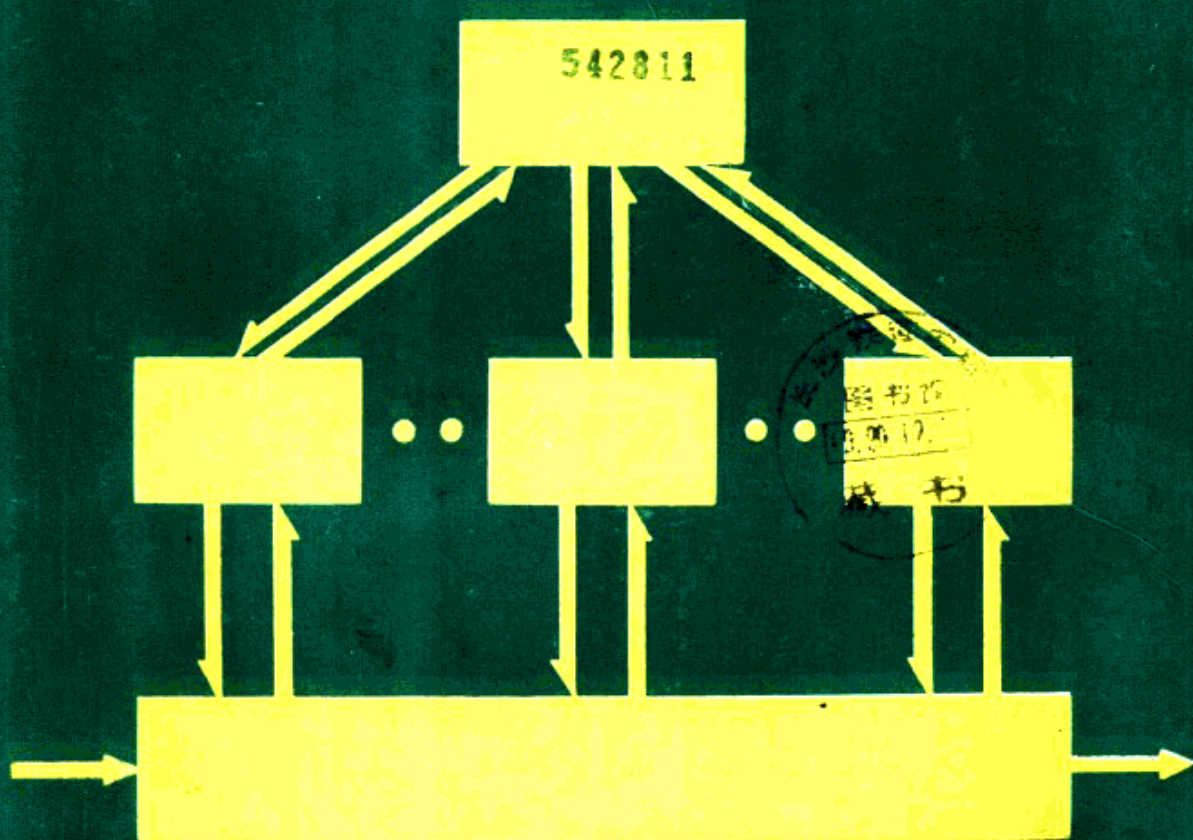


机车车辆 生产系统工程

陈善雄 编



西南交通大学出版社

前 言

50年代以来，作者在铁路高校从事过企业组织与计划、机械工厂设计和机械制造工艺学方面的教学工作。深感三门课程之间联系密切，但内容重复脱节之处时有发生。1964年经教学改革削减课程门数之后，企业组织与计划和机械工厂设计二门课程均被取消。但其中一些必要内容又难以在其他有关课程中落实，造成知识结构的缺口。此后现场用人部门曾多次反映毕业生在生产组织管理方面知识十分缺乏，并要求改善这一状况。从1982年开始，为了扩大高等学校本科生的知识面，普遍开设选修课程。作者认为将“生产系统工程”作为一门选修课程开设出来，有助于优化学生的知识结构，解决现场用人部门提出的问题，并从1983年起开设这门课程。由于车辆教学指导委员会前任主任毛家训同志和现任主任严隽彪同志的关注，由该委员会委员霍庶辉同志、前委员凌铮同志和作者一起，共同拟定并讨论了“机车车辆生产系统工程”一书的编写大纲，经向各铁路高校征求意见后定稿，随即列入出版计划。

本书以系统观点和系统方法，对生产技术、生产管理和经济分析进行综合研究，力图克服单纯技术观点。

本书在编写过程中，承蒙华东交通大学凌铮同志和西南交通大学霍庶辉同志提出许多宝贵意见，并得到霍庶辉同志提供的宝贵资料。本书经霍庶辉同志审阅。

由于作者水平所限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

1989年6月于峨眉山市

目 录

绪 论

系统工程的发展及意义	1
本书的基本内容及作用	3

第一章 生产系统的基本原理

第一节 生产的基本概念	4
一、生产与制造	4
二、生产的输入	5
三、生产的输出	5
四、生产过程	6
第二节 系统的基本概念	6
一、系统的定义和属性	6
二、系统方法产生的背景	8
三、系统问题的分类	8
四、系统设计原理	8
五、系统设计的基本方法和步骤	11
第三节 生产系统的基本概念	12
一、生产系统的含义和问题	12
二、机车车辆生产系统	16
三、生产系统的自动化	17
四、生产类型及其特点	18
五、生产类型的发展趋势及相应措施	19
第四节 集成生产管理系统	21
一、管理系统的基本职能和构成	21
二、机车车辆生产管理系统的职能和构成	22
三、集成生产管理系统的分析	23
	1

第二章 生产工艺系统

第一节 生产中的物料流.....	25
一、转换.....	25
二、运输.....	26
三、储存.....	26
第二节 工艺设计.....	26
一、工艺路线设计.....	26
二、工序设计.....	29
三、最优路线分析.....	34
第三节 平面布置规划.....	36
一、概述.....	36
二、平面布置类型与 P-Q 分析.....	36
三、系统平面布置规划.....	37
第四节 产品设计和结构工艺性.....	39
一、产品的规划.....	39
二、产品设计.....	40
三、产品的结构工艺性.....	42
四、产品的分解.....	43
五、物料需求规划与生产资源规划.....	44

第三章 生产管理系统

第一节 生产规划.....	47
一、概述.....	47
二、产品品种及数量的最优组合.....	47
三、批量分析.....	54
四、生产均衡和机床负荷的分配.....	56
第二节 生产作业计划.....	61
一、概述.....	61
二、工序作业计划.....	62
三、装配线平衡.....	71

四、工程作业计划	73
第三节 生产控制	78
一、生产控制的必要性	78
二、狭义的生产控制	78
三、质量控制	79
四、库存控制	81
五、生产维护	83

第四章 成组生产系统

第一节 成组技术的发展和基本原理	86
一、成组技术的发展	86
二、成组技术的基本原理	86
第二节 零件的编码分类系统	89
一、编码分类系统的用途	89
二、编码分类系统的构成	89
三、典型的编码分类系统	93
第三节 零件的分组	99
一、流程分析法	99
二、编码分类法	105
第四节 零件的计算机辅助编码、分组和信息统计	107
一、零件的计算机辅助编码	107
二、零件的计算机辅助分组	112
三、零件特征信息的计算机统计	115
第五节 成组加工的生产组织	119
一、成组加工的空间生产组织	119
二、成组加工的时间生产组织	120
三、成组流水线的设计	124
第六节 成组生产系统的技术经济效果	126
一、促进传统生产系统的全面改革	127

二、促进企业各领域工作的合理化	127
三、实施成组技术的效果统计	128

第五章 生产系统的自动化

第一节 生产系统自动化发展史及展望	131
一、生产系统自动化发展史	131
二、生产系统自动化的展望	132
第二节 计算机辅助设计	133
一、从人工设计到计算机辅助设计	133
二、CAD 的分析和综合方法	135
三、CAD 的主要类型	136
四、绘图自动化	137
第三节 计算机辅助平面布置规划	139
一、CORELAP	140
二、CRAFT	141
第四节 计算机辅助工艺设计	143
一、概述	143
二、检索法 CAPP	144
三、创成法 CAPP	147
第五节 数控加工的编程	151
一、如何编制数控加工程序	151
二、如何选择合适的编程系统	158
三、如何制作数控带	159
第六节 切削加工自动化系统	159
一、用于大量生产的自动机床	160
二、数控机床	161
三、切削加工的适应控制	166
第七节 装配自动化	167
一、概述	167

二、装配自动化的最新趋势	167
三、自动化装配对零部件结构的要求	168
第八节 物料搬运自动化	168
一、概述	168
二、工业机器人	169
三、仓库自动化	170
第九节 检验自动化	171
一、概述	171
二、检验范围、方法及装置	171
第十节 生产系统的全自动化	172
一、生产系统全自动化的范围	172
二、生产系统全自动化的实例	172

第六章 生产信息系统

第一节 概 论	175
一、信息的定义及基本知识	175
二、信息系统	176
三、总系统和管理信息系统 (MIS)	177
第二节 切削加工数据库	179
一、概述	179
二、切削加工数据库的结构和功能	179
第三节 在线生产管理系统	180
一、CAPIS 的结构和功能概况	180
二、CAPIS 的作业计划和控制系统	181
三、CAPIS 的寻优加工系统	182
第四节 针对零件的生产信息系统	184
一、概述	184
二、POPIS 的结构和功能	184

第五节 生产信息和管理系统	186
一、概述	186
二、COPICS 的结构和功能	187

第七章 生产系统的经济性和价值工程

第一节 经济生产的评定标准	192
一、最大生产率标准	192
二、最小费用标准	192
三、最大利润率标准	192
第二节 生产系统自动化经济效果的分析	192
一、投资回收率法	192
二、最小费用法	193
三、回收期法	193
四、当前价值法	193
第三节 价值工程的原理及其应用	195
一、价值工程的原理	195
二、价值工程的应用	200
复习题和作业题	203
主要参考资料	211

绪 论

系统工程的发展及意义

探讨系统工程的发展,首先得从系统谈起。系统的概念与哲学一样古老,它来源于古人类的社会实践。人类自有生产活动以来,就有意识地与自然界发生联系。我国古书中对农作物与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系,都曾有过辩证的论述。齐国名医扁鹊主张按病人的气色、声音、形貌进行综合辨证,用砭法、针灸、汤液、按摩、熨贴多种疗法治病。战国时期秦国李冰父子设计修建了伟大的都江堰水利工程,其中包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程 and 一百二十个附属渠堰工程,各工程之间联系密切,形成一个十分协调的工程总体。我国古天文学家很早就揭示了天体运行与季节变化的关系,制定出历法和指导农事活动的二十四节气。这些古代农事、医药、工程和天文的知识和成就,都程度不同地反映了朴素的系统思想的自发应用。因此,人类在知道系统思想、系统工程之前,就已在辩证地进行系统思维了。

从哲学上来说,系统思想就是辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其总体性的思想,系统思想是辩证唯物主义的内容,决不象国外有些人所说的那样,是20世纪中叶的新发现和现代科学技术的新创造。

当然,现代科学技术对于系统思想方法是有重大贡献的。首先是使系统思想方法定量化,成为具有一套数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互关系的科学方法,其次是为定量化系统思想方法的实际应用提供强有力的计算工具,即电子计算机。现代科学技术的上述发展确实是20世纪中叶实现的。

解决现代社会中各种复杂的系统问题时,对占有材料的定量要求越来越高。第二次世界大战是定量化系统方法发展的里程碑。这次战争在方法和手段上的复杂程度是空前的,交战双方都企图从全局利益出发合理使用局部、最后求得全局的最佳效果,为此就需要对所采取的措施进行精确的定量分析,在对策中取胜。这样一种强烈的要求,使一大批有才干的工作人员投身于作战计划的拟订与评价、作战技术的改进及军事装备使用方法的研究工作中去,其结果就是定量化系统方法和电子计算机的出现,并成功地应用于作战分析。二次大战后,定量化系统方法广泛地用于分析工程、经济、政治领域的大型复杂的系统问题。一旦取得了数学表达形式和强有力的计算工具,系统思想方法就从哲学思维发展成为专门科学。

下面再来讨论系统工程问题。

系统工程就是处理系统的工程技术。从20世纪40年代以来,国外对定量化系统思想方法的实际应用,先后采用了许多不同的名称,如运筹学(Operations Research)、管理科学(Management Science)、系统工程(Systems Engineering)、系统分析(Systems Analysis)、系统研究(Systems Research)、费用效果分析(Cost-Effectiveness Analysis)等。所谓运筹学,是指目的在于提高现有系统效率的分析工作;所谓管理科学,是指对大企业的经营

管理技术；所谓系统工程，是指设计新系统的科学方法；所谓系统分析，是指对执行特定任务的备选的系统方案进行选择比较；所谓系统研究是指制定新系统的实现程序；所谓费用效果分析是指进行方案比较时着重于费用方面。由于历史原因形成的上述不同名称，使工程技术与其理论基础、技术科学的区别混淆不清，用词不够贴切，认识也不够深刻。

用定量化的系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的组建，还是系统的经管，都可以看成是工程实践。工程一词是指服务于特定目的的各项工作的总体，如机械工程、土木工程、电机工程、电子工程、冶金工程等。如果这个特定的目的是系统的组建或经管，就都可以看成是系统工程。对国外称为运筹学、科学管理、系统分析、系统研究及费用效果分析的内容应一分为二，其中属于工程实践的内容，均可以用系统的概念统一归入系统工程，其中属于数学理论和算法的内容，可统一地看成是运筹学。

系统科学的根本概念是系统，它用来直接改造客观世界的工程技术是系统工程。它的技术科学是运筹学、控制论、信息论。它的基础是尚待建立的系统学。系统学就是把各门科学中的一切有关系统的理论综合起来的一门基础理论，是系统科学的基础学科。

系统工程的方法就是运用相应的工具，如语言、图表、数学及计算机，按照一定的逻辑步骤及时间进程去规划、设计，管理或控制一个系统。一般可以按下表的步骤及进程进行。

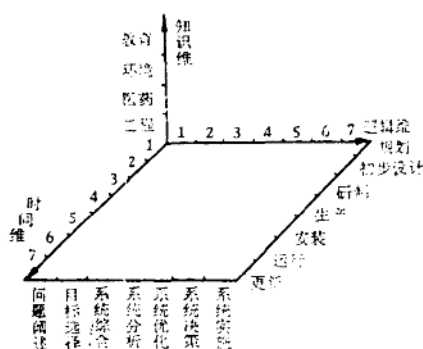
系统工程的逻辑步骤及时间进程表

逻辑步骤 时间进程	1	2	3	4	5	6	7
	问题阐述	目标选择	系统综合	系统分析	系统优化	系统决策	系统实施
A 规划	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
B 初步设计	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇
C 研制	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
D 生产	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇
E 安装	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇
F 运行	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
G 更新	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇

在上表中，把思维过程和工作阶段综合起来构成一个二维矩阵，通常称为活动矩阵。表中“B₁”表示在初步设计阶段进行问题阐述活动，“C₆”表示在研制阶段进行系统决策活动。

在一个大系统中，有各方面的问题，如工程问题、医药问题、环境问题、教育问题等，牵涉到不同的行业，需要不同的技术及知识。为了将系统工程的思维过程、工作阶段和专业知识进行综合表示，可用三维矩阵图（见右图）。

上述三维矩阵由许多小箱组成，每个小箱代表一个具有特定三维意义的单元。



系统工程的综合表示法

本书的基本内容及作用

本书定名为机车车辆生产系统工程，是研究机车车辆生产中有关系统的问题。

机车车辆是铁路运输的基本工具，而铁路运输又是国民经济的大动脉。及时地保质保量地向铁路运输部门提供机车车辆对国民经济具有十分重大的意义。我国铁路机车车辆的生产归口由铁道部机车车辆工业总局（现称总公司）领导，由其下属的三十多个工厂执行，从事机车车辆的制造和大修工作，另外还承担机车车辆配件制造任务。机车车辆的制造或修理，从系统观点来看，属于系统工程的范畴，因此有意识地将系统工程的现有成就应用于机车车辆的生产，将有助于取得巨大的技术经济效益和社会效果。本书希望在这方面进行一些尝试。由于国内外在机车车辆生产方面，有关系统方法和应用的报道很少，因此本书也只能着重于原理及基本方法的阐述，结合机车车辆方面的实例不多，这是作者感到十分遗憾的事。随着系统工程、机车车辆生产技术和管理工作的发展，相信在不久的将来将会充实这方面的内容。

本书介绍制造与修理两方面的内容，着重于制造，因此也可以称为机车车辆制造系统工程。

按照系统工程的特点，本书对生产技术和生产组织管理进行综合讨论，将过去机械类专业曾经设置过的制造工艺学、工厂设计原理、企业组织与计划三门课程的内容有机地组织起来，通过对物料流和信息流的分析、组织，把生产系统的硬件和软件结合起来，给予学生以技术、经济、组织管理的全面知识。本书分为七章，但可概括为四方面的内容，即：生产系统的设计；生产优化决策的制定；生产自动化和生产信息的处理。

通过对生产计划、执行和控制三大环节的论述，使读者对生产的全面情况得到综合的理解。使从事技术工作的人员具有必要的组织管理知识，从事生产组织管理的人员具有必要的生产技术知识。

本书作为机械类大学本科生的选修课教材，可按 40~50 学时讲授。

第一章 生产系统的基本原理

第一节 生产的基本概念

一、生产与制造

所谓生产，一般理解为做出某种新东西。现代工业社会中，生产是人类的一项最基本的活动，是促进社会发展的动力。在远古社会中，人类依靠渔猎、采摘等活动，直接向自然界索取生活资料，在经济学上称为自然经济时期。18 世纪的经济学先驱 Adam Smith (1720—1790)、David Richard (1772—1823)，先后提出为市场而生产的“可售性”概念，这时所指的生产是有形物的生产，如农作物、金属器件、木质用具之类，生产领域涉及到农业、冶金和制造。19 世纪后期，William Stanley Jevons (1831—1882) 和 Karl Menger (1840—1921) 提出“效益”这一概念。所谓效益，是指人类欲望得到某些满足的一个定性指标，带有主观随意性。但有了这个概念，就把生产的内涵扩展到服务性活动，即非有形物生产的活动，如运输、销售、商业，以及其他服务性行业。在经济学上，财富只有自在财富 (free goods) 和经济财富 (economic goods) 之分。自在财富是直接取于自然界而不需生产的东西，如空气和江河之水、清风、月色、阳光。经济财富不是直接取之于自然界而必须通过生产才能得到的，需要多少就生产多少，完全以满足人类需求为限。因此，不付出代价就不能在需要的时间和地点取得经济财富。

为了进一步说明自在财富与经济财富的区别，下面摘引我国宋代文学家苏轼在《前赤壁赋》一文中的一般论述：“且夫天地之间，物各有主，苟非吾之所有，虽一毫而莫取。惟江上之清风，与山间之明月，耳得之而为声，目遇之而成色，取之无尽，用之不竭，是造物者之无尽藏也。而吾与子之所共适”。

经济财富是由输入的生产要素，经过转换活动而生成的输出。这种转换活动是带技术性的，称为生产过程。本书主要讨论与有形的物质财富的生产过程有关的问题。

由此可知，广义的生产定义为“由生产要素生成有形的或无形的经济财富，从而通过增大附加价值创造效益的过程”。如图 1-1 所示。



图 1-1 生产广义定义示意图

从狭义上理解，可把生产定义为“通过一系列能量的利用，把物料转换为产品，每次能量的利用都在物料的理化特征上引起明显的变化”。因为这一定义只适合于有形财富的生产，如机械制造业和其他工业生产，所以也可称之为制造。由此看来，制造是生产的狭义定义。对于从事机械制造业的工程技术人员来说，制造和生产具有相同的含义。

在铁路机车车辆的生产中包括制造和修理。在修理企业中，也包含部分制造工作，如部

分零部件的制造，在制造企业中也包括修理工作，如机械设备的修理。在机务段和车辆段的生产中，则兼顾无形财富（运输）的创造和有形财富（机车车辆的修理）的创造。

二、生产的输入

生产输入是指维持生产活动的生产要素。在传统经济学观点中，将生产要素分为三类：

（1）作为自然资源的土地；（2）劳力（包括体力和脑力）；（3）用于再生产的资本（包括厂房、机器、工具、原材料等）。

这种分类在宏观经济模型的分析中是有用的，但在工厂的具体生产过程的微观分析中是不适用的。因此在机械制造中，将生产要素分成以下四类：

（一）生产对象

生产对象包括生产中用的主要材料和辅助材料。主要材料通过生产过程转换成产品，如构成产品的原材料、零件等。辅助材料是指附加到主要材料上去的材料，如油漆涂料，也指生产过程中消耗的电力和润滑油，以及维持生产所用的其他辅助材料等。

（二）生产劳力

这是指从事生产活动的工作者的体力、脑力和精神意志力。是生产的主要因素。在大规模生产中，为着共同目标由二人或更多的人合作形成的一种有组织的劳力系统是特别重要的。

（三）生产手段

生产手段分为直接生产手段和间接生产手段。在机车车辆制造厂和一般机械制造厂中，直接生产手段主要包括机床、各种装备和装置、刀具和夹具、动力机械等，即所谓生产设备，它们直接对原材料进行加工。间接生产手段与生产过程不发生直接关系，但也是维持生产所必需的，如厂房、土地、道路、仓库等。生产对象在生产时间内消失了，而生产手段在某一规定时期内却能反复使用。

（四）生产信息

这是指有效执行生产的各种知识，包括各种生产方法和实际经验。生产方法具有软特性，它使其他三项生产因素（都是有形的，属于硬件）协调运转。在计算机时代，信息在生产中的作用越来越重要。

三、生产的输出

作为生产输出而创造出来的财富分为有形的产品和无形的服务，它们的使用价值都得到提高。从生产经济学的观点看，生产的功能是在被生产的财富中提供了形状效益、时间效益和地点效益，例如在汽车和电视机中提供了形状效益，在电报通讯中提供了时间效益，在航空运输中提供了地点效益，同样对于铁路运输来说，也提供了时间效益。一般说来，制造领域提供的是形状效益，流通领域提供的是时间效益和地点效益。上述三种效益都与生产相关。所有权效益则是用户从使用产品中得到的总的满足，它与销售发生直接关系。

所有权效益也是用户从购买产品中得到的价值。从这一价值中减去生产费用就是由生产附加给产品的价值。这个净价值又被分为两部分：一部分是企业利润，一部分是上交国家用于扩大生产和社会福利的税收。因此可以说，生产的宏观目的就是在长时期内通过创造效益而使提供的时序净价值为最大。

具体说来,产品的价值由三个方面来决定:功能和质量;生产费用和价格;生产数量和生产时间。因此生产的具体目的就是高效、优质、低成本地造出产品。由这种生产创造的效益应该是“正的”。但是,通过连续生产阶段把原材料变为成品的过程中,可能会产生一些具有公害的附加产品,它们将破坏自然环境,带来“负”的效益。因此在建立生产系统时,首先要考虑采用能防止公害的新技术,或建立封闭型生产系统,避免向大气或河流排放污染物。

四、生产过程

生产过程就是由生产输入到生产输出的转换过程。生产过程由连续的多个生产阶段所组成,每个生产阶段完成一道工序,执行一定转换工作。评定转换效率的尺度通常称为生产率。生产率的抽象定义为输出与输入之比,即规定时间内输出的产品单位数与生产中使用的实物资源之比。为了计算生产率,必须知道由生产过程决定的输出和输入相互变化的数学关系式。这个关系式称为生产函数或生产模型。单一输出的生产函数可表示为:

$$x_0 = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-1)$$

式中, x_0 为输出, $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各种输入。

有了这个模型,就可计算各种平均生产率,即 $x_0/x_1, x_0/x_2, \dots, x_0/x_n$ 。也可计算各种边际生产率,即 $\partial x_0/\partial x_1, \partial x_0/\partial x_2, \dots, \partial x_0/\partial x_n$ 。边际生产率是增加一个单位的可变输入将使总输出增大的能力。

有关生产函数和生产率方面的宏观研究可参阅生产经济学专著。

如 Cobb-Douglass 函数是一个众所周知的生产函数,该函数将输入的劳力 L 和资金 K , 同输出的国民产品 P , 可用下列关系式表示:

$$P = \alpha L^k K^{1-k} \quad (1-2)$$

式中, α 和 k 均为常数,且 $0 < k < 1$ 。

这时,边际劳动生产率为:

$$\partial P / \partial L = \alpha k L^{k-1} K^{1-k} = kP/L$$

即边际劳动生产率为平均劳动生产率 (P/L) 与常数 k 的乘积。

一般说来,输出和输入的内涵和维数规定了各种生产率。输出按数量计算时为实物生产率,输出按货币值计算时为价值生产率。按输入生产要素来分,有劳动生产率、资金生产率、土地生产率、原材料生产率。

在当今世界中,生产率是衡量一个国家文明程度和社会繁荣的一个重要标志。近 20 年来世界各国的生产率都有不同程度的增长。但是,生产率的增长也带来一些问题,如使自然资源减少,空气污染和水源污染等公害加重,能源日趋紧张。因此,应在合理利用资源、能源,限制公害的前提下,合理提高生产率。要坚决反对单纯追求利润的资产阶级经营观点。

第二节 系统的基本概念

一、系统的定义和属性

如前节所述,生产系统是将输入转换为输出的一个系统。因此用系统方法来解决生产问

题是有效的。本节将讨论有关系统的基本知识。

何谓系统？系统就是通过功能而联系起来的、结构相关的，并适应于外部环境的单元集合。从这一定义可以引出系统的四个属性，现简介如下：

（一）集合性

系统是由多个不同的单元所组成。这些单元可以是实体的，如零件、部件；可以是概念的，如道德、理想、法律、民主；可以是自然的，如太阳、月亮；也可以是人工的，如机床、刀具。例如制造系统是由机床、夹具、刀具和操作人员等实体组成的人工系统，太阳系是由太阳和九大行星等实体组成的自然系统。

（二）关联性

组成系统的各单元之间存在着关联性和相互作用，否则就只能称之为群，而不能称之为系统。例如太阳系中各实体间存在着由万有引力定律所支配的那种关联性；又如在生产量、库存和销售量这些概念之间存在着由下式表示的“逻辑关联性”：

$$\text{最后库存} = \text{原有库存} + \text{生产量} - \text{销售量}$$

在税金、利润和税率之间存在着由下式表示的“制度关联性”：

$$\text{税金} = \text{利润} \times \text{税率}$$

（三）目的性

任何系统都要在一个或多个目标下完成某一功能，当选定目标达到最大值时，就称之为实现了系统的优化，例如要求制造系统以最大效益为目标，把生产对象转换为产品。

（四）环境适应性

任何系统都必须适应外部环境，否则就不能存在。凡是能在外部环境变化时控制自身，并始终保持最优状态的系统称为自适应系统，例如人就是一个完善的自适应系统。

系统与环境之间是相互影响的，即环境影响系统，系统也影响环境。这些影响表现为相互间接接收或放出物质、能量与信息。

为了有利于对系统不同侧面的研究，根据上述的系统属性，可以列出系统的四个本质定义：

1. 抽象定义 根据系统的集合性和关联性，可把系统定义为“由相互关联且可以识别的一些单元组成的集合体”。从理论上，逻辑推理上对事物仔细考察所需的一般系统理论，就是在这个定义下发展起来的。

2. 结构定义 根据系统的四个属性，可把系统定义为“针对规定目标且符合外部环境，由相互关联且可以识别的一些单元组成的集合体”。系统的静态结构就是在这个定义下形成的，所以也可以称为静态定义。

3. 转换定义 根据系统的环境适应性可知，环境对系统的影响是输入，包括有用输入和“干扰”输入，而系统对环境的影响是输出，包括有用输出和有害输出，如图 1-2 所示。由此出发，可把系统定义为“由环境接受输入，以最大的生产率（转换率），把输入转换为输出并赋予环境的一群具有功能物体”。

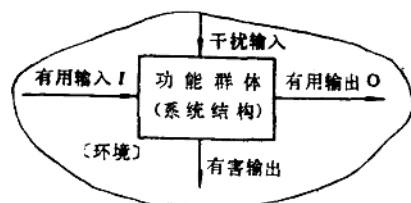


图 1-2 系统转换定义示意图

这个定义着重于系统的转换功能，所以也称为功能定义。

4. 步骤定义 由输入到输出的转换过程是由许多相关的阶段组成的。每个阶段完成一定的工作，连续完成这些阶段上有先后关系的工作后，就算完成了转换功能。由此看来，可把系统定义为一个步骤，经过这一有时序的逻辑步骤来重复执行工作任务。

二、系统方法产生的背景

为什么系统概念和系统方法在现实生活中变得越来越重要呢？首先，所有团体，无论是经济的、政治的、军事的，还是外交的，都有变大和变复杂的趋势，只有联系到它的环境系统地每个事物加以考察研究，才能达到团体功能和目标。对生产而言，则必须对材料的采购、生产、库存、销售和分配等环节加以识别和分析，才能达到生产的目标。采用系统方法就可使复杂系统的各部分协调配合，避免“混乱”，从而取得总系统优化的结果。这是客观上的需要。

其次由于计算机的出现和进步，使数据和信息处理能力大大提高，再加上优化技术的发展，在方法学上解决了系统优化的问题，因此就能够为大系统问题提供数值解法，为制定有效决策提供依据。这是客观上的可能。

三、系统问题的分类

由图 1-2 可知系统的功能是将有用输入 I 转换为有用输出 O ：

这一转换可用下式表示：

$$T(I) = O \quad (1-3)$$

由上式可将与系统有关的问题分为以下几类：

1. 系统分析 搞清楚 T 、 I 、 O 的内容；
2. 系统运转 已知 T 和 I ，求 O ；
3. 系统反转 已知 T 和 O ，求 I ；
4. 系统综合或系统识别 已知 I 和 O ，确定适当的 T ；
5. 系统优化 选择 I 、 O 或 T ，使规定的评定标准达到最优。

四、系统设计原理

系统设计的目的就是在规定的评定标准下，用有关系统的科学规律和经验法则，构成一个新的、有用的系统，即要解决系统的静态结构和操作步骤。

系统的设计基础是“操作性”。从设计角度考虑系统的组成部分分为两类：一类是可控变量，另一类是不可控参数。前者可由设计者的意愿加以控制，后者则不受设计者的控制。具有可控变量的系统称为可控系统。适当调整可控系统中可控变量的数值，就能达到系统的目标。这就称为系统的操作性。操作性有时不受任何限制，但有时却要受到某些限制。

以优化标准为基础，适当调整系统中可控变量的数值，就能使系统达到最优目标。这一工作方法称为系统优化。以优化为目的的设计称为优化设计。进行系统优化设计时，重要的是将系统的基本结构表示出来，这就要用到前面叙述的系统的四项属性，还要考虑系统的目标和约束条件。系统目标通过系统的功能来达到。约束条件分内部约束条件和外部约束条件两类，前者是由系统本身结构造成的，后者是由系统的外部环境造成的。

目标和约束条件都可以用模型来描述。系统优化又是以模型为基础进行分析的。下面将分别叙述描述系统的模型和系统优化方法。

(一) 模型

所谓模型,就是用适当的语言、数学式、图形等手段,对真实情况或行为进行的抽象描述。模型能反映客观事物或系统的使人感兴趣的某些方面,而且能够充分完善地加以描述,对于其他方面则可略之不顾,因此一般说来,模型比真实情况要简单得多。在生产和制造的研究中使用的主要模型有以下几类:

1. 物理模型 用立体实物表示的模型称为物理模型。工程中常用的缩小比例的仿制品就是物理模型,如在风洞试验中用于确定飞机和高速列车外形的外壳模型,在水池试验中用于确定轮船船体外形的船体模型,在机械加工车间空间布置设计中用于确定机床合理布局所使用的机床模型等。

2. 图形模型 用各种图形来描述实际情况的模型称为图形模型。如设计图以及后面将要讨论的流程图、过程图、甘特图、PERT 网络图、收益平衡图、决策树等均是。这些模型对制定决策是很有用的。

3. 数学模型 数学模型也称分析模型。是用数学式子来描述实际情况,因而抽象化水平最高,表达也最精确,是进行优化分析的最有用的工具。例如使目标函数为最大并符合约束条件的要求,这样一种情况就可用数学模型表达如下:

$$\text{最大化} \quad g(x, y) \quad (1-4)$$

$$\text{符合于} \quad f(x, y) = 0 \quad (1-5)$$

$$x_i \leq x \leq x_u \quad (1-6)$$

式中 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是通过系统设计确定的可控决定变量, $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ 是事先确定的不可控参数。 x_i 和 x_u 分别为 x 的下限值和上限值。(1-4) 式是目标函数,如生产率、利润等,要使之最大。(1-5) 式是可控变量和不可控参数间的关系式,如结构关系式、动力学定律等。(1-6) 式是可控变量的范围约束,如尺寸限制、资源限制等。

4. 仿真模型 仿真就是实际情况的仿造,某些问题不能用分析法求解时,则可采用仿真方法求解。这种方法采用计算机编程语言来描述模型,所以仿真模型也称为计算机模型。仿真试验时,按时间顺序变换参数、变量、限制条件和备选方案。仿真可以高效经济地确定系统的行为和结构、系统的操作步骤,以及满足系统目的的决定法则,因此它能帮助决策者做出决定和制定策略。

(二) 优化方法

从数学分析的角度看,系统优化就是合理确定决定变量 x 的数值,使由 (1-4) 式表示的目标函数为最大(对最小化优化问题则应使目标函数为最小),并满足约束条件 (1-5) 和 (1-6) 的要求。满足约束条件的决定变量的数值称为可行解。使目标函数为最大(或最小)的可行解称为最优解。对优化问题有时不加约束,称为无约束优化。无约束优化比有约束优化要容易些。

在有约束优化中,可由约束条件求得: $x^* = \psi(y)$, 式中 x^* 为最优解, ψ 为决定函数,即建立优化算法的决定法则。按优化算法,经过有限次的计算步骤,就可求得最优解。