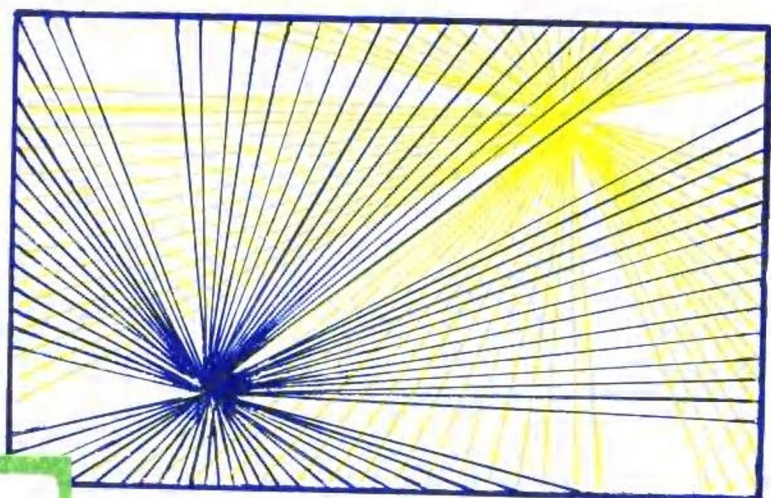


随机网络评审方法

吉林大学数学系 航空航天部601研究所 编



33

学苑出版社

著 者

吉林大学数学系:

黄明游、李华山、马驹良、刘播、余加艾、常玉堂、刘树信、
董险峰

航空航天部 601 研究所:

应福田、李命、夏中喜、田自贤

随机网络评审方法

*

学苑出版社出版发行

(社址: 北京西四颁赏胡同四号)

长春电影制片厂印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张: 4.75 字数: 100 千字

1989 年 8 月第 1 版 1989 年 8 月第 1 次印刷

印数 0001—1100

ISBN 7-80060-559-0/TP·5 定价: 3.90 元

前 言

随机网络评审方法是基于随机网络、计算机仿真、兼备时间、费用和效益独立决策参数，用以辅助管理、决策、计划评审和风险分析的有效的科学方法，是随机型的定量评估方法。这种方法最早于 1972 年由美国研究成功，称之为 VERT (Venture Evaluation and Review Technique)。随后经过几次改进，于 1981 年推出改进的软件系统 VERT-3。该方法已在美国、苏联、日本等发达国家得到了广泛的推广和应用。

作者在开发 VERT-3 的基础上，对这一方法加以改进和充实，进一步增强了功能，开阔了应用范围。本书主要介绍改进后的随机网络评审方法，它的理论基础、模型构造、程序结构和功能以及实际应用范例。关于相应的软件系统，将在另一本书——《风险分析与计划评审软件系统》中加以介绍。

本书由吉林大学数学系和航空航天部 601 研究所共同编写。吉林大学数学系参加编写的有黄明游、李华山、马驹良、刘播、余加艾、常玉堂、刘树信、董险峰。航空航天部 601 研究所参加编写的有应福田、李命、夏中喜、田自贤。

在本书出版之际，作者由衷感谢航空航天部 601 研究所和吉林大学数学系的领导，他们积极支持和热情鼓励本书的写作和出版。感谢吉林大学计算机科学系刘叙华教授，他在繁忙之中认真审阅了原稿，并提出了宝贵的意见。感谢航空航天部 601 研究所沙正平、杨风田、崔德刚、王栋林、孙其善、段致和、黄季墀诸同志和吉林大学数学系周蕴时、张建斌同

志，他们为本书的写作和出版，在许多方面提供了有力的帮助，付出了辛勤的劳动。

还应该强调，在目前科技书籍难于出版问世的情况下，学苑出版社慨然支持出版了这本难于盈利的书，作者在此深表谢意。

这是国内第一本正式出版的介绍随机网络评审方法的书籍。由于作者水平有限，加之时间仓促，难免有不当乃至错误之处，恳请读者批评指正。

作者

一九八九年三月

目 录

前言

第一章 绪论	1
§ 1 定量评估是科学管理和决策的基础.....	1
§ 2 计划评审的一个重要手段——网络分析.....	3
§ 3 风险分析与随机网络方法.....	7
第二章 数学基础	14
§ 1 随机事件与概率	14
§ 2 随机变及其分布	19
§ 3 仿真用伪随机数发生器	27
3.1 $[0, 1]$ 区间上均匀分布的随机数	27
3.2 规定分布的随机数	32
§ 4 随机变量的特征数	35
第三章 网络逻辑	38
§ 1 网络的基本元素	38
§ 2 分离逻辑节点	40
§ 3 组合逻辑节点	45
§ 4 常见典型逻辑节点	51
第四章 网络模型	56
§ 1 真实系数的数学描述	56
§ 2 构造网络模型的方法和步骤	58
§ 3 数据与数学关系式	66
§ 4 计算机仿真	70
第五章 主体程序	73
§ 1 VERT-3 的程序结构	73
§ 2 主要存贮数组、公用区及数据的传递	77

§ 3	网络仿真过程的循环控制	79
§ 4	仿真迭代形成的主要信息	89
§ 5	复算和单算	91
第六章	前置程序	94
§ 1	前置程序的数据结构和程序结构	94
1.1	网络系统的数据结构	94
1.2	程序结构和子程序功能	98
§ 2	输入信息	101
2.1	控制选择参数和初始数据	101
2.2	弧数据的描述与输入	105
2.3	节点数据的描述与输入	106
§ 3	前置程序的加工过程	107
第七章	后置程序	114
§ 1	后置程序的结构	114
§ 2	数据的后加工过程和输出内容	116
§ 3	输出报告	119
第八章	随机网络评审方法的应用	130
§ 1	应用领域及其发展	130
§ 2	应用举例·投资决策问题	136

第一章 绪 论

§ 1 定量评估是科学管理和决策的基础

人们通常所说的科学，一般是指自然科学。而通常所说的管理，一般属于社会科学。在人类历史的进程中，自然科学和社会科学作为两大体系曾经并行、交错、相互影响着向前发展。但是，它们之间始终存在着一条不可逾越的鸿沟。随着当代世界社会和生产、科学与技术的竞相高度发展，使科学与管理从明显的分立状态转变成紧密的结合状态，这便产生了管理科学。

关于管理和决策的概念，谁都不感到陌生，似乎从来都是不言自明。然而，多年来又众说纷云。有的说，管理就是决策，决策就是管理。有的说，管理指的是组织和控制，决策指的是选择和决定。这些说法并无原则差别，而且我们认为不宜在管理科学中的某些概念上纠缠不休。从现实的角度来看，所谓管理，指的是计划、组织、指导和控制复杂的、相互关联的企业、事业、科学研究、军事行动等活动，以及这些活动所需要的资源、条件（时间、经费、人力、物力等），以便驾驭现实，驾驭信息，驾驭风险，按照人们的预定目的去开展这些活动。所谓决策，就是对未来各种实践活动的方向、目标、计划和方法所作的决定。

管理和决策，自古有之。人类社会的历史，记载和传诵着无数政治家、军事家、实业家、建筑家等进行卓越管理和英明决策的事实。但是，这些历史上的管理和决策，其共同特点是基于直觉、经验和判断，没有越出个人超群才能的界限，是与领导者、决策者的智慧、技艺相联系的，通常表现为一种领导艺术，并没有达到规范化、程序化、科学化而被多数人所掌握的程度。

科学管理和决策是随着科学技术的进步与社会生产规模的扩大而逐渐发展起来的。它与以往的管理决策的根本区别在于，借助现代科学技术(主要是近代数学和计算机)进行定量分析(定量的数量分析和定量的逻辑分析)，在定量分析的基础上作出决策和实施管理。第二次世界大战以后，由于科学技术的迅猛发展，生产经营活动的现代化水平和社会化水平有了极大的提高，管理决策问题的环境越来越复杂，存在着大量内部相互作用的系统，因此，凭借直觉、经验和判断的管理和决策，越来越穷于应付。与此同时，基于定量分析的管理和决策不断取得惊人的成就。如美国在第二次世界大战期间出现的，为最速研制出原子弹的曼哈顿计划，50年代的北极星导弹研制计划，60年代实施的阿波罗登月计划等，都显示出这种基于定量评估的科学管理和决策的巨大威力。

参加阿波罗登月计划(1961年—1972年)研制和生产的有两万多家公司和一百多所大学实验室，总投资达四百亿美元。在这种庞大的工程系统中，必须对所有参加单位和部门之间的复杂的相互制约关系，有效地进行协调平衡，必须对大量所需要的各种资源进行统筹调拨。同时，由于科研生产的不确定性，又必须有效地事前对可能发生的各种情况，作

出尽可能准确的数学预测。在这种复杂系统中，管理和决策的潜力集中地表现在各个工作项目(活动)之间相互关系的处理方面。单凭人们的直觉和经验来挖掘这种潜力是不可能的，必须借助于有效的数学方法进行定量的数量分析和逻辑分析，对各种计划方案进行比较、审查和评估，最终得到切实可行的计划方案。

毫无疑问，美国是科学管理和决策的先驱。但是，有趣的是，由于忽视科学决策而付出惨痛代价的也是美国。50年代初，在美国发动侵朝战争之前，西德的一家软件开发公司——德林情报咨询公司，根据美国的军事情报、朝鲜的现状和中国的强硬态度，分析出来战争的必然结局：美国必将以几百亿美元的损失和数十万军人的生命而败于红色中国和朝鲜北方。德林公司决定将这份题为“美国必败于中国”的研究成果，以五百七十万美元的专利出售给美国。但是，美国政府对之不屑一顾，鄙以笑谈。两年后，美国预感到失败的可能，想起了德林公司的忠告，以二百八十万美元买下了这份几乎过时了的研究成果。不久美国便决定结束战争。正如该软件预测的那样，侵朝战争的结局是：美国损失了六百多亿美元和数十万军人的生命。

§ 2 计划评审的一个重要手段 ——网络分析

如上所述，科学管理和决策的一个主要内容是用定量分析的方法对计划进行评审，从而选择和确定最优或较优的计划方案。在这方面，发展最快，成就最大，应用最广泛的一种

方法是网络分析法。

网络分析法，最初以两种形式几乎同时诞生于美国，分别称之为 CPM(关键路径法)和 PERT(计划评审技术)。CPM 是 1956 年由杜邦·奈莫斯建筑公司与斯派里·兰德公司合作发展起来的，并迅速应用于建筑行业。第二年就应用于建造一个价值一千万美元的化工厂，使整个工期缩短了四个月。杜邦公司还应用 CPM 安排维修计划，一年内就节省一百万美元。PERT 也是 1956 年研制的，从 1958 年开始投入使用。当时美国海军北极星潜艇导弹处于早期研制阶段，成立一个特别计划办公室来管理这个规模宏大的任务。负责人后来发现，所有的传统的管理方法对掌握计划进度都是不适用的。这项计划有几十亿个管理项目。由于关键性的研究和设计阶段何时才能完成不能确定，因而如何协调一万一千个承包商的工作，也就成为一大难题。最后由布茨-艾伦和哈密尔顿系统咨询机关设计了含不定因素的 PERT 网络流程图。由于应用了这项技术，使这项计划提前两年完成(原计划六年)。

CPM 和 PERT 虽然名称不同，但主要概念和方法是一致的，都是以网络图为基础的网络分析方法。所谓网络图就是一项计划的图式模型，它是由节点和弧组成的。节点通常用圆圈或方框表示，代表一个决策点，或者一个阶段与另一个阶段的分界点，即事件。弧用箭线表示，代表任务、活动或工作，就可以通过联接各节点和弧的网状图表示出来，从而整个计划的全貌也就显现出来。每条弧上带有参数，最初只是时间参数(即完成该项任务所需的时间)。

图 1.1 是一个最简单的 CPM 网络图。它表示一项工程

共有 10 项作业(也就是有 10 条弧): $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J$ 。完成各项作业所需时间(即各条弧的参数)分别为 8, 5, 6, 5, 9, 5, 7, 4, 8, 5 天。各项作业的逻辑关系是: A 完成之后, C 才能开始; A, B 完成之后, D, E 才能开始; D, C 完成之后, G, F 才能开始; E, F 完成之后, H 才能开始; G 完成之后, I 才能开始; H, I 完成之后, J 才能开始。图 1.1 中共有 8 个节点。节点①称为始节点, 表示工程开始这一事件; 节点⑧称为终节点。表示工程结束这一事件; 节点④表示 C, D 两项作业完成之后, G, F 两项作业才能开始这一事件, 等等。图中虚线 K 是一条虚弧, 它没有时间参数(或称参数为零), 它的作用只在于表示只有当 A 也完成后, D, E 才能开始。

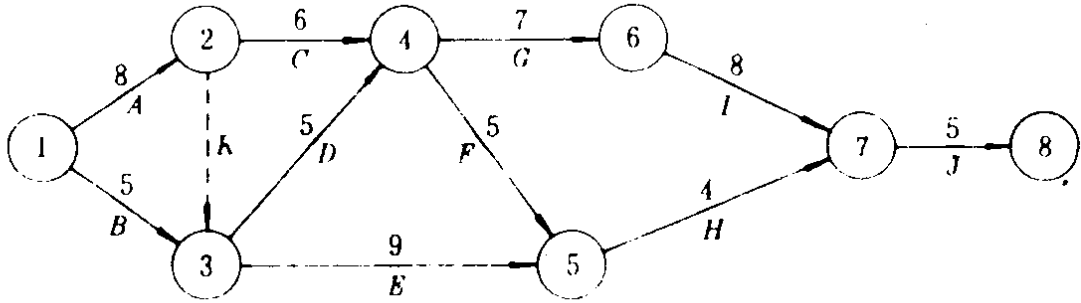


图 1.1

观察一个网络可以发现, 从始节点出发, 沿着箭线所指的方向可有若干条通路到达终节点。这种从始节点到终节点的连贯的工作序列称为路径。例如在图 1.1 中, 由工作序列 A, C, G, I, J 组成一条路径, 可记为 1—2—4—6—7—8; 由 A, K, D, F, H, J 也组成一条路径, 可记为 1—2—3—4—5—7—8。等等。每条路径上各项工作的时间参数之和, 称为该路径的时间参数。时间参数最大的路径(费时最多的路径)

称为关键路径。时间参数最小的路径称为最佳路径。经简单计算,不难知道图 1.1 中,关键路径是 1—2—4—6—7—8。此路径的时间参数是 $8+6+7+8+5=34$ (天);最佳路径是 1—3—5—7—8,它的时间参数是 $5+9+4+5=23$ (天)。

CPM 方法的突出特点是,通过网络优化挖掘潜力,合理调整非关键路径上的资源,支援关键路径,反复压缩关键路径的时间参数,从而达到缩短工期和降低费用的目的。因此称为关键路径法。

PERT 方法与 CPM 方法的共同点是,网络图中弧与弧的相互关系属于肯定性的,即工作和工作之间明确地表示为肯定的相互关系。如图 1.1 中 G 完成后 I 才可以开始, G 和 I 之间是一种肯定的相互关系。倘若 G 完成之后, I 可以开始的概率是 45%, G 和 I 之间便是非肯定型的相互关系。CPM 和 PERT 的主要不同点是:CPM 在时间参数上也是肯定型的。如图 1.1,每个作业的时间采用一个估计值(最可能), A 的作业是 8 天, B 的作业是 5 天,……。PERT 在时间参数上是非肯定型的,采用三个估计值(最乐观,最可能,最悲观)。例如,倘若作业 A 最快 7 天完成,最慢 10 天完成,最可能 8 天完成,那么 A 的最乐观、最可能、最悲观时间分别是 7, 8, 10(天),也就是说,PERT 在时间参数上计入了不确定因素。

由于网络法一开始就在巨型工程中取得了辉煌成就,因此迅速引起世界各国的重视,在很短时间内得到了广泛传播和应用。特别是美国、苏联和日本,对推广和应用这种技术热情极高。1961 年,美国政府规定,凡是由政府进行的一切工程,都必须采用这种技术。1970 年美国对 235 家企业的调查表明,应用网络法的占 81%。苏联和日本从 60 年代开始推

广和普及，到 1975 年，苏联的推广面已达 34%。我国也是在 60 年代中期由华罗庚首先倡导并在全中国宣传和推广这种技术的，并称为统筹方法。但很快由于十年动乱受到严重干扰。粉碎“四人帮”之后，特别是近十年来，随着改革开放政策的深入贯彻，网络法在科研、生产、施工、军事等各个领域的推广和应用逐步扩大。这标志着我国管理科学的发展正在进入一个新的阶段。

自从 CPM 和 PERT 产生以来，为适应各种复杂情况的需要，网络分析法的形式有了很大的发展，目前已有几十种之多。本书所要着重介绍的随机网络评审方法是网络法发展的最新成果之一。

§ 3 风险分析与随机网络方法

对于任何计划、工程、科学实验的决策，时间短，费用低，效益高，安全可靠，无异是每个决策者极度关心的问题。然而我们生活的世界充满着随机因素，任何活动计划，尤其是创造、开发性的项目计划，总要带有各种风险，既可能成功，也可能失败。管理者最普遍而经常遇到的情况，是要在信息不完备或不充足的条件下，必须对一些可能的方案做出决策。因此，精明的决策者不仅应该意识到风险的存在，而且应该能动地预见它们出现的可能性，根据现有技术工艺水平以及各种资源条件，寻求最佳的计划方案。这种把客观世界本来存在的随机性、风险性考虑进去所作的决策，称为随机型决策，也叫风险分析。一种常用的进行随机型决策的工具叫做决策树，它实质上是一种枝状的网络图。图 1.2 是一个最简单的决策树。其中□表示决策节点，由它引出的箭线

称为策略分枝；○表示自然状态节点，由它引出的箭线称为概率分枝；△表示决策终节点。

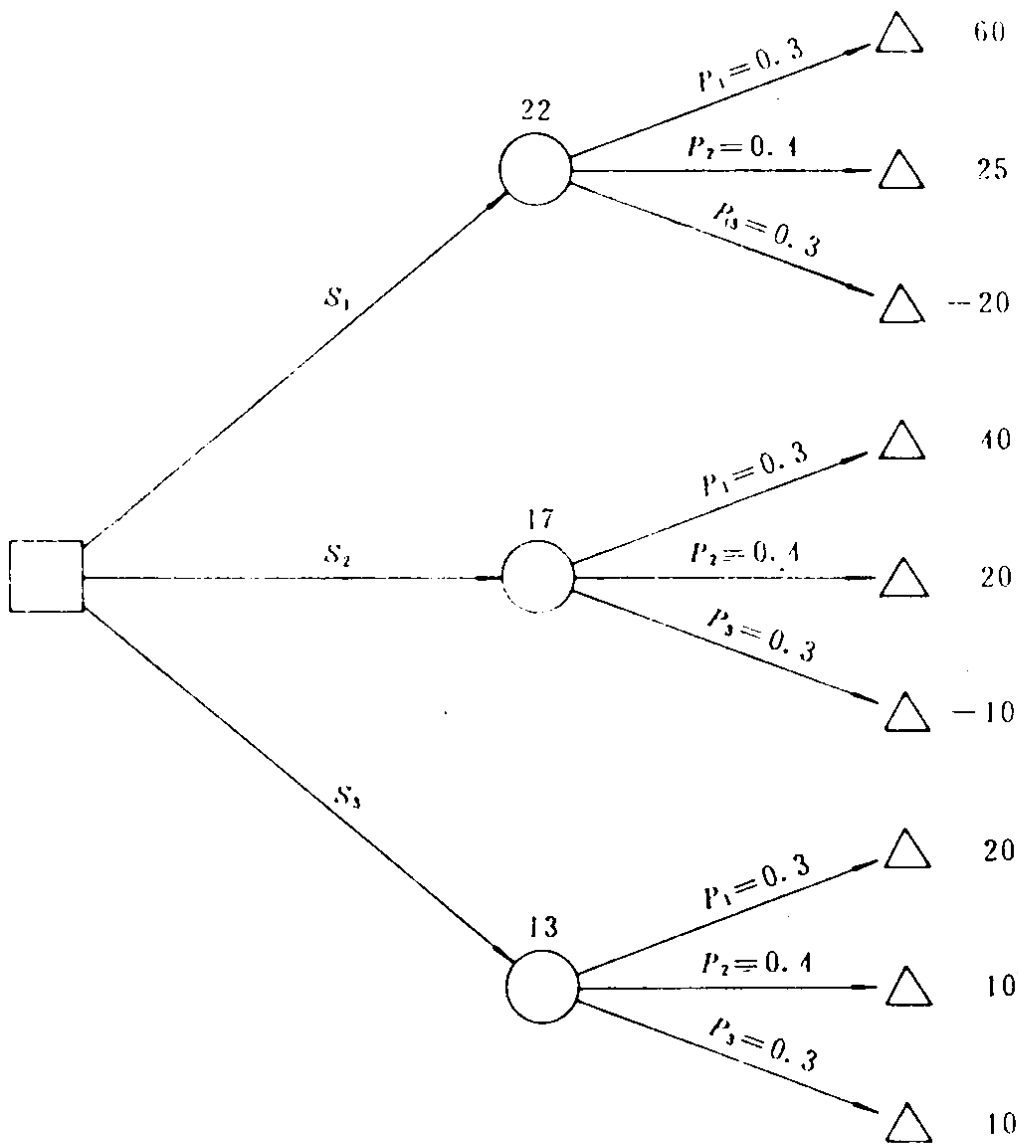


图 1.2

图 1.2 是由如下决策问题抽象出来的决策树。某厂为了开发某种新产品，需要对生产设备的投资规模作决策。有三种可供选择的方案(策略)： S_1 ， S_2 ， S_3 ，分别代表购买大型设

备、中型设备、小型设备。经过分析预测，未来市场对这种产品的需求情况也有三种，也就是可能发生三种自然状态： N_1 ——需求量较大， N_2 ——需求量一般， N_3 ——需求量较小。这三种自然状态发生的概率 $P_j = P(N_j)$ ($j=1, 2, 3$) 分别为 0.3, 0.4, 0.3。经估计，采用方案 S_i 而实际发生状态 N_j 时，工厂的效益值 $a_{ij} = f(S_i, N_j)$ 所作成的效益矩阵 $A = [a_{ij}]$ 为

$$A = \begin{pmatrix} 60 & 25 & -20 \\ 40 & 20 & -10 \\ 20 & 10 & 10 \end{pmatrix}$$

其中 $a_{13} = -20$ 表示如果选择方案 S_1 (购买大型设备)，但市场实际发生状态 N_3 (需求量较小) 时，工厂将损失 20 万元。

使用决策树进行决策的最初等的方法是采用所谓期望值准则进行决策。例如在此例中以效益期望值最大作为决策的准则。经简单计算， S_1, S_2, S_3 的期望值 E_1, E_2, E_3 分别为 22, 17, 13 (万元)，它们分别标在自然状态点的上边。例如策略 S_1 的期望值为

$$\begin{aligned} E_1 &= P(N_1)a_{11} + P(N_2)a_{12} + P(N_3)a_{13} \\ &= 0.3 \times 60 + 0.4 \times 25 + 0.3 \times (-20) \\ &= 22 \end{aligned}$$

当然，决策树可以应用于比此例复杂得多的随机型决策问题，决策节点也不只一个。但是，在决策树中，随机性往往只体现在相互关系方面的非肯定型，在时间参数方面仍然要求是肯定型。比如在上例中，不仅隐含着策略 S_1, S_2, S_3 都能成功 (即成功的概率都是 1)，而且隐含着三种策略都可以在相同的时间内实现。假若 S_1 需要三年才能实现， S_2 需要一年实现， S_3 需要半年实现，上述期望值的比较就失去了意义。

1

随机网络一般是指在网络逻辑和参数两个方面都带有随机性的网络。由于 CPM 在这两方面都不带有随机性，PERT 只在时间参数上带有一定随机性，决策树只在相互关系方面带有随机性，因此，严格说来，它们所处理的网络都不属于随机网络。当然，另一方面，只要把肯定性的因素视作概率为 1 的因素，这三种网络又都可以算作随机网络的特例。

在 CPM 和 PERT 基础上最早发展起来的随机网络是 1966 年由 Pritsker 提出的 GERT(图示评审技术)，并成功地应用于阿波罗登月计划的研究。GERT 不仅允许相互关系和时间参数两方面都带有随机性，而且允许网络中有回路和自环存在(这在以往的网络图中是不允许的)。这就使客观实际中大量存在并且具有重要科学意义的反馈现象，得以在网络图中获得反映。GERT 根据实际问题的需要，把节点一分为二，分为输入端和输出端，输入端和输出端各种不同的相互关系(逻辑关系)通过不同的图示表示出来(见图 1.3)。其中节点的输入端与输入该节点的各项工作的关系有三种：

“互斥-或”型表示只允许其中一项工作进行，并且只有这项工作能完成，以这项工作的完成作为该节点的实现。

“可兼-或”型表示允许各项工作均在进行，但以最先完成工作的结束作为该节点的实现。

“与”型表示所有各项工作都完成后，节点才告实现。

节点的输出端与该节点实现后的各项工作的关系有两种：

肯定型表示该节点的实现使随后各项工作均可开始进行。

概率型表示该节点的实现使随后工作中只有一项能展

开，这些随后工作展开的概率之和等于 1。

输出端 输入端		肯定型	概率型
		D	▷
互斥 或	◁	◁○	◁◇
可兼-或	▷	▷○	▷◇
与	◐	○	◐◇

图 1.3

图 1.4 是一个最简单的 GERT 网络图。它表示某电子车间 A 制成的产品(比如电视机)，必须送到检验工段 B 进行检验。合格者，送调整工段 E，调整好的产品送往成品库 F。不合格者，需送往检修工段 C 进行检修：检修合格再送调整工段 E；检修通不过的需送往返修工段 D，经返修后再送往检修工段 C 进行再次检修。容易看出，在节点 C, D 之间形成了回路。箭线上的数对(P:t)中的 P 表示该项工作的发生概率，t 则表示时间参数。

GERT 产生以后，随机网络方法的研究得到蓬勃发展，其趋势大体上朝着两个方向发展。一个方向是在 GERT 自身基础上不断充实，改进，突出网络中的局部重复(回路)，并在时间参数以外，又引进依赖时间参数的费用参数。这方面有代表性的方法是被广泛应用的 SLAM 仿真技术。另一个方向，是在增加决策参数上不断充实，改进，使决策者所关