样性。纵向的母子系统，可构成垂直系统的层次；横向的同一层次中，又可构成各种平行并立的系统；纵横交错的网络系统，又可构成各种交叉层次。

1.1.2 系统论

系统论是研究现实系统或可能系统的一般规律和性质的理论。

古希腊时期哲学家们就已经形成了素朴的系统概念，用以表示各个部分组成的整体，并力图把握系统的全体和部分的关系及其确定的条理。中国古代所谓五材“杂以成百物”，也有这样的意思。在近代科学所做的分类工作中，系统概念发挥了重要的作用。所谓分类就是把获得的材料编为确定的系统。当时在科学上的重要系统，是瑞典生物学家卡尔·冯·林耐于 1735 年提出的植物和动物系统和俄国化学家德米特里·伊万诺维奇·门捷列夫于 1871 年建立的元素周期系统。系统概念也在社会科学中起了重要作用，马克思在对资本主义社会的分析中，也应用了系统、有机体、调节器等系统论的术语。

现代科学的系统论是在 20 世纪 40 年代从生物学、通信技术和控制论的基础上发展起

来的,它尤其代表了与生产力迅猛发展相结合的现代科学整体化趋势。系统概念已普遍运用于现代科学的各个领域,同时现代科学本身也正在成长为一个把我们的科学知识综合起来的体系,从一个新的侧面为证实世界的物质统一性提供了论据。现代系统论中的系统概念不同于古典系统概念,它是由数学的精确定义加以表述的。现代系统论使用了许多不同的数学方法,如代数、拓扑、微分方程、函数论、矩阵、图论、概率论和统计学的方法等。系统论概念在数学上的精确化,形成了一些发达的系统论分支。

系统论不仅在技术应用方面取得了卓越成就,而且也被应用于研究社会系统,尤其是经济系统。但随着所要研究系统的日趋复杂,以往所拥有的手段已经不够用了。为了解决这个难题,又发展出大系统理论,大系统是一个由共同目的联合起来的、有内在联系的许多子系统的集合,它可以用一组彼此不同而相互依存的数学模型描绘。

系统论关于母系统与子系统、结构与功能、系统与环境关系的研究,关于动态系统的自调节、自组织和自学习的研究,关于学习系统与外部世界关系的研究,对于证实、丰富和发展马克思主义的辩证法和认识论,具有极其普遍和直接的意义。

1.1.3 系统方法

按照系统论研究的事物(如大型油田、工程、企业等)是一个系统。系统的最优化是系统方法的核心,系统的控制功能是建立在控制论反馈理论的基础上的,通过输出信号的反馈来补偿偏差,达到控制的目的。系统正常运行的条件是获取各种信息,及时掌握系统的状态,因此信息产生、处理、判断、存储、传递、输出等的组织管理是系统工作的重要部分。对系统的分析、设计、试验、运行、评价要涉及各个管理科学分支的内容,系统的经济效益要通过经济管理科学的手段来达到。现代数学的最优化方法是系统最优化的基础,通过数学模型的建立和求解获得系统的最优化方案。使用计算机主要是指三个方面:首先,是数学模型的求解;其次,是大量原始数据的处理,得出运行管理与控制的必要信息;再次,是过程计算要接收反馈信息,发出调整指令。

系统方法是把对象作为系统进行定量化、模型化和择优化研究的科学方法。这种方法经历了从哲学到科学、从定性到定量的过渡,它是在现代科学,特别是系统论和控制论得到发展时建立的。其根本特征在于从系统的整体性出发,把分析与综合、分解与协调、定性与定量研究结合起来,精确处理部分与整体的辩证关系,科学地把握系统,达到整体优化。

系统方法主要包括以下几个方面:

① 系统的分析和综合。首先要识别某一领域是全称集合 U , 了解系统 S 是 U 的子集,明确 S 的补集是环境 E ; 其次,要把 S 从 U 中分离出来,定出 S 与 E 的界面,再分离出 S 的主要成分,从中研究系统结构与功能的特性,找出成分之间以及成分与环境之间的相关性,描述系统中物质、能量和信息三者的相互关系;最后,还要综合分析它们如何组合成有机的整体。

② 建立系统的模型。它要求把系统的各个要素或子系统加以适当的筛选,用一定的表现规则变换成简明的映像。系统的模型可以用说明系统的构成和行为的数学方程和图像,甚至用物理形式表达。通过模型可以有效地求得系统的设计参数和确定各种制约条件。模型建立以后,还要采用一定的仿真方法(借助于计算机)或物理方法测试和计算模型,并根



据测试和计算结果,进而改进模型。在一定程度上做到确切反映和符合系统的客观实际,消除定性分析中的主观臆测成分,以便确切掌握系统的各个功能及功能之间的关系,了解并确定系统存在的价值以及价值之间的关系。

③ 系统的择优化,即选择一个优化的系统,使之有效工作,功能优良。导入案例中电话系统“总机站”该设置在什么地方才能使整个系统的布线路径最短便是系统优化的问题。从数学上讲,优化是指在若干约束条件下选择目标函数并使它们得到极大值或极小值。就大系统而言,要想求得总体优化是相当困难的。因为大系统结构复杂、因素众多、功能综合,不仅评价目标有很多,甚至彼此还有矛盾,所以不可能选择一个对所有指标都是最优的系统。如果采用局部优化的办法,一般不能使总体优化,甚至某一局部的改进反而使总体性能恶化。因此,需要采用分解和协调方法,以便在系统的总目标下,使各个子系统相互配合,实现系统的总体优化。所谓分解,就是把一个大系统分解为许多子系统;而子系统再将信息反馈给大系统,并在大系统的总目标下加以权衡,然后大系统再将指示下达给各个子系统,这就是协调。在大系统与子系统之间如此反复交换若干次信息,就可以求出系统的优化解。

1.2 现代工程技术与系统论

1.2.1 现代工程技术系统日趋复杂

随着科学技术的飞速发展,现代工程技术体系的规模和复杂性日益增长,出现了所谓大系统(large scale system)的工程体系。例如,美国在 20 世纪 60 年代载人登月的“阿波罗”计划,就是这类大工程系统。要指挥规模如此巨大的社会劳动,靠一个总设计师或总工程师是不够的,他们不可能精通整个系统所涉及的全部专业知识,也不可能足够的时间来完成数量惊人的技术协调工作。我国在 20 世纪 60 年代初开始发展国防尖端技术项目时,也碰到了同样的问题。怎样把比较笼统的初始研制要求逐步开展成为成千上万个参加研制人员的具体工作?又怎样把这些千头万绪的工作最后综合成一个技术上先进、经济上合算、研制周期短、能协调运转的实际系统,并且使这个系统成为它所从属的更大系统的有效组成部分?这些是研制任何大工程系统的基本问题。这就要求有一种组织、一个集体代替先前的单个指挥者来“抓总”。1954 年,在美国最先出现了为导弹研制任务提供这种技术服务的新机构——腊莫-伍德里奇公司(Ramo-Woodridge Corporation),它是今天一类系统工程指导机构的先驱,同我国在国防尖端技术科研部门建立的“总体设计部”相类似。总体设计部由熟悉系统各方面专业知识的技术人员组成,并由知识面比较广泛的专家负责领导。总体设计部设计的是系统的“总体”,是系统的“总体方案”,是实现整个系统的“技术途径”。总体设计部一般不承担具体部件的设计,却是整个系统研制工作中必不可少的“抓总”单位。总体设计部把系统作为它所从属的更大系统的组成部分进行研制,对它的所有技术要求都首先从实现这个更大系统技术协调的观点来考虑。总体设计部把系统作为若干分系统有机结合成的整体来设计,对每个分系统的要求都首先从实现整个系统技术协调的观点来考虑。总体设计部对研制过程中分系统与分系统之间的矛盾,分系统与系统之间的

矛盾，都是首先从总体协调的需要来选择解决方案，然后留给分系统研制单位或总体设计部自身去实施。总体设计部的实践，体现了一种科学方法。

1.2.2 工程技术需要系统方法

系统论指导下的工程技术方法在完成大型工程项目中起着决定性的作用。举世闻名的万里长城和埃及金字塔，在当时生产力十分低下的情况下，调动了大量的劳动力，历时数十年得以完成，靠的是一套合理的工程项目的组织与管理方法，从而创造了人类文明的奇迹。当今，人类正面临着多项巨大而复杂的工程，方法论的作用更加突出。且不说航天飞机与三峡工程，需要运用方法论的运筹帷幄，就是一个工厂企业的综合自动化系统的设计与开发，需要考虑的因素就有成千上万，大量的变量，大量的约束方程，大量的不确定因素，表现得错综复杂，扑朔迷离。若没有正确的方法论的指导，就会被淹没在大量的数字、图表之中，理不出头绪。机器人面对复杂多变的工作环境与用户的多种需求，如何采取灵活的、可重构的策略与手段，来适应现代加工系统的要求，也同样遇到了方法论的困惑。人们在科研工作中承担的大型项目，首先遇到的就是方法论的问题。一个工程项目的总体结构，往往集中体现了项目负责人对该项目内涵的理解程度，反映出他的方法论的水平，也在很大程度上决定了完成该项工程的质量与水平。

系统方法论不但体现在大型工程的策划、设计与实施中，也体现在每个科技人员所完成的技术方案中。经常能看到一些科学技术报告，列举了大量的线路、框图之类的资料，还附加各种图表、数据，但却没有一条明晰的思路，使人不得要领，究其原因，就在于缺乏方法论上的深思熟虑的推敲。一篇优秀的学术论文，往往引起成百上千的追随者步其后尘达数十年，甚至数十年之久，他们的成功之处就在于在方法论上有新的突破。目前十分流行的面向对象技术，Agent 系统的概念，客户/服务器结构，集成平台的思想，模拟退火与遗传算法，虚拟制造与可重构制造等，无一不体现出方法论上的创新与智慧。

本章小结

系统是由若干相互联系、相互作用的要素组成的有机整体。这个定义说明系统包括组成要素、要素之间的相互作用和系统整体的确定功能等三个方面，缺一不可。系统论是研究现实系统或可能系统的一般规律和性质的理论。系统方法是把对象作为系统进行定量化、模型化和择优化研究的科学方法。

现代工程体系的规模和复杂性日益增长，出现了大系统(large scale system)的工程体系，系统论指导下的工程技术方法在完成大型工程项目中起着决定性的作用。

习 题

1-1 简答题

(1) 简述系统的基本特征。



(2) 简述系统方法的基本特征。

1-2 思考题

(1) 当代工程技术的重要特征是什么？

(2) 为什么工程技术活动需要系统论的指导？

【案例分析】

生命线工程系统

生命线工程系统是指维系现代城市功能与区域经济功能的基础性工程设施系统，包括交通、通信、供水、供电、燃气和输油等工程系统。生命线工程系统是城市灾害重要的承载体之一，受到自然灾害、技术灾害和人为灾害的威胁，具有灾时破坏严重、波及范围广、社会影响大、次生灾害严重等特点。

2008年1月下旬到2月中旬，我国南方遭遇五十年未遇的雨雪冰冻灾害。面对灾害，各地建设主管部门急民所急、积极应对，采取了很多积极举措，为确保城市生命线安全、为抗击冰雪灾害付出了巨大的努力。但面对冰雪灾害，一些地方及人员依然缺少科学的防灾观念，应急机制及相关建设标准规范还有待完善。

不同类型的生命线系统，根据灾害类型的不同，可以采取工程和非工程两类防灾减灾措施。生命线工程防灾减灾措施的作用，比较有代表性的观点是防灾设计与耐久性控制；非工程减灾措施是指除工程措施之外的一切合法的减灾活动，主要包括：创新管理体制、建立健全管理机构、制定和完善法律法规、编制防灾规划和应急预案、宣传普及灾害知识、推行保险制度、储备救灾资金和物资及医治灾后心理创伤等各个方面。工程和非工程措施是防灾减灾的两个方面，不能互相替代。

1. 工程措施

根据目前科技发展水平，人们无法准确地预测地震、飓风、洪水、海啸、滑坡、泥石流等自然灾害发生的时间和地点。而城市生命线系统正是根据对可能受到的各种灾害的预测，按照设定防御标准建造的。一般而言，防御标准受到对灾害的认识程度、投资及建设水平等因素的限制，不能无限提高，因此它难以抵御超过建设防御标准的灾害。

另外，过多的灾害防御工程会引起生态灾害，或者成为新的灾害源。除了灾害的不可预知性和防御标准有限之外，城市生命线系统本身构成的复杂性也是造成工程防灾减灾措施难度增大的一个因素。且随着城市化的发展，生命线系统的覆盖空间更大，甚至跨越几个国家和地区，存在环境更加复杂和难以控制，故从工程角度无法完全避免灾害的发生。

城市生命线系统不仅包括道路、供水管网、电力系统等传统项目，随着现代信息技术和通信技术的发展，也逐渐拓展到电磁、网络等非自然实体空间。大量的工程实践表明，造成传统生命线系统破坏的主要是地震、洪水和风暴等自然灾害；造成非自然实体空间生命线系统破坏的主要是人为灾害和技术灾害。

长期以来，灾害造成生命线系统的工程性破坏一直是灾害损失中重要的一部分。随着城市财富的不断集聚和社会的发展，由灾害引起的商业中断、信息丢失、民众的心理影响等社会损失更严重。工程措施的主要功能是保护人们免受灾害的伤害，是一种外在的保护，而非工程措施则能增强人的能动性，是抵御灾害的内在力量。

2. 非工程措施防灾减灾体系

相对于工程措施而言，非工程防灾减灾包含的内容更为丰富。其中灾害管理体制、技术立法、灾害保险和灾害教育构成了城市生命线系统的非工程防灾减灾体系。

1) 创新灾害应急管理体制

根据生命线系统的灾害特点, 组建国家、省、市及企业的多级灾害管理机构, 实行属地负责, 并根据灾害损失和影响程度的不同而分级响应的灾害管理体制, 能整合各种减灾资源, 实现信息共享, 确保生命线系统安全。

2) 制定和完善防灾减灾法律法规

涉及应对突发事件的法律、行政法规和部门规章, 以及相关文件, 构成了应急法基础。对于生命线系统, 政府主管部门也制定了相应的技术标准和规范, 这些减灾技术立法为减轻灾害损失起到了不可替代的重要作用, 但在某些领域仍存在法律法规缺失和需要进一步完善已有技术标准的问题。

3) 培育灾害保险市场

灾害保险是一种灾害风险分担的经济行为, 将灾害保险贯穿于防灾救灾的整个过程, 可以对局部受灾地区的企业和家庭财产损失给予部分的经济赔偿, 减轻当事人的损失, 促进生产和生活恢复。发展灾害保险是生命线系统灾害恢复的客观要求, 也是防灾工程科学研究的市场导向和产业化的需要。随着我国投资体制的转变, 应建立以灾害保险为主, 结合政府投入、国际援助以及社会互助等形式共存、兼顾公平的新型救灾体制, 政府、工程界、保险界应共同合作, 不断培育和发展生命线系统的灾害保险市场, 进一步完善灾害救助体制。

随着现代化程度的提高和规模的扩大, 人们对生命线系统的依赖越来越强。在灾害发生时, 生命线系统具有灾时破坏严重、波及范围广、社会影响大、次生灾害严重及灾后恢复时间长等特点。且随着信息技术的发展, 网络、通信等新型生命线系统更易遭受人为破坏。城市生命线系统的防灾减灾包括工程措施和非工程措施, 两种措施功能各不相同。工程措施是防灾减灾的物质基础, 保护人们免受灾害的伤害, 而非工程措施则能增强人的能动性, 提高人的灾害应急能力。工程和非工程措施是防灾减灾的两个方面, 不能互相替代。

【分析题】

(1) 试分析减灾防灾生命线工程系统的系统特征。

(2) 用系统论的观点分析生命线工程系统中工程措施与非工程措施防灾减灾体系及其相互之间的关系。

第2章

工程系统概述



教学要求

知识要点	掌握程度	相关知识	应用方向
工程、工程系统与工程系统论	掌握	工程的概念, 工程系统的概念, 工程系统论的概念, 工程系统论在工程科学体系中的地位	工程系统基本知识
工程的系统特征	掌握	系统的基本特征, 工程系统的动态性、矛盾性、创新性、交叉性、天人合一性及人文性	工程系统基本知识
工程系统的复杂性	掌握	大型工程是复杂系统, 工程价值观多元性、工程开放性、资源整合复杂性等因素对工程系统复杂性的影响	工程系统基本知识
工程系统理论与方法的三维结构	掌握	工程系统基本理论与方法, 典型工业门类工程系统理论与方法, 典型工程活动工程系统理论与方法	本书基本理论框架

【导入案例】

青藏铁路铺架工程工期优化问题

1. 背景

青藏铁路格尔木至拉萨段全长 1142km, 其中海拔 4000m 以上地段有 960km, 连续多年冻土区有 550km, 是世界上海拔最高、线路最长的高原冻土铁路。青藏铁路建设面临“多年冻土、高寒缺氧、生态脆弱”三大世界性工程难题。

根据国家批准的总工期要求, 铁道部审定了青藏铁路指导性施工方案, 总体部署是: 统筹安排、突出重点、由北向南、逐步推进、分段施工、分段铺轨。全线按 6 年工期组织建设, 采用单口铺架方案, 铺架工期控制在 4.5 年之内。

按可行性研究阶段施工组织设计和铺架作业实际完成指标计算,铺架作业时间为5.9年,不能满足工期要求。是推迟竣工时间,还是根据工程的客观情况进行科学合理的优化调整是摆在决策者面前的一个重要抉择。

2. 调整方案及技术论证

铺架工程是青藏铁路总工期的关键线路。为加快铺架工程的进度,较好解决方案是增加铺架作业口。因此,提出了增建安多铺架基地的优化方案,即增加安多—唐古拉、安多—拉萨两个铺架作业面平行作业。

由于铁路未通,建设位于海拔4705m的安多铺架基地面临诸多困难,最突出的是工程运输难。所需铺架机械、设备必须通过青藏铁路新线运至刚铺轨的秀水河车站进行解体,再用汽车沿青藏公路经风火山、沱沱河,翻越海拔5231m的唐古拉山垭口,行程近400km,运至安多铺架基地后,进行组装调试,恢复其原有的功能特性,才能开展铺架作业。这些大型设备的解体、吊装、超限设备公路运输及设备组装调试,牵涉到沿途的公路、桥梁、公安、电力等诸多方面,面临着设备运输安全、现场组装精度等风险,以及其他诸多不利因素。

青藏铁路公司(青藏总指)及相关施工单位组织技术攻关人员进行了充分的调研和科学论证。通过对青藏公路的通过载荷能力分析,及对大型设备解体、运输、组装需使用的设备能力分析及场地的规划,论证了大型设备解体、运输、组装的可行性,并认为技术上是可行的,有把握的,于是制订了周密、细致、科学的解体、运输及组装实施方案。

3. 经济可行性分析

工期优化方案不仅可以保证总工期,而且可以提前一年建成。虽然提前建设安多铺架基地需增加部分投资,但使该项目提前开通也能带来效益的增加。参建人员在高原工作缩短的一年时间可以带来巨大的健康效益,这也是以人为本理念的体现;高原承载力有限,减少在高原工作的人员和时间将带来巨大的环境效益;铁路提前通车可以尽早发挥对青藏两省区经济社会发展的巨大促进作用,以及规避高原施工拖延工期存在的其他风险等。综合效益远大于增加的直接工程成本。经反复论证、综合考虑认为此方案在经济上是可行的。

4. 决策与成效

2003年,铁道部以科学发展观为指导,果断做出了增建安多铺架基地的工期优化决策,对唐古拉—拉萨间线路、桥梁实施铺架,在唐古拉以北仍按原施组方案由北向南单端推进,同时开展安多—唐古拉山和安多—拉萨的铺架作业。

2004年6月22日开始从安多向两个方向同时铺架,2005年8月24日在唐古拉会合,2005年10月12日全线铺通,比原单向铺架方案提前一年多完成铺架工程,从而确保了全线总工期目标。

2.1 工程、工程系统与工程系统论

工程活动既存在着个性(差异性),又存在着共性(普遍性)。对于存在于工程中的个性的科学总结和概括形成了各种较低层次的工程科学门类;对于存在于工程中的共性的科学总结和概括就形成了各种较高层次的工程科学门类。

2.1.1 工程

狭义工程定义为以某组设想的目标为依据,应用有关的科学知识和技术手段,通过一



群人的有组织活动将某些(某个)现有实体(自然的或人造的)转化为具有预期使用价值的物质产品的过程。广义工程则定义为由一群人为达到某种目的在一个较长时间周期内进行协作活动的过程。

一项工程活动包含着以下 9 个基本要素:

- (1) 用户。期望使用工程产品的是哪个(些)人或哪个(些)组织(包括中间顾客和最终用户)?
- (2) 目标。用户期望的产品是什么? 这种产品能做些什么(有哪些功能)? 怎么做(如何工作)? 做到什么程度(性能与能力如何)? 期望它在什么条件(环境)下工作? 期望它带来什么价值或积极后果? 不希望它产生哪些消极后果?
- (3) 资源。实现用户期望目标的基本物质条件(包括原材料、设备、工具、设施、能源、信息、财政等)是什么?
- (4) 行动者。谁是工程的主承包商(即系统承包商)? 谁是工程的子承包商? 谁是工程的供应商? 谁是工程的顶级管理和监督单位? 谁是工程的后勤保障单位? 对这些组织及其所属个人的能力、素质、信誉、行为准则及道德水准的要求是什么?
- (5) 方法与技术。行动者使用哪些可用而有效的手段(包括技术的和管理的)去实现他们所承担的工程任务?
- (6) 过程。工程从什么地方或状态开始? 到什么地方或状态结束? 中间经历哪些阶段? 每个阶段中又包括哪些子阶段或步骤?
- (7) 时间。整个工程的持续时间(又叫做工程的生命周期或系统的开发周期)有多久? 每项工程活动从什么时间开始? 什么时间结束? 不同活动间的时序关系是什么? 哪些活动在时间上必须是串行的? 又有哪些活动是应该而且是可以并行的?
- (8) 活动。在工程过程的每个阶段和每个步骤中, 每个行动者应该做些什么? 依据什么(法规、文件、标准等)去做? 怎么做?
- (9) 环境。工程是在什么样的背景(其中包括国际政治、国家政策、市场竞争、技术状态、工程标准等)下进行的? 这些背景带给工程的约束是什么?

这 9 个基本要素构成了工程的基本内容。这些基本内容同时隐含着工程的基本性质和特征, 即在一切工程中, 既存在着物与物的关系, 还存在着人与物和人与人的关系; 既存在着实体, 也存在着过程。工程所具有的上述基本内容、性质和特征, 使它既有别于单纯的人类社会活动, 也有别于单纯的物质运动。

我国科学界和工程界对工程的一般看法是: 工程是直接的生产力, 工程活动是人类社会存在和发展的实践活动。在工程活动中, 不但体现着人与自然的关系, 而且体现着人与社会的关系。从根本上说, 工程活动是一种以既包括技术要素又包括非技术要素的系统集成为基础的物质实践活动。工程活动过程的一般表述应该是确立正确的工程理念和一系列决策、设计、构建和运行、制造、管理等活动的过程, 其结果又往往具体地体现为特定形式的新的存在物及其相关的人工产品或某种服务。工程活动的核心标志往往是构筑一个新的存在物。

2.1.2 工程系统

除环境要素外, 工程其他的 8 个基本要素相互紧密地联系在一起, 组成一个整体或全