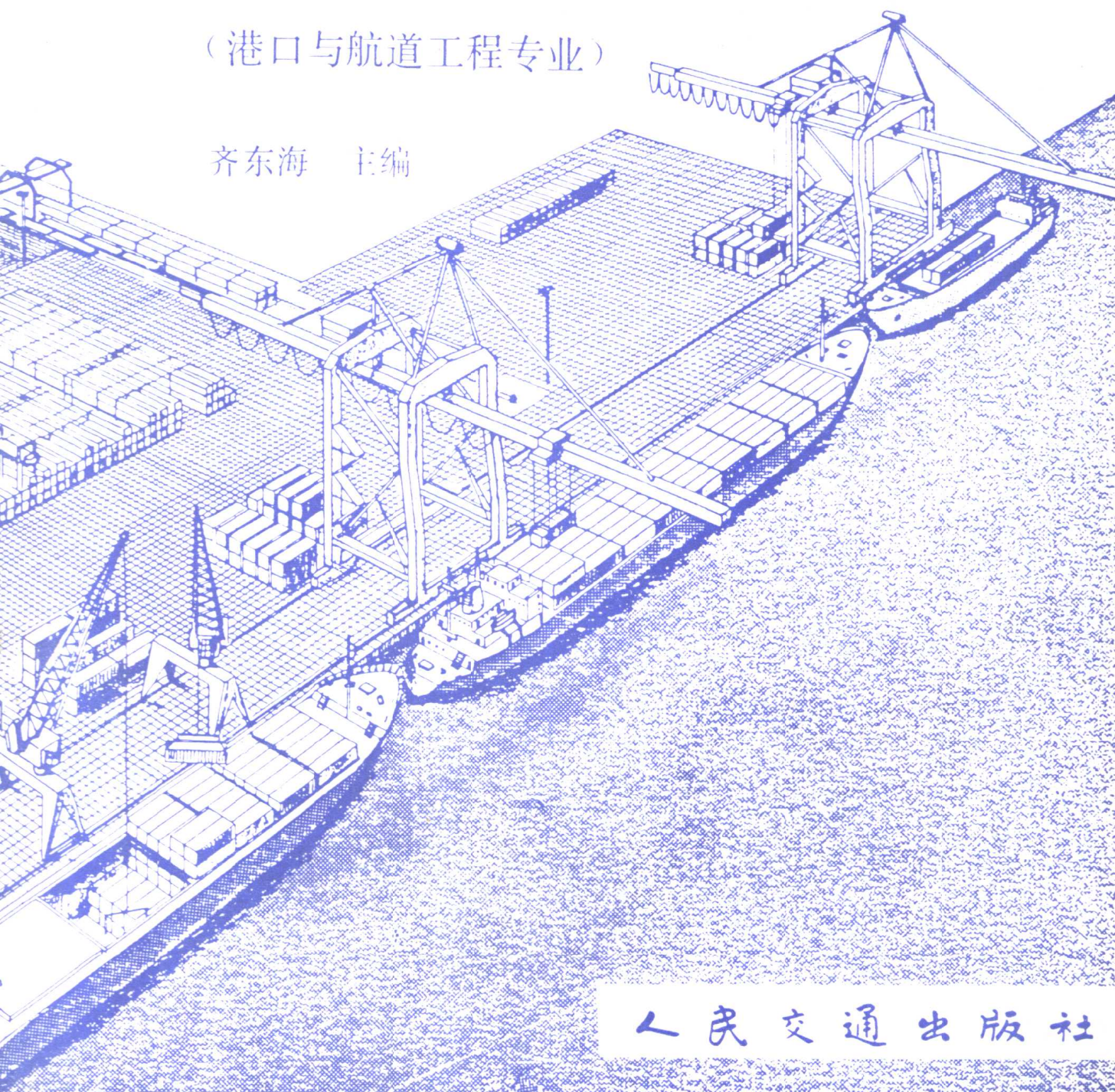


高等学校试用教材

港口工程系统分析方法

(港口与航道工程专业)

齐东海 主编



人民交通出版社

高等学校试用教材

~~93 3820~~

U655

9600014

港口工程系统分析方法

GANGKOU GONGCHENG XITONG
FENXI FANGFA

(港口与航道工程专业)

齐东海 主编

(京)新登字091号

高等学校试用教材
港口工程系统分析方法

齐东海 主编

插图设计: 陈竞 正文设计: 乔文平 责任校对: 高琳

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

顺义牛栏山一中印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 插页: 1 字数: 480 千

1991 年12月 第1版

1991 年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3000册 定价: 5.10元

ISBN-7-114-01167-9

U·00768

内 容 简 介

在港口的建设和管理中，迅速作出正确而有效的决策，并取得最优的行动，需要依靠现代管理科学。系统分析是利用数学模型进行优化分析的一种现代管理技术，它为大型复杂的工程项目的决策提供了有效的方法。本书论述了这些方法的基本概念、原理、方法和应用。

本书可作为研究生和本科生选修课的教材，同时对从事规划、设计、施工和管理的工程师也是一本有益的参考书。

前 言

港口作为交通运输枢纽是一个庞大而复杂的系统。由于港口系统本身的特点，在大型港口工程建设和经营管理中作出正确而有效的决策有相当的难度。为解决当前港口建设和经营中的问题，除依靠国家的政策，增加投资，增建新泊位，开辟新港口及对现有港口进行技术改造外，更重要的是利用现代科学管理方法提高现有港口的管理水平，提高泊位效率，对新建港口合理选址、规划和布置，在港口建设中缩短工期、降低成本和合理利用资源。决策是现代科学管理的关键，正确的决策不仅依赖于管理者的智慧、才干和经验，还必须依赖于科学方法，借助于系统分析的理论和方法，利用数学模型，通过计算和分析，得出定量的优化的结果，以作为实施的依据，并预测和判断所采取的实施效果。

为此，编者在多年教学和科研的基础上编写此书。书名虽为《港口工程系统分析方法》，但本书所阐述的系统分析的理论和方法也完全适用于其它土木工程。本书共分八章，使用本书时可根据实际情况，有选择的讲授。

由于篇幅所限，整数规划和非线性规划虽然在港口规划及管理中也是很重要的方法，但未编入本书。除系统模拟一章外，其它各章均未涉及计算机程序内容，计算机是为复杂系统迅速作决策的强有力的工具，本书所论述的方法都有可兹利用的电算程序，读者可参考有关书籍。

现在，系统概念已普及到一切科学技术领域，系统思想已在生产企业、工程管理、科学研究部门的广阔领域中起着支配的作用，技术已经发展到使人们用“系统”思维思考一切问题了。所以，在第一章里用了比较多的篇幅阐述系统和系统分析的概念。

系统分析方法的理论基础是“运筹学”。本书在论述上应用了一些概率统计、线性代数、随机过程的概念，这些数学知识也是管理科学的基础，虽然有些章节数学描述较多，但对理解和掌握该方法是有利的，也有利于深入学习。

系统分析作为一门技术科学在解决复杂系统问题上已显示出它的作用和效果，但在实际应用上还需要进一步研究，本书只提供一个入门。

本书由大连理工大学齐东海主编，河海大学李开运主审，天津大学孙锡衡、大连理工大学桂玉昆参加编写。第一、二、三、四章由齐东海编写，第五、八章由孙锡衡编写，第六章由桂玉昆编写，第七章由齐东海、桂玉昆合编。在本书编写过程中，大连理工大学应用数学系冯恩民和土木系周世昌审阅了部分章节并提出了宝贵意见，在此表示衷心地感谢。

编 者

1990.12.20

目 录

前 言

第一章 系统、港口工程系统、系统分析.....	(1)
第一节 系统.....	(1)
第二节 港口工程系统.....	(8)
第三节 系统分析.....	(11)
第二章 线性规划.....	(27)
第一节 线性规划问题.....	(27)
第二节 线性规划数学模型.....	(29)
第三节 线性规划问题的几何性质.....	(33)
第四节 凸集和极点.....	(36)
第五节 基本解.....	(37)
第六节 单纯形法.....	(39)
第七节 人工变量.....	(49)
第八节 对偶问题.....	(55)
第九节 对偶问题的经济意义.....	(61)
第十节 对偶单纯形法.....	(63)
第十一节 线性规划灵敏度分析.....	(66)
第三章 动态规划.....	(74)
第一节 多阶段决策问题.....	(74)
第二节 多阶段决策过程.....	(77)
第三节 逆推优化过程模型及解法.....	(78)
第四节 最优化原理.....	(83)
第五节 级序列倒排的递推过程.....	(84)
第六节 具有分支系统的决策过程.....	(92)
第四章 网络计划技术.....	(97)
第一节 概述.....	(97)
第二节 CPM/PERT网络图及网络图绘制.....	(99)
第三节 网络计划时间参数计算.....	(104)
第四节 网络计划的调整与优化.....	(115)
第五节 计划评审技术 (PERT)	(132)
第六节 图示评审技术 (GERT)	(138)
第七节 随机网络模拟方法 (GERTS)	(148)
第五章 决策分析.....	(152)
第一节 决策与决策方法的概念.....	(152)

第二节	非确定型决策分析.....	(154)
第三节	概率型(风险型)决策分析.....	(157)
第四节	有预报信息的决策分析.....	(162)
第五节	信息的价值和灵敏度分析.....	(169)
第六节	效用分析.....	(171)
第七节	多目标决策分析.....	(175)
第六章	存贮系统.....	(189)
第一节	存贮问题.....	(189)
第二节	存贮系统的基本概念.....	(190)
第三节	确定性存贮模型.....	(191)
第四节	随机性存贮模型.....	(197)
第五节	多品种存贮模型.....	(202)
第七章	排队系统.....	(208)
第一节	排队问题和排队系统的组成和特征.....	(208)
第二节	顾客到达分布和服务时间分布.....	(212)
第三节	港口排队系统模型.....	(221)
第四节	排队系统的最优化.....	(241)
第八章	系统模拟.....	(244)
第一节	系统模拟的概念.....	(244)
第二节	随机数和随机变量的生成.....	(250)
第三节	随机数检验与模拟精度估计.....	(258)
第四节	系统模拟方法的应用.....	(263)
附录		(291)

第一章 系统、港口工程系统、 系统分析

第一节 系 统

系统普遍地存在于我们生存的宇宙之中，系统可以象宇宙本身那么大，又可以象原子那么小。系统首先表现为自然形态，称为自然系统。然而在人类生存的条件下，又出现了无数的各种人造系统。只有在近代人们才科学地认识和理解自然系统和人造系统的结构和特征。

在这一节里，将要阐明有关系统的定义和特征，系统的形态，系统的结构，为研究港口工程系统及系统分析提供一个基础。

一、系统的定义和特征

在现代系统研究中，关于系统的定义有很多。恩格斯早在19世纪就对系统给予了明确的含义，“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程集合体”^{*}。这里所说的“集合体”就是系统，“过程”就是系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化。

奥地利生物学家L·贝塔兰菲(Ludwig von Bertalanffy)在其所著的《一般系统论》中把系统定义为“相互关联的元素的集”。所谓相互关联是指元素集 X 在关系集 R 中，这种关系可以归结为因果关系和影响关系。例如港口装卸作业系统是船—装卸机—仓库（或车辆）的关系，或者是信息—控制—目的的关系。对任意系统元素 $x_i \in X_i \subset X$ 和 $x_0 \in X_0 \subset X$ 之间的关系，可用 R 表示，即

$$x_i R x_0 \quad \text{或} \quad x_0 R x_i \quad (1-1)$$

这种关系也可写成为

$$x_0 = R(x_i) \quad \text{或} \quad x_i = R(x_0) \quad (1-2)$$

当 $x_i \in X_i, x_0 \in X_0$ 之间存在一对一的对应关系时，这种对应叫做映象，即对应于任一 x_i 总有一个 x_0 存在，反之，有一个 x_0 也决定着有一个确定的 x_i 存在。 x_0 是 x_i 的映象， x_i 是 x_0 的原象。若 X_i 是原象 x_i 的集合， X_0 是映象 x_0 的集合，这种关系 R 就是 X_i 和 X_0 的顺序对关系，可表示为

$$R = X_i \times X_0 = \{(x_i, x_0) \mid x_i \in X_i, x_0 \in X_0, x_0 = R(x_i), x_i = R(x_0), i, 0 = 1, 2, \dots, n, i \neq 0\} \quad (1-3)$$

所以系统可表示为

$$S = \{X \mid R\} \quad (1-4)$$

即系统 S 是以具有 R 关系的集合 X 来表征。

我国科学家钱学森在其所著《论系统工程》一书中给予系统的定义为：“把极其复杂的研

^{*} 《马克思恩格斯选集》第四卷，第239～240页。

制对象称为‘系统’，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。

这一定义除阐明了系统内部具有可以分析的结构和这些结构部分之间的关系外，还阐明了系统是有特定功能的有机整体和系统的层次关系。

根据上述定义，我们可以把通常所说的交通运输系统、河道通航系统、港口、港口装卸作业系统等等都可称为‘系统’。因为它们都是由构成统一整体的相互关联的元素或组成部分的集合。我们也可以把一个组织的和管理的系统视为“系统”，因为它们是一个许多方法的或综合规划的或过程计划的协调体。又如哲学系统和经济学系统也可视为“系统”，因为它们是知识或思想的专门领域中的论据、原理或学说的有规律的和综合的集合。但是，不是每一种事物的集合都是系统，例如，一个随机组成的事物，虽然事物间有确定的关系，但是没有特定的功能和有意义的目标，不是一个有机的统一体，因而不能称为系统。

系统是由组成部分、特征、关系所构成。组成部分是系统的运行部分，由输入、过程和输出所组成。对每个系统的组成部分都可以赋以各种数值来描述系统的状态。特征是系统组成部分的性质或可辨认的现象，特征由系统的参数来表征。关系是组成部分之间和特征之间的连系。

任一系统都是由具有共同目标的、在一起工作的、相互连系的组成部分所构成的集合。组成部分的集合具有下列性质：

1. 集合中的每一个组成部分的性质和行为影响集合整体的性质和行为；
2. 集合中的每一个组成部分的性质和行为与集合中的其他组成部分的性质和行为有关；
3. 组成部分的每一个可能的子集合也都有上述的两种性质。组成部分不能分解成不相关的子集合。

系统的有机关联性与其整体性之间的关系，可用贝塔兰菲的一组微分方程来描述。

$$\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt} &= f_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ &\vdots \\ \frac{dQ_n}{dt} &= f_n(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ Q &= [Q_1, Q_2, \dots, Q_n]^T \in R^n\end{aligned}\tag{1-5}$$

令式中 Q_i 表示系统中某元素 $x_i, i=1, 2, \dots, n$ 的某种量，上列微分方程组表明任一个 Q_i 量的变化都要受到 Q 的制约，因而是 Q 的函数。反之，任一 Q 的变化也会影响到所有其他量以至整个方程组的变化。由此可见系统是一个由相互关联因素构成的整体。

系统的性质不是其组成部分性质的简单总和（代数的总和），而是系统（整体）大于其组成部分的总和，这是一般系统论关于系统的一个基本观点。系统的特征不能由孤立的各组成部分的特征来说明。

人造系统都具有目的性。系统的目标必须明确地确定，以使系统的组成部分对每一个已知的输入可以转换为所要求的输出。目标一旦确定就建立一个表明系统能够实现的有效的措施。

系统完成有目的的活动即是它的功能。普通系统的功能是变革资源、能量和信息，这种

变革包括在输入、过程和输出之中,例如发电系统是将煤转变为电,工程建设系统是将资源、能量和信息转变为建筑物,计算机系统是处理信息,管理信息系统是将加工后的数据转变为决策和行动。

变革资源、能量和信息的系统是由结构部分、运行部分和流动部分所组成。结构部分是静态部分,运行部分是执行过程部分,流动部分是处于变化中的资源、能量和信息。

系统是多层次结构,由于每个系统都是由组成部分所构成,任一组成部分本身也可以是一个系统,这个系统又可分成小的组成部分。若在一已知系统中含有两个层次时,低层次的就叫做子系统。例如一港口生产作业系统由船舶航行作业系统、装卸作业系统、存储作业系统、集疏运系统所组成,这四个系统都可看作为港口生产作业系统的子系统,而码头、装卸作业锚地、装卸机械、运输机械、人、货物、信息等是装卸作业系统的组成部分。系统、子系统、组成部分都是相对的,某一层次的系统可以是另一层次的组成部分。每一个系统都可以是一个其所从属的大系统的部分。我们可以用下列数学关系来描述系统的层次。

假设 S 表示系统, S_i 为下一级的子系统, R 表示系统的关系,则

$$\begin{aligned} S &= \{S_i \subset S \mid R_i\} \\ R_i &= \{(S_{Ti}, S_{0i}) \mid S_{Ti}, S_{0i} \subset S, S_{0i} = R(S_{Ti}), S_{Ti} = R(S_{0i})\} \\ S_{Ti} \cap S_{0i}' &\neq \phi, (i, 0 = 1 \sim n, i, i' = 1 \sim m, i \neq i') \end{aligned} \quad (1-6)$$

而 S_i 的下一级子系统 S_{ij} 可写成

$$\begin{aligned} S_i &= \{S_{ij} \subset S_i \mid R_{ij}\} \\ R_{ij} &= \{(S_{T,ij}, S_{0,ij}) \mid S_{T,ij}, S_{0,ij} \subset S_i, S_{0,ij} = R(S_{T,ij}), S_{T,ij} = R(S_{0,ij})\} \\ S_{T,ij} \cap S_{0,ij}' &\neq \phi, (i, 0 = 1 \sim n, j, j' = 1 \sim p, j \neq j') \end{aligned} \quad (1-7)$$

系统具有明确的边界,系统的边界是系统与其环境的交界面,或者是一个系统的组成部分之间的交界面。系统边界以外的任何事物都称为环境,可以说没有一个系统孤立于环境之外。资源、能量、信息往往穿过边界成为系统的输入,反之,资源、能量、信息从系统到环境叫做输出。以某一种形式进入系统,以另一种形式离开系统,通常叫做通过量或生产量。

系统的环境只能在系统的边界确定后才能确定。由于系统以外的所有事物都是环境,一个系统和其边界的确定就导致它的环境的确定,反之亦然。确定系统的范围及其边界是求解问题的重要部分,恰当地确定系统的组成往往是求解问题过程中比较难的问题。

现在我们把系统的最一般的特征归纳如下:

1. 一个系统是由若干元素(过程)组成的元素(过程)集合;
2. 组成系统的元素(过程)形成一定层次的多维结构;
3. 各个层次的组成部分之间通过相互作用相互制约形成一定的关系;
4. 相互连系、相互作用的组成部分在一定的结构层次上组合成不同水平的系统;
5. 这个一定水平的系统与同一水平上的其他系统结合在更高层次的系统中;
6. 系统的结构、关系、功能、运动都具有一定的规律;
7. 所形成的系统是具有一定目的、一定功能的有机整体。

二、系统的形态

根据系统的组成部分、特征和关系,系统又表现出各种形态。根据系统的形态可以将系统分类,有助于对系统广泛深入地观察和研究。现在,将系统分为自然系统和人造系统,实体系统和概念系统,静态系统和动态系统,封闭系统和开放系统。

1. 自然系统和人造系统 自然系统是由自然过程形成的系统。人造系统是由于人类的存在通过组成部分、特征和关系介入自然界而构成种种人造系统。

所有的人造系统当它们实现时都构成自然世界的一部分。人造系统和自然系统之间往往存在着重要的交界面,在许多方面它们相互影响着,人造系统对自然世界的影响,只有在近期才成为一个严峻的问题,引起了人们的极大重视。

自然系统具有一种高度的秩序和平衡,最明显的是季节、食物链、水循环、海洋中的潮汐现象等。有机物和植物都与环境保持着平衡,自然海滩的泥沙运动也与波浪和流的动力作用维持着平衡状态。自然界中的每一事物都伴随着一种对其环境恰如其分的适应性。最重要的现象之一是物质流处于循环状态下,这种循环状态在自然环境中是没有尽头的,维持着连续不断地再循环。

近一个世纪来,人造系统有了迅速地发展,构成了一个人造世界,对自然界施加了巨大的影响。人造系统破坏了自然系统的平衡状态,反过来自然系统又对人造系统进行报复。西北非洲的毛里塔尼亚努克瓦肖特港建成后产生严重的淤积和冲刷,就是一个例子。该港位于努克瓦肖特以南15km的大西洋海岸,该处海岸开敞平直,走向南北约偏西,海滩在-8m以内岸坡均匀一致,等深线相互平行,海滩坡度1/30左右,在-8m以外,海底坡度为1/1000。海滩物质为细砂。该海区波向多集中在NW和WNW两个方向,波高主要集中在0.8~1.2m。沿岸流最大流速为1.34m/s,流向从北向南。在波浪和水流的作用下形成一自北向南的沿岸输砂,沿岸输砂率约为60~90万m³/y,该港口布置成半开敞式的单突堤形式,突堤由引桥、码头和防波堤三部分组成,引桥与岸边垂直向西延伸,长750m,码头与引桥末端相连接,方向西30°南,长585m,码头西端接西70°南的防波堤,堤头距岸上基线1340m,与引桥水平距离420m,堤头处海底高程为-10.5m。

港口建成后,破坏了海滩的自然平衡状态,沿岸输砂受到拦截,上游岸线发生淤积,预测港口淤积年限约为30年,下游岸线受到严重的冲刷,从观测结果可知,一年内海岸最大冲刷宽度达55m,岸线后退,必将危及某些工程设施,给港口带来危害,然而人们又必须采取工程措施以有效地对付自然系统对人造系统的反作用,防止危害的发生。

人造系统与自然系统的相互作用是从事工程建设的人们必需慎重对待的问题。

2. 实体系统和概念系统 实体系统是系统本身明显地是一个实体,它是由实在的组成部分所组成,要占据实在的空间,如一个港口、一座码头、仓库等,而概念系统不是一个实体而是用符号来表示其特征的,如思想、计划、概念、原则和学说等都属于概念系统,它是思想的组织,一个实体系统出现以前往往先作设计和计划,这种设计和计划即是概念系统,一个拟建的实体系统也可由数学模型或其他概念性的模型进行模拟,在现实世界中,概念系统对实体系统的建造和运行起着十分重要的作用,一个复杂系统往往既包括实体系统又包括概念系统。

对一个已存在的系统,我们可以应用一种手段来控制系统的状态,这种手段可以是一种思想、计划或某些知识,也可以通过操作、运行和制造。在实体系统和概念系统中这种手段都是同样存在的,并在不同层次上产生不同的手段。对一个总系统来说,对其运行的主要手段是由子系统提供的,而子系统又依赖于更细的子系统,子系统的目标即是总系统的手段,根据研究的目标我们可以把系统限定在任一子系统的层次或手段上。

3. 静态系统和动态系统 静态系统是只有结构而无活动的系统,系统不随时间发生变化,例如一座任一结构型式的码头建筑物。动态系统是结构和活动相结合的系统,系统的状

态在时间上是变化的，例如一个港口是由码头水工建筑物、装卸和运输设备、仓库、货物、工人、制度、计划等组成的动态系统，港口的营运状态是变化的。

一个系统只是在限定的参考系中才被认为是静态的，码头水工建筑物可看作为静态的，然而，码头在整个建造期间则是一个动态过程，建成后，在运行期间，它被维护或者不断改变和完善它的服务目标，这也是个动态过程。

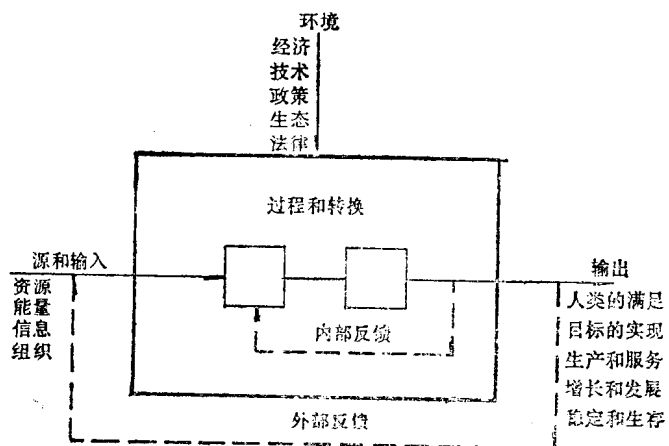
系统可以认为具有随机性质，几乎所有的系统包括自然系统和人造系统，其输入、过程和输出只能用统计特征来描述，输入的数量和时间往往具有不确定性，例如，港口中准确地预测一个航次到达的旅客（或货物）的数量，和船只到港的间隔时间是很困难的，然而，我们可用某种概率分布来描述船只到港间隔时间和一个航次到港的旅客（或货物）数。系统运行表现的随机性也说明系统的动态性。

4. 封闭系统和开放系统 封闭系统是与环境明显地不发生相互作用的系统，没有物质出入该系统，环境只对系统提供一个存在的位置。封闭系统呈现一种由于其内部的僵化而形成的稳定特性。封闭系统有确定性的相互作用，其初始状态和最终状态具有完全的一致性，在任何封闭系统中，最终状态肯定是由初始条件所决定，如果初始条件或过程有改变，最终状态也将发生改变。

开放系统是与环境发生相互作用的系统，允许物质、能量、信息跨过它的边界，出入该系统，例如生态系统和商业贸易系统。开放系统与封闭系统不同之处还在于不同的初始条件可能以不同方式达到相同的最终状态，即所谓的等结果性。开放系统也会呈现出稳定状态，只要达到稳定状态就与初始条件无关，并必然表现出等结果性。开放系统模型的基础是为适应环境的变化系统元素间的动态相互作用，因此开放系统具有自动调整和自动适应环境的功能。

区分一系统是开放系统还是封闭系统并不总是容易的。典型地开放系统是靠自然过程形成的。人造系统具有开放系统和封闭系统的特性。当所设计的系统输入是不变的而输出是以统计特征来描述的，这种系统是封闭系统。

封闭系统和开放系统都有熵的性质。这里所谓的熵是系统中无规律的程度，类似热力学中熵的应用，在热力学中，熵是由于能量以一种形式转化为另一种形式所形成的无用能。



在系统里，增加了熵就意味着加大了系统的无规律性。当有序产生时就会发生熵的减小。生命表现为从无序到有序的过渡，碳、氢、氧原子和其他元素组成复合的和有序的形式时就产生有生命的有机体。对熵有意识地减小必然导致人造系统的创生。所有的人造系统从很原始的到很复杂的都是使熵减小，从很少有序的状态创造出较多有序的状态。

三、系统的结构

系统的基本结构如图1-1所示。图中表示了系统内部参数间的关系和系统与外部环境间

的关系。系统参数是系统外部和内部变量间的关系和系统的特性。系统参数包括源、输入、过程和转换、输出、接受者的效应、反馈。

源 对进入系统中的每一种输入往往有可选择的源。例如,管理者通常根据需要改变源,如改变所用原材料的种类和材料的供应者,当评价一个系统或过程时,管理者可以有选择地聘请顾问和咨询者。

输入 输入的状态影响最终的过程或输出的状态,因此应从允许的源中选择能符合要求的输入。例如混凝土构件的质量首先依赖于原材料的质量、工人的技术素质、工艺设计的质量和质量管理方法。

过程和转换 过程和转换是系统的重要参数,它与输入有关。过程的效率由如何转换来衡量,转换的结果应使之没有资源和能量的损失。效率是输出与输入的比。在工程建设过程中必须考虑技术和经济两方面的效率,技术效率是在已知输入的条件下获得较大的输出;经济效率是在已知投资的条件下获得较大的产出值。通常,比较多的系统的过程和转换存在着较大的效率损失,因而有必要对系统的实际过程如信息过程、决策过程和其他管理过程进行改善使之合理化和完善化。

输出 从一个系统中输出到环境中的任一事物即为输出。输出可以是物质、能量、信息等形式,可以是实体的或概念的,有形的或无形的。例如输出可以是一套码头建筑物的设计图纸和说明书,也可以是已建成的码头建筑物。

接受者的效应 这是另一种有意义的输出,它具有数量值或某种特殊的功效。对使用者来说,有价值的输出可为可靠度、精确度、稳定性、经济性等。同一种系统的输出对不同的使用者可有不同的要求。

在过程和转换中,可能发生不完全符合预定要求的情况,通过检查和试验找出差异,修改设计,称为反馈。反馈是对输出量与输入量之间进行比较,使两者间保持既定的关系和平衡状态。反馈是系统本身进行自动调整和控制的一种功能。

四、系统科学

在古代人类社会实践经验的基础上逐渐产生了最早的系统思想,基于对系统的实践认识(感性认识)逐渐形成了对系统的哲学认识(理性认识),朴素的整体思想在古希腊和中国古代的哲学中以朴素的辩证法形式表现出来。古希腊唯物主义哲学家,辩证法奠基人之一赫拉克利特(约前540—约前480年)在其《论自然界》一书中说:“世界是包括一切的整体。”古希腊唯物主义哲学家德谟克利特(约前460—前370年)的名著《宇宙大系统》,把宇宙作为一个系统,可能是最早利用“系统”一词的书。古希腊哲学家、科学家亚里士多德(前384—前322年)提出“整体大于各部分之和”的著名论断。我国春秋末期的思想家老子提出了“道生一,一生二,二生三,三生万物”的观点,用“道”来说明宇宙万物的演变,用“道”解释客观自然的规律,强调自然界的统一性。用自然的系统观念来考察自然现象,这是古希腊和古代中国的唯物主义哲学思想的一个特征。但是它不具有现代系统科学的含义。从科学的角度看,系统一词具有现代科学的含义始于美国工程师泰罗(F. Taylor),他于1911年发表了《科学管理原理》一书,书中提出了系统概念。在工程设计中最早(大约本世纪40年代)采用系统思考方法的是丹麦哥本哈根电话公司的爱尔兰(A. Irlang)和美国贝尔电话公司的莫林纳(G. Molina),他们在电话通讯的开发中采用了系统分析。本世纪50年代美国兰德公司

(RAND研究与开发)*采用系统分析方法对军事作战行动进行了系统研究。

本世纪40~50年代期间，相继出现了系统工程、运筹学、一般系统论、控制论、信息论和电子计算机等新兴学科。其中，系统工程属于技术科学，运筹学属于应用数学，与系统工程密切相关。一般系统论则与理论生物学和哲学密切相关。它们之间以及它们与控制论、信息论、电子计算机科学技术之间的联系又十分密切。我们可以把它们看作为一组有着内在联系而又密切相关的科学群。它们又与某些基础学科如哲学、方法论相联系。由于社会和生产发展的需要，这些学科的应用日益扩展，并迅速地发展，相互渗透，相互结合，日益显示出重大的意义和作用，产生深远的影响。一直到70年代前后，在这些学科的基础上开始形成了系统科学。系统科学是把关于系统的概念、数学理论和系统工程、运筹学、控制论、信息论、计算机科学技术及这些学科的广泛应用，甚至包括哲学、社会科学、方法论在内的总称。图1-2所示为钱学森的系统科学体系图。

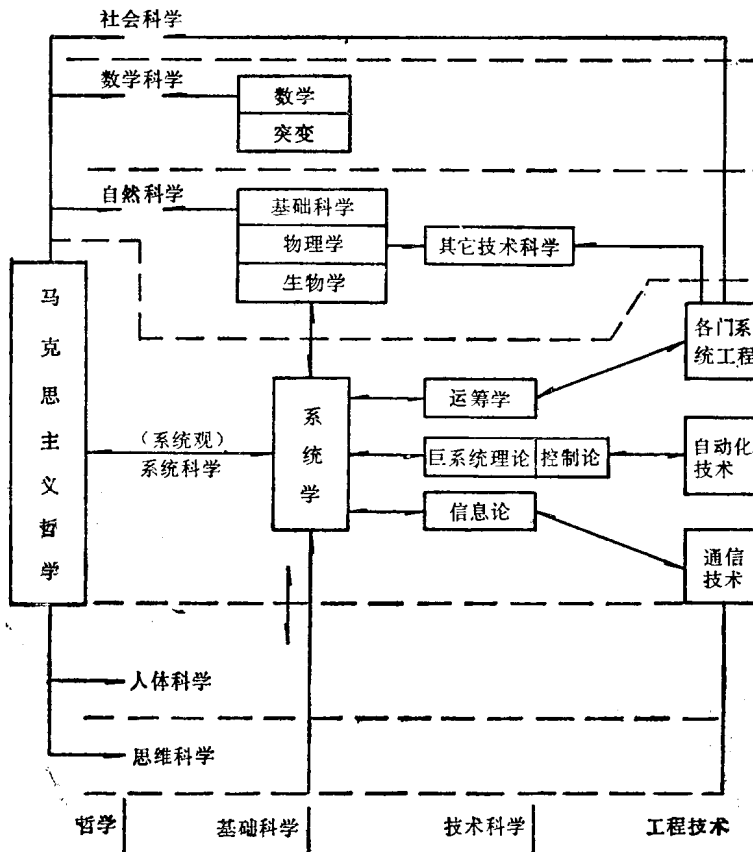


图1-2 钱学森的系统科学体系图

钱学森把系统科学看成与自然科学、数学科学和社会科学具有同等地位的一门科学。他认为这门学科还应包括系统学，即把运筹学和控制论、信息论结合起来的理论。他把科学体系分为四个台阶：哲学、基础科学、技术科学、工程技术。系统科学体系包括这四个台阶的内容，系统观是关于系统的一般哲学、方法论观点。运筹学、控制论、信息论是系统科学的技术科学。各门系统工程、通讯技术、自动化技术则是系统科学的工程技术。

* RAND是 Research and Development的缩写。

第二节 港口工程系统

港口作为交通运输枢纽是一个庞大而复杂的系统。它是水陆联运的咽喉,是铁路、公路、水路和管道几种运输方式的枢纽,在整个综合运输系统中占有重要的地位。

港口系统的建设和发展将有力地推动: 1. 以港口为中心的水陆运输联接点地区性的综合开发; 2. 促进城市的建设发展和对外开放事业的发展; 3. 外贸事业的发展; 4. 工业的发展; 5. 商业和服务业的发展; 6. 旅游业的发展; 7. 文化事业的发展。港口能力受与其连接的各种运输方式能力的制约, 反过来港口能力也影响与其连接的各种运输方式能力的发挥。港口促进城市的繁荣与发展, 反过来城市的繁荣与发展也促进港口建设的发展与完善。港口为国与国间的贸易往来、文化交流、人民友谊的传送创造了条件, 反过来国与国间的状态的改善也极大地影响港口的建设与经营状况。港口系统的状态与其环境有着极其密切的联系, 并且有与环境相互作用、相互制约的较高的敏感度。

港口作为交通运输枢纽是一个总系统。根据港口的功能, 港口的工程组成, 港口生产作业的类型和作业区的划分, 港口的管理系统等可划分为许多子系统, 每个子系统又有多个下属的子系统。在每个层次上都包括所有的组成部分, 这些组成部分的所有特征和关系。每一个子系统都有它的运行范围和边界, 他们之间是互相联系, 互相依存, 互相制约的。他们有各自的目标和功能, 他们组合起来是一个有机的整体, 并实现整体目标。港口这个总系统又是从属于整个综合运输系统中的子系统。

例如大连港, 是一个多功能的综合性港口, 分为几个作业区: 1. 鲇鱼湾港原油作业区; 2. 寺儿沟成品油装卸区; 3. 大港车部件杂货装卸区; 4. 大港西部件杂货装卸区; 5. 黑咀子小轮装卸区; 6. 香炉礁杂货码头装卸区; 7. 甘井子散货出口装卸区; 以及即将形成的; 8. 和尚岛煤炭码头和危险品码头; 9. 大窑湾集装箱港区。已形成的和即将形成的九个作业区即为大连港这个总系统的子系统。每个子系统又可独立地看作为一个总系统。

港口是一个生产系统。它为船舶安全地进出港和靠离码头, 货物的装卸, 旅客的上下, 货物的储存和转运等生产服务。港口作为一个生产系统, 为了顺利地完成任务, 必须具有下列四个子系统:

1. 船舶航行作业系统;
2. 装卸作业系统;
3. 存储作业系统;
4. 集疏运作业系统。

各个系统必须相互适应配合才能使港口生产作业顺利地进行, 各个系统的协调配合就构成港口的综合生产能力一通过能力。

港口的生产任务要靠泊位系统的业务活动来实现。码头泊位一方面运走进港的货物, 同时又要接收运进的出港货物, 并将已运进的货物发送给收货人。一个泊位即是一个系统, 称为泊位系统。泊位作业系统(以卸船作业为例)也包括四个作业子系统:

1. 船舶作业系统 泊位系统的首要组成部分, 每类货物都必须通过船舶作业系统, 它明显地对泊位货物装卸速度有很大影响。
2. 码头转运系统 这个系统或采取直取方式, 或间接疏运方式, 或半直接疏运方式。
3. 储存系统 当码头转运系统采用间接疏运方式时, 将发生货物的储存过程, 而有储

存系统。

4. 交货系统

各港口泊位系统将随货物种类、货主要求、码头设计、货物处理方法和作业程度不同而异。上述四种子系统的重要程度也随每种疏运方式的货流量大小而变化。分析泊位系统的状态是港口管理者为提高泊位利用率和增大泊位吞吐能力的重要工作。

为了实现港口作为一个交通运输枢纽的功能和发挥港口的综合生产能力，港口必须建成有效的工程系统。港口是各种工程建筑物（水工建筑物、房建、铁路、道路、给排水设施等）和设备所组成的有机的综合体。港口中的建筑物和设备为货物装卸、存储，为旅客上下，为船舶、车辆安全、迅速、低消耗运行服务。港口水工建筑物是这个有机综合体的主要部分，它由下列相互联系相互配合的建筑物所组成：防波堤、码头、护岸、铺地、航道、回转水域、码头前沿水域、灯塔等。

在港口工程建设中为有利于工程计划和施工控制而将一港口工程建设项目划分为单项工程、单位工程、分部工程和分项工程四个层次。单项工程是建设项目的组成部分，是指在一个建设单位中，具有独立的设计文件，竣工后可以独立发挥生产能力或工程效益的工程，如一座码头。单位工程是单项工程的组成部分，是指具有单独的设计，可以独立组织施工的工程，如码头水工建筑物。分部工程是单位工程的组成部分，每一分部工程是按建筑物的主要部位划分，如重力式码头的基础工程。分项工程是分部工程的组成部分，分项工程是按建筑物的主要工序（或工种）划分，如重力式码头基础工程的基槽挖泥清淤、基床抛石、基床夯实、基床整平等。各组成部分或各元素之间的关系是严格的先后顺序的逻辑关系。这种关系反映在施工网络计划图中。

大连港大窑湾港一期工程的项目划分如图1-3所示。

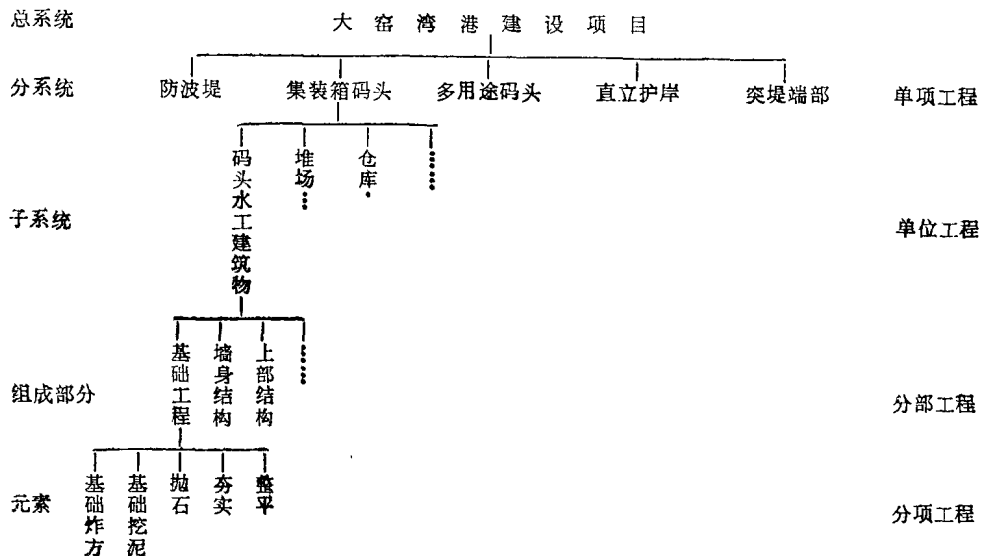


图1-3 大窑湾港一期工程项目划分图

港口工程管理信息系统 信息系统(信息流)是推动港口运转的动力，它使港口活动有效地运行。在经济实体中使用管理信息就是把加工后的数据提供给各管理职能和管理层次，作为有效地进行计划、协调和控制经营活动的辅助工具和制订正确决策的基础。

管理信息系统本身并没有自己的内在价值，只有使用了管理信息系统，即根据所提供的

信息作出决策，并据此采取行动，才能产生价值。这种价值主要表现为：1. 提高组织机构目前的和将来的效率；2. 更有效地利用资源；3. 降低成本；4. 增加利润；5. 确保实现目标。

港口管理信息系统的主要组成：

1. 船舶信息 现在正在使用的或将要使用的每一艘船的完整的详细情况，船舶在港内的移动，船舶装卸货物吨数，船舶在港内停留时间，停靠泊位时间，停靠泊位时装卸货物时间，港口是否提供拖船等。
2. 货物信息即货物分类 对装卸的货物除按装船货和卸船货分类外，还应按货物种类、包装方法、贸易类型划分。
3. 作业信息 指货物装卸作业信息，尤其是每条船停靠泊位的时间和装卸该船的工时、台时，这种信息构成监控港口效率的主要数据，根据这些数据可以研究如何有效地利用港口设施、固定建筑物、机械设备和劳动力。
4. 泊位吞吐量和占用率 这类信息与港口泊位的利用情况有关。为评价港口是否拥有最优的泊位数，以及是否有效地利用了这些泊位，研究泊位吞吐量和泊位占用率这两个指标是十分重要的。
5. 货物出港速度信息 港口经营中的一个重要问题是货物出港速度，由于船舶在港的日成本很高，因此，必须加快船舶的进出。港口清出货物的速度与接收货物的速度密切相关。

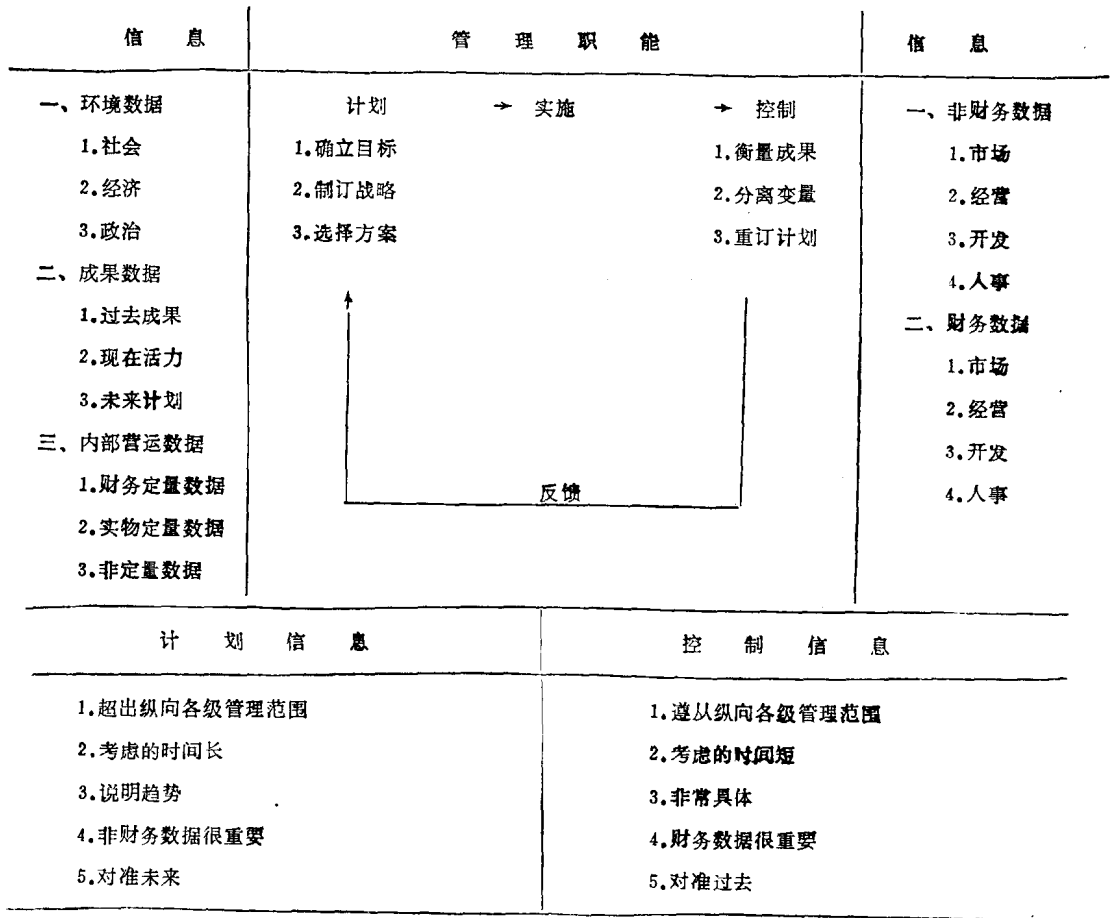


图 1-4 管理信息剖析图