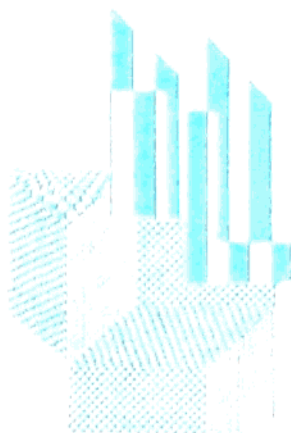


中央广播电视大学教材

企业管理系统工程 学习指导

李富山 编



中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目 (CIP) 数据

企业管理系统工程学习指导/李富山编. --北京: 中央
广播电视大学出版社, 1994. 5
ISBN 7-304-00753-2

I. 企… II. 李… III. 企业管理-系统管理 IV. F270

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 06976 号

企业管理系统工程学习指导

李富山 编

中央广播电视大学出版社出版

社址: 北京西城区大木仓 39 号北门 邮编: 100032

国防科工委印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 8.5 千字 207

1994 年 2 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数 1-15500

定价 4.95 元

ISBN 7-304-00753-2/TB·10

前 言

本学习指导书是根据电大教学需要，为中央广播电视大学工科非管理工程各专业编写的教学辅导用书。

全书共分上、下两篇，上篇的目的是帮助和指导学员学习“企业管理系统工程”课程，明确教学要求、学习重点及必须掌握的教学内容，并通过一定的例题分析，帮助学员掌握解题思路和方法。为方便学员复习，附上了《企业管理系统工程》教材的习题答案。下篇是计划评审技术学习辅导材料。该辅导材料是依据我国改革开放形势的发展，工程技术人员对管理工程方面专业技术知识的迫切需求而增补的。既可配合学员当前的学习，又可做为一种实用技术资料，以备今后应用时参考。

由于编者水平有限，时间紧迫，书中错误和不当之处在所难免，热诚欢迎广大读者和教师提出宝贵意见、批评和指正。

编 者

1993 年 12 月

目 录

上 篇

企业管理系统工程学习指导

第一章 系统与系统工程	(1)
§ 1-1 系统的概念	(1)
§ 1-2 系统工程是一门新兴的交叉学科	(1)
第二章 企业管理系统工程方法论	(4)
§ 2-1 企业管理系统工程工作程式	(4)
§ 2-2 系统分析原理	(4)
§ 2-3 创造性思维及创造性技术	(6)
§ 2-4 结构模型化技术	(7)
第三章 市场研究与预测技术	(14)
§ 3-1 市场研究概述	(14)
§ 3-2 市场调查方法	(14)
§ 3-3 市场预测原理和方法	(15)
第四章 新产品开发与工业项目建设的系统分析与评价	(20)
§ 4-1 概述	(20)
§ 4-2 可行性研究原理	(21)
§ 4-3 工业项目建设与新产品开发的系统评价方法	(22)
§ 4-4 价值工程	(26)
第五章 企业计划的优化技术	(29)
§ 5-1 企业计划概述	(29)
§ 5-2 线性规划	(32)
§ 5-3 计划协调技术	(34)
第六章 生产过程的组织与控制	(38)
§ 6-1 生产过程组织的形式	(38)
§ 6-2 生产作业控制	(41)
§ 6-3 库存控制	(44)
§ 6-4 质量控制	(45)
第七章 企业决策分析	(48)
§ 7-1 企业决策分析概述	(48)
§ 7-2 风险型决策分析	(51)
§ 7-3 灵敏度分析	(55)

§ 7-4 信息的价值	(55)
§ 7-5 效用理论	(56)
§ 7-6 多目标决策	(56)
第八章 计算机辅助企业管理系统	(58)
§ 8-1 概述	(58)
§ 8-2 企业管理信息系统	(59)
第九章 现代企业经营战略	(60)
附录 I 《企业管理系统工程》习题答案	(61)
附录 II 企业管理系统工程教学大纲	(65)

下 篇

计划评审技术学习辅导材料

第一章 概述	(69)
第二章 计划网络	(71)
§ 2-1 计划网络的两要素：事项与活动	(72)
§ 2-2 网路计划	(73)
§ 2-3 网络逻辑	(75)
§ 2-4 网络图的绘制规则	(76)
§ 2-5 网络计划的编制方法、交界事项和事项编号	(82)
第三章 网络时间参数的计算	(89)
§ 3-1 活动的期望间隔时间 (t_{ij})	(89)
§ 3-2 关于事项的 T_{Es} 、 T_{Ls} 和 S_i 值的计算	(91)
§ 3-3 概率计算	(99)
§ 3-4 关于活动时间参数的计算	(103)
§ 3-5 表算法	(107)
§ 3-6 关键线路、时间调整与模拟	(114)
第四章 网路计划的优化	(117)
§ 4-1 “周期限定，资源均衡”的优化方法	(117)
§ 4-2 最低成本加快法	(120)

上 篇

企业管理系统工程学习指导

第一章 系统与系统工程

§ 1-1 系统的概念

I 内 容 提 要

本节主要讲授了有关系统的概念,包括系统的定义、系统的特性、系统的分类等概念。

II 学 习 指 导

1. 掌握系统的概念。这是本节的核心问题。所谓系统,是指具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素所构成的一个整体。
2. 掌握系统的特性,如集合性、相关性、阶层性、整体性、目的性和环境的适应性,加深对这些特性的理解。
3. 了解系统的分类。

§ 1-2 系统工程是一门新兴的交叉学科

I 内 容 提 要

本节阐述了系统工程的基本概念;介绍了系统工程的理论基础,即一般系统论、经济控制论、运筹学等理论和学科;讲述了系统工程方法论,其中着重介绍了霍尔的“三维结构体系”及霍尔系统工程方法论的程序与步骤,以及切克兰德的“软科学”系统工程方法论的基本内容。最后阐述了对系统工程发展的展望。

II 学 习 指 导

1. 掌握系统的概念

由于系统工程是一门新兴的交叉学科,目前尚处于发展阶段,还不够成熟,所以至今还没有统一的定义。课文中列举了中外一些学者对系统工程所做的解释和定义,以供参考。要

求学员掌握钱学森同志对系统工程概念的阐述。同时，希望学员加深对下面这段话的理解：

系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科。它是把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等根据总体协调的需要，有机地联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用定量分析和定性分析相结合的方法和电子计算机等技术工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的，以便最充分地发掘人力、物力的潜力，通过各种组织管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优化。

注意：系统工程的对象，不仅限于某种特定的工程物质对象，任何一种物质系统都能成为它的研究对象；而且还不只限于物质系统，包括自然系统、社会经济系统、经济管理系统、军事指挥系统等等，都可成为它的研究对象。由于系统工程处理的对象主要是信息，所以，在国外有些学者认为系统工程是一门“软科学”。

2. 了解系统工程的理论基础

系统工程的理论基础，是由一般系统论、大系统理论、经济控制论、运筹学等学科相互渗透、交叉发展而形成的。以上各学科内容的简介，请阅读教材第7页至第11页。

3. 理解系统工程是一门新兴的交叉学科

通过对本节内容的阅读、思考来理解这一问题。

4. 了解系统工程方法论的工作程序与步骤

20世纪60年代，许多学者根据实践经验，总结了系统工程方法论问题。其中美国学者A·霍尔，最先提出了“三维结构体系”，做为系统工程方法论的基础。

三维结构体系是由时间维、逻辑维和知识维组成的一个立体的、跨学科的体系，请参看教材第11页图1-2。

霍尔的系统工程方法论的工作程序、步骤，如图1所示：

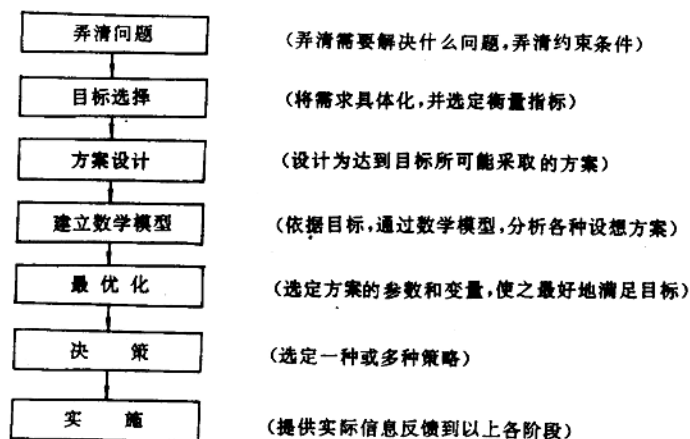


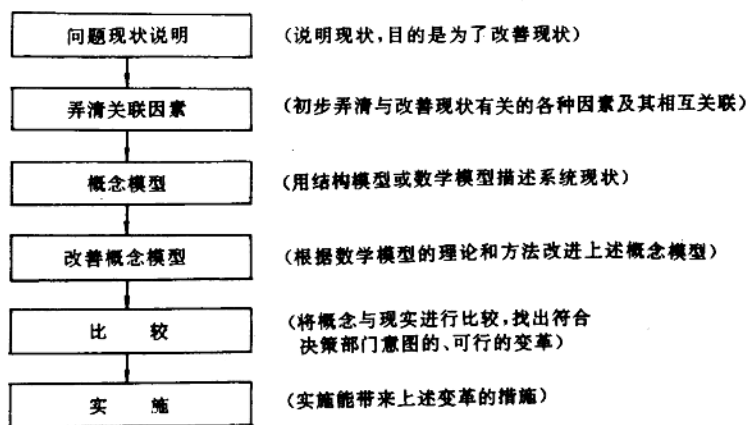
图 1

霍尔系统工程方法论强调明确目标，其核心内容是最优化。它多用于工程一类问题。

当代系统工程已用于研究社会经济的发展战略问题，涉及的社会因素相当复杂。为适应

这种发展需要，从 70 年代中期开始，人们对霍尔的系统工程方法论提出了修正和补充。

英国兰卡斯特大学学者切克兰德，对霍尔系统工程方法论提出了系统的修正意见，并提出了“软科学”系统工程方法论。其主要工作内容如图 2 所示：



、 图 2

切克兰德方法论的核心不是“最优化”，而是“比较”，或者说是“学习”，即从模型和现状的比较中，学习改善现状的途径。而“比较”这个环节的工作含有组织讨论、听取各种意见的含义，不拘于描述定量求解的过程，反映了人的因素和社会经济系统的特点。

第二章 企业管理系统工程方法论

§ 2-1 企业管理系统工程工作程式

I 内 容 提 要

本节讲授了工业企业生产经营系统的活动过程；企业管理系统工程的逻辑步骤，和企业管理系统工程活动矩阵等内容。

I 学 习 指 导

1. 了解现代工业企业及其生产经营活动的系统性特征

现代工业企业及其生产经营活动具有许多系统性特征，主要表现在以下几方面：

(1) 首先，工业企业及其生产经营过程是一个由人、财、物、信息等基本要素构成的整体系统；

(2) 工业企业是一个投入—产出系统；

(3) 工业企业是一个开放系统；

(4) 工业企业及其生产经营过程已形成具有自适应能力的动态系统。

2. 理解企业管理系统工程活动矩阵

企业管理系统工程活动矩阵，是表示如何针对企业生产经营活动过程中的实际问题，采用科学的逻辑步骤和适当方法，来研究、解决这些实际问题的二维结构，或称矩阵表。请参阅教材第 21 页表 2-1。

此矩阵表为我们提供了企业管理系统工程工作的基本程式。它具有方法论的意义。

依据此表，我们还可以归结或探寻出各种企业管理的业务和方法，从而构成企业管理系统工程的方法体系。

编制该矩阵表所依据的理论基础有：霍尔的三维结构体系及其系统工程方法论的程序、步骤和切克兰德的“软科学”系统工程方法论。

希望大家熟悉该矩阵表，因为以后各章所介绍的企业管理系统工程的具体内容和方法，一般均可在该活动矩阵内，找到其相应的“位置”。

§ 2-2 系统分析原理

I 内 容 提 要

本节着重介绍了系统分析的概念；系统分析的步骤，以及企业管理系统分析过程举例。

II 学习指导

1. 掌握系统分析的概念(含要素)

系统分析,是应用建立模型、优化、仿真等技术,对系统的有关方面进行定量和定性分析,为选择最优的系统方案提供决策依据的分析研究过程。

系统分析有六个基本要素:

(1) 问题。在系统分析中,问题一方面代表研究的对象(或称对象系统);另一方面又表示现实状况(现实系统)与希望状况(目标系统)的偏差。

(2) 目的与目标。目的是对系统的总要求,目标是系统目的的具体化。目的具有总体性和唯一性;而目标具有从属性和多样性。目标分析是系统分析的基本工作之一。

(3) 方案。方案即达到目标的途径。为了达到预定的系统目的,可以制定若干个待选方案。通过对待选方案的分析和比较,才能从中选择出最优系统方案。这是系统分析中必不可少的一环。

(4) 模型。模型是由说明系统本质的主要因素及其相互关系构成的。模型是研究和解决问题的基本框架,可以起到帮助人们认识系统、模拟系统,以及优化与改造系统的作用。模型是对系统的描述、模仿或抽象。在系统分析中,常常通过建立相应的模型——图像模型和(或)数学模型来计算和分析各种待选方案。

(5) 评价。评价,即评定不同方案对系统目的的达到程度。它是在考虑实现方案的综合投入(如费用)和方案实现后的综合产出(如效果)后,按照一定的评价标准,确定各种待选方案优先顺序的过程。

(6) 决策者。决策者作为系统中的利益主体和行为主体,在系统分析中,自始至终具有重要的作用。决策者与系统分析人员的有机配合,是保证系统分析工作成功的关键。

2. 掌握系统分析的特点和原则

系统分析的主要特点及相应的原则是:

(1) 问题导向。系统分析是一种处理问题的方法,具有很强的针对性,其目的在于寻求解决特定问题的最优方案。在处理问题时,应避免按照个人的好恶标准,以已有模式和方法为导向,来研究问题。

(2) 以整体为目标。系统分析是把问题做为一个整体来处理的,是全面考虑各主要因素及其相互影响,强调以最少的投入或最佳的总体效果,来实现预定目标的。所以,以整体最优为核心的观点,是系统分析的前提条件。

(3) 多方案模型分析和选优。寻求多种方案,并对其进行模型化处理及优化或仿真计算,求得量化的分析结果,是系统分析的核心内容。

(4) 定量分析与定性分析相结合。系统分析采用定量分析与定性分析相结合的基本方法。分析中既要利用各种定量资料,又要充分利用分析者、决策者的直观判断和经验,进行综合的分析与判断。这是系统分析的基本手段。

(5) 多次反复进行。通过反复与决策者对话,适时、不断地修正、分析其过程和结果,形成分析过程中的多次及多重反馈,逐步得到与系统目标要求最接近、令决策者较为满意的系统方案,是系统分析成功的重要保障。

3. 掌握系统分析的步骤,并能结合实际问题的加以理解

系统分析的基本过程，可以归结为七个步骤，如图 3 所示：

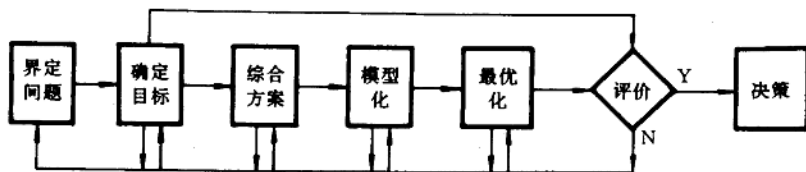


图 3

上图前三个步骤可称其为初步系统分析。要求大家能记住上图的各个步骤。对各步骤的说明，请阅读教材第 24 页至第 25 页。但是要注意，图中的每一步骤都包含着环境分析的内容。

§ 2-3 创造性思维及创造性技术

I 内 容 提 要

本节主要介绍几种创造性思维方法及创造性技术；包括：提问法（检核表法）、列举法、头脑风暴法（智力激励法）和情景分析法。

I 学 习 指 导

1. 认识创造性思维及其技法在系统工程中的作用

简言之，系统工程是一门对社会经济等大规模复杂系统进行组织管理的综合性技术。系统工程的工作过程就是一个综合和创造的过程。创造性思维与创造性技术是认识系统问题，探寻行动方案，分析、设计、解决大规模复杂系统问题的思想和方法基础。创造性思维及其活动过程，其实就是系统分析的过程。

创造性思维及创造性技术的方法，一般都可用来帮助解决初步系统分析与系统评价过程中的各种问题。

2. 了解每种创造性技术的基本思想及各种方法的特点

(1) 提问法，是根据需要研究的对象，列出有关问题，形成检核表，然后一个一个问题来核讨论，从而发掘出解决问题的大量设想的创造性技术。其中有对各种场合和各种对象普遍适用的“5W1H 法”和针对某种特定要求制定的检核法，如产品设计用检核表法、降低成本用检核表法。

检核表法的特色之一是能引导人们按问题系统思考，可以使思路更有条理，考虑问题更全面，不至于在重大问题上出现失误。

(2) 列举法，其要点是通过会议形式将所研究问题的特性、缺点或希望罗列出来，然后提出相应的改进措施，从而形成具有独创性的系统方案。目前列举法主要有缺点列举法和希

望点列举法。

(3) 头脑风暴法,是针对一定问题,召集有关人员参加小型会议,在融洽轻松的会议气氛中,与会者敞开思想,各抒己见,自由联想,畅所欲言,互相启发,相互激励,使创造性设想起连锁反应,从而获得众多解决问题的方法。

头脑风暴法在探寻系统方案、预测事态趋势等方面,得到了广泛应用。

(4) 情景分析法,一般是在专家集体推测的基础上,对可能的未来情景进行描述。对未来情景,既要考虑正常的、非突变的情景;又要考虑各种受干扰的、极端的情景。

情景分析法就是通过一系列有目的、有步骤的探索与分析,设想未来情景以及各种影响因素的变化,从而更好地帮助决策者制定出灵活、且富有弹性的战略规划、计划或对策。它是一种灵活而富于创造性的辅助的系统分析方法。

以上各种创造性技术的具体做法,请参阅教材的有关部分内容。另外,上述各种创造性技术,均是集体创造性技术。

§ 2-4 结构模型化技术

I 内 容 提 要

本节是第二章的重点、难点,主要介绍系统结构模型化基础和递阶结构模型的建立方法问题。

在系统结构模型化基础中,介绍了“结构”、“结构模型”、“结构分析”等概念;系统结构的基本表达方式和常用系统结构模型化技术。

在递阶结构模型的建立方法中,主要介绍建立递阶结构模型的规范方法和建立递阶结构模型的实用方法。

II 学 习 指 导

1. 掌握结构、结构模型和结构分析等概念

这里,所谓结构,是指组成系统诸要素之间相互关联的方式。

结构模型,是定性表示系统构成要素,以及它们之间存在着本质上相互依赖、相互制约和关联情况的模型。结构模型是对系统结构抽象的表达方式。另外,结构模型化即指建立系统结构模型的过程。

结构分析,是一个实现系统结构模型化并加以解释的过程。结构分析的具体内容包括:对系统目的一功能的认识;系统构成要素的选取;对要素之间的联系及其层次关系的分析;以及对系统整体结构的确定及解释。

2. 掌握系统结构的有向图表达方法和矩阵表达

本节已经述及,系统结构有三种基本表达方式,即系统结构的集合表达(不要求掌握)、系统结构的有向图表达和系统结构的矩阵表达。教材在系统结构的集合表达中,介绍了所谓二元关系。系统是由诸多要素有机地联系在一起的,并且一般都是以两个要素之间的“二元关系”做基础的。

所谓二元关系,是根据系统的性质和研究的目的所约定的一种需要讨论、存在于系统中

的两个要素 (S_i, S_j) 之间的关系。二元关系用 R_{ij} 表示 (简记为 R)。二元关系通常有二个元素之间的影响关系、因果关系、包含关系、隶属关系, 以及可以比较的关系, 如大小、先后、轻重、优劣等。

二元关系一般有三种情况:

S_i 与 S_j 之间有某种二元关系 R , 即 S_iRS_j ;

S_i 与 S_j 之间无某种二元关系 R , 即 $S_i\bar{R}S_j$;

S_i 与 S_j 之间的二元关系 R 不明, 即 $S_i\bar{R}S_j$ 。

在通常情况下, 二元关系具有传递性, 即若 S_iRS_j 、 S_jRS_k , 则有 S_iRS_k (S_i 、 S_j 、 S_k 为系统的任意构成要素。)

传递性二元关系。传递性二元关系反映两个要素的间接联系, 记做 R^t (t 为传递次数), 比如, 可将 S_iRS_k 记作 $S_iR^2S_k$ 。

强连接关系。有时, 对系统的任意构成要素 S_i 和 S_j 来说, 既有 S_iRS_j , 又有 S_jRS_i , 这种互相关联的二元关系, 称为强连接关系。具有强连接关系的各要素之间存在着替换性。现在, 我们来复习系统结构的有向图表达和矩阵表达。

(1) 系统结构的有向图表达

系统结构可以用有向图来表达。

有向图是由节点和连接各节点的有向弧 (箭头) 组成的, 如图 4 所示。

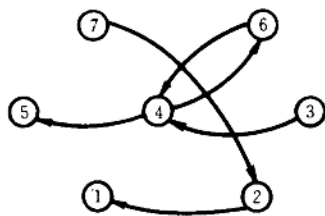


图 4

我们用节点表示系统的各构成要素, 用有向弧表示要素之间的二元关系。

从节点 i (代表 S_i) 到 j (代表 S_j) 的最小 (少) 的有向弧数, 称为有向图中节点间通路的长度 (即路长); 也就是要素 S_i 与 S_j 间二元关系的传递次数。例如, 4 到 5, 2 到 1 的路长均为 1; 而 3 到 5, 7 到 1 的路长均为 2。

从图中可见, 节点 4 与节点 6 可相互到达, 具有双向回路 (你到达我, 我到达你), 呈所谓强连接关系; 也就是说, 呈强连接关系的要素节点间具有双向回路。大家要记住“强连接关系”这个概念。另外要注意, 除了

要素之间有相互到达的回路以外, 不允许有其它回路。

(2) 系统结构的矩阵表达

在这里我们复习用邻接矩阵、可达矩阵和减缩矩阵三种表达形式, 来表达系统的结构。

① 邻接矩阵

邻接矩阵 (A) 是表示系统要素间基本二元关系或直接联系情况的方阵。

若邻接矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, 则其定义式为:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & S_iRS_j \text{ (} S_i \text{ 对 } S_j \text{ 有某种二元关系)} \\ 0, & S_i\bar{R}S_j \text{ (} S_i \text{ 对 } S_j \text{ 没有某种二元关系)} \end{cases}$$

注意, 邻接矩阵只反映出相邻两个要素之间的联结关系, 系直接关系, 未反映出要素之间的间接关系。

有了有向图, 就可很容易地将邻接矩阵 A 写出来, 反之亦然。例如, 上面有向图的邻接矩阵为:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

邻接矩阵的行数与列数都是相等的，且其元素只能等于 1 或 0。

注意，A 中“1”的个数与有向图中有向弧的条数相等。

至于系统的输入要素和输出要素的概念，请阅读教材第 39 页的有关内容。

②可达矩阵

所谓可达矩阵 (M)，就是表示系统要素之间任意次传递性二元关系；或有向图上两个节点之间通过任意长的路径可以到达情况的方阵。

若可达矩阵 $M = (M_{ij})_{n \times n}$ ，且在无回路条件下的最大路长，或传递次数为 r ，即有 $0 \leq t \leq r$ ，则可达矩阵的定义式为：

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i R^t S_j \text{ (存在着 } i \text{ 至 } j \text{ 的路长最大为 } r \text{ 的通路)} \\ 0, & S_i \bar{R}^t S_j \text{ (不存在 } i \text{ 至 } j \text{ 的通路)} \end{cases}$$

当 $t=1$ 时，表示基本的二元关系，此时 M 即为 A ；

当路长 $t=0$ 时，表示 S_i 自身到达 ($S_i R S_i$)，也称反身性二元关系；

当 $t \geq 2$ 时，则表示传递性二元关系。

可达矩阵反映系统要素的直接关系和间接关系；或者说反映着系统要素的所有关系。

通过对邻接矩阵 A 的运算 (布尔代数的运算规则)，可以求出系统要素的可达矩阵 M ，其运算公式可参看教材第 39 页的有关内容。

与上述有向图对应的邻接矩阵为：

$$A + I = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

通过计算 (考虑到 $r=2$ 时)，与其有向图对应的可达矩阵为：

$$M = (A+I)^2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

③ 缩减矩阵

缩减矩阵, 是根据强连接要素的可替换性, 在已有的可达矩阵 M 中, 将具有强连接关系的一组要素看成是一个要素, 保留其中的某个代表要素, 删除掉另一要素及其该要素在 M 中的行和列, 即可得到该可达矩阵 M 的缩减矩阵 M' 。

例如, 上述可达矩阵 M 的缩减矩阵 M' 为

$$M' = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

例: 现给定描述系统基本结构的有向图 a、b, 如图 5 所示:

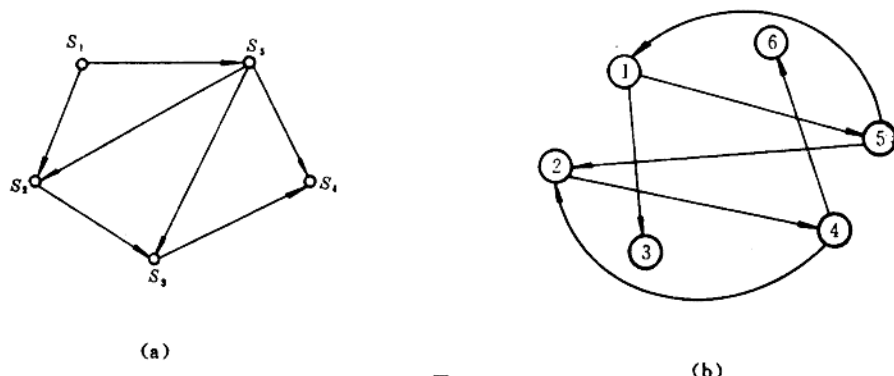


图 5

试建立图 a、b 的邻接矩阵 A 、可达矩阵 M 和缩减矩阵 M' 。

解：图 a 的邻接矩阵：

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 a 的可达矩阵：

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

由于图 a 不存在强连接关系，所以没有缩减矩阵。

图 b 的邻接矩阵：

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 b 的可达矩阵：

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图 b 的缩减矩阵:

$$M' = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3. 掌握建立系统递阶结构模型的实用方法

在系统结构并不十分复杂的情况下，建立系统递阶结构模型可用简便的“实用方法”来完成，其步骤是：

- (1) 判定二元关系，建立可达矩阵；
- (2) 对可达矩阵的缩减矩阵进行层次化处理；
- (3) 根据 M_1' 绘制多级递阶有向图。

现以例题说明其建模方法：

已知系统的可达矩阵如下，试用实用方法建立其递阶结构模型：

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

解：已给出可达矩阵，现建立可达矩阵的缩减矩阵 M' （即对具有强连接关系的要素作缩约处理）

$$M' = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

进行层次化处理，即在 M' 中按每行“1”元素的多少，由少到多顺序排列，调整 M' 的行和列，得到 M_1' ；最后在 M_1' 中，从左上角到右下角，依次分解出最大阶数的单位矩阵，并加注方框。每个方框即表示一个层次，如下：