

ENGINEERING NETWORK OPTIMIZATION TECHNOLOGY

工程网络优化技术

杨开泰 卢立生 编著
李春敏 冯 斌

国防科技大学出版社

前 言

现代科学在飞跃,现代管理技术重要内容之一的网络计划优化技术已英姿焕发地跨入各行业,并施展强大的威力。目前,逐渐为各行各业所接受,网络计划优化技术的发展和推广应用有着广阔的前景。应用网络技术表达某项计划,通过计算确定关键路线,并不断改善网络计划,选择最优方案,以便进行有效的管理监督,确保合理地使用人力、物力和财力,缩短工期、节省费用,多快好省地完成有关的任务,已经引起各国有关部门的重视和应用。50年代末,美国首先应用于制定美国海军北极星导弹研制计划,它使北极星导弹研制工作提前两年完成,成本控制取得显著效果。美国阿波罗登月计划,耗资400亿美元,42万人参加,就是应用网络计划技术进行组织、计划、管理的。时间就是金钱,一个年发电量200亿kWh的水电站建设,若应用网络计划优化管理,缩短工期提前一个月发电,就可获得数亿美元的创利。目前一些国家政府规定,对新建工程要全面采用网络计划优化技术。

网络技术在施工、生产、科研和军事等领域已逐步得到应用,取得可喜的成就。特别是微机的普及,对网络技术的推广应用,有着广阔的前景,它将成为管理者的可靠工具。我国在各行各业中推广和应用所取得的经济效益,已显示出它的优越性。随着四化建设和科学技术的发展,推动网络技术的应用,实现现代化管理有着极其重要的意义。

在推动网络计划的现代化管理中,我们结合工程实际,为解决工程实际问题,缩短工期,节省费用,取得了较好的效益。为此,我们进行总结、归纳、整理,根据国内外有关专著及杂志的资料,结合我们多年的科研成果编写成书。本书系统地介绍网络计划的原理,优化方法及应用实例。可供工程技术人员、科学研究人员、经济计划管理人员和大专院校师生的参考。

由于水平所限,敬请专家、学者和读者批评指正。

编著者

1992年8月

主要符号说明

- i — 工作 (i, j) 的开始节点
 j — 工作 (i, j) 的结束节点
 $T(i, j)$ — 工作 (i, j) 的持续时间
 h_i — 工作 (i, j) 的紧前工作
 j_k — 工作 (i, j) 的紧后工作
 $ES(i, j)$ — 工作 (i, j) 的最早开始时间
 $EF(i, j)$ — 工作 (i, j) 的最早结束时间
 $LS(i, j)$ — 工作 (i, j) 的最迟开始时间
 $LF(i, j)$ — 工作 (i, j) 的最迟结束时间
 $TE(i)$ — 事件(节点)最早实现时间
 $TL(i)$ — 事件(节点)最迟实现时间
 TE — 工程最早完工的时间
 $R(i, j)$ — 工作 (i, j) 的总机动时间
 $r(i, j)$ — 工作 (i, j) 的局部机动时间
 $Q(i, j)$ — 工作 (i, j) 所需完成的工程量
 N — 工作班数
 σ^2 — 方差
 P — 实现概率
 ES_i — 工作 i 的最早可能开始时间
 EF_i — 工作 i 的最早可能结束时间
 LS_i — 工作 i 的最迟必须开始时间
 LF_i — 工作 i 的最迟必须结束时间
 R_i — 工作 i 的总时差
 r_i — 工作 i 的局部时差
 T_i — 工作 i 的持续时间
 LAG_{i-j} — 紧邻工作 $i-j$ 间的时间间隔
 FTS — 结束到开始的时距
 STS — 开始到开始的时距
 FTF — 结束到结束的时距
 STF — 开始到结束的时距

目 录

主要符号说明

第一章 概论	(1)
第一节 网络计划技术的发展过程	(1)
第二节 横道图的优点和缺点	(2)
第三节 一种有效的管理方法——网络计划技术	(3)
第二章 网络计划图	(6)
第一节 网络图的表示	(6)
第二节 网络图的准则与逻辑	(9)
第三章 网络计划图的编制与计算	(12)
第一节 网络图编制的步骤	(12)
第二节 虚箭线的绘制	(14)
第三节 绘制网络图的规则与注意事项	(15)
第四节 网络时间参数的计算与关键路线	(16)
第四章 网络计划的时间优化	(22)
第一节 网络计划优化的概念	(22)
第二节 网络计划时间优化的措施	(22)
第三节 组织关系的优化原理	(24)
第四节 组织关系优化的实例	(25)
第五章 资源有限、工期最短的网络优化计算	(27)
第一节 资源安排的意义	(27)
第二节 R S M法的计算原理	(27)
第三节 应用R S M法进行资源调整的计算实例	(29)
第四节 推平法的原理与计算分析	(31)
第五节 最小工期增量法	(35)
第六节 推平填补法	(36)
第七节 多种资源有限、工期优化计算原则	(37)
第八节 资源强度可变的优化方法	(37)

第九节 资源有限的合理分配方法	(46)
第十节 资源优化后网络的关键线路	(50)
第六章 工期一定、资源均衡优化	(52)
第一节 工期一定、均方差最小的资源优化	(52)
第二节 削峰填谷实现资源均衡优化	(57)
第七章 工期一成本优化	(72)
第一节 工程的施工经济分析	(72)
第二节 网络压缩计算实例	(75)
第三节 破圈法	(81)
第四节 线性规划法	(84)
第八章 对网络技术模型的一些改进	(90)
第一节 网络技术的改进	(90)
第二节 多资源优化的实现	(92)
第九章 计划协调技术 (PERT)	(94)
第一节 工作历时的计算	(94)
第二节 完工时间与完成概率	(96)
第三节 确定关键路线的问题	(98)
第十章 网络计划的管理与控制	(100)
第一节 年、季、月度网络生产计划与管理	(100)
第二节 带有时间坐标的网络图	(102)
第三节 进度动态曲线	(104)
第四节 标准网络计划	(107)
第五节 多目标网络计划	(108)
第十一章 搭接网络技术	(110)
第一节 单代号网络图	(110)
第二节 单代号网络计划工序时间参数的计算	(111)
第三节 搭接网络工作之间的关系	(112)
第四节 单代号搭接网络的工序时间参数计算与关键路线的确定	(114)
第五节 强制时间的限制	(125)
第十二章 工程网络优化软件与应用	(127)
第一节 工程网络优化软件	(127)

第二节	株树桥水电站导流隧洞施工进度网络优化设计	(131)
第三节	高滩水电站施工网络优化设计研究	(136)
第四节	某军休中心施工网络优化管理	(140)
第十三章	网络流的问题	(145)
第一节	网络最大流问题	(145)
第二节	最大流的计算方法	(149)
第三节	最小费用流问题	(156)
第四节	最小费用流的计算方法	(160)
第五节	分配问题的求解	(164)
第十四章	网络系统的线路优化与算法	(169)
第一节	网络线路的优化	(169)
第二节	最短路问题	(171)
第三节	运输网络的分析计算	(177)
第十五章	图解评审技术	(181)
第一节	概述	(181)
第二节	GERT网络的逻辑与符号	(183)
第三节	GERT网络的特 点	(186)
第四节	GERT网络的编制	(187)
第十六章	风险决策与评审技术	(191)
第一节	风险型(统计型)决策与分析方法	(191)
第二节	风险评审技术(VERT)	(194)
附录一	正态概率分布表	(198)
附录二	标准正态分布表	(201)
参考文献		(203)

第一章 概 论

第一节 网络计划技术的发展过程

网络计划技术最早出现于美国。1957年,杜邦公司研究设计了一种新的计划管理方法,叫做关键路线法(Critical Path Method),简称CPM法。首先用于编制化工厂建设计划,以后又应用于生产设备的维修,获得良好效果。这种方法的特点是:要求每项具有肯定的持续时间,即要求确切地估计出完成各项工作所需的历时。各项工作之间相互联系的逻辑关系也应当是明确的,肯定的。所以,这种方法在土建工程及一般生产中用得比较广泛。我国也将这种方法称为肯定型的网络计划。

在CPM法出现的同时,美国于1958年初为加速研制“北极星”导弹核潜艇,创造出一种以数理统计学为基础,以网络方法为主要内容,以电子计算机为手段的新型计划管理方法,称为计划协调技术,也叫计划评审技术,简称PERT法。这种方法与CPM法有所不同,区别在于对工作历时和工程工期进行估计时,引入“不肯定性”,也就是说,所需确定的工作历时,不是一个唯一的、肯定的数值。因而,它的处理方法与CPM法不同。PERT法并不是着眼于计划进度的绝对准确性,而是在承认存在偏差的条件下,用概率论的观点和数理统计的方法来衡量和预测,从许多非肯定型环节中找出最终完成计划的可能性的规律。显然,PERT法对于那些缺乏充分资料精确确定时间的工程项目,或是某些新的研制项目是很适用的。

我国著名数学家华罗庚教授于1965年开始,在我国广泛推广和应用了以网络计划为主的统筹方法,取得了明显的经济效益。在发展过程中,理论上将网络理论、优化理论及计算技术等逐步引入PERT/CPM,而在实际应用上,由于其方法简便明了,已为工业和研究部门广泛采用。其研究成果得到应用的比比较大,在工业管理领域中,除了线性规划和仿真技术以外,网络技术的应用率占第三位。

PERT和CPM在其诞生之时,就限定在肯定型网络模型的范围内,PERT在活动时间上作了概率上的考虑,同时作了以下假设:

- (1) 所有活动均为独立的;
- (2) 关键路线远较其他路线为长;
- (3) 关键路线上有足够多的活动,从而可以引用中心极限定理,工程周期将为正态分布;
- (4) 每项活动的周期均服从 β 分布,而且其平均值可近似地用 $(a+4m+b)/6$ 来确定,方差为 $(b-a)^2/36$ 。

以上假设有其合理的成分,但也使PERT/CPM网络的应用受到较大的限制。

PERT和CPM在网络结构上限定在肯定型范围内。网络中每项活动都必须实现,不存在概率分支的可能,每一事项实现之后,没有选择活动或决策的余地。

随着科学技术和工业生产的迅速发展,在广泛的科研项目、试制工程和生产与服务过程中,随机因素日益成为不可忽视的重要方面。反复进行科学实验,实验结果与设计

方案修改之间的多次反馈、工程设计或生产过程在一定阶段上的方案选择、以及服务过程与顾客到达过程之间的随机耦合等等，都是现代工程项目、研究项目或生产与服务系统的典型特征。面对多种随机因素共同作用于同一过程，人们已日益感到 PERT/CPM 不能适应这种发展中的需要，因而，一种新的随机网络技术应运而生，即图示评审技术（Graphical Evaluation Review Technique，简称 GERT）。

在随机网络仿真的领域中，还有“风险评审技术”（Venture Evaluation Review Technique，简称 VERT），对系统的性能、时间和费用三大要素进行综合仿真和决策。

从实际应用来看，随机网络较之 PERT/CPM 已展现了巨大的潜力。从 1969 年 GERT 成功地用于美国“阿波罗”计划之后，相继在研究和发展性项目及生产过程中得到应用，如科研计划管理、可靠性分析、机械制造生产线的设计和分析、质量控制、自动化仓库管理、排队问题等等。此外，在交通运输、人口动态分析、计算系统、商务合同签订等方面也都得到应用。

CPM 和 PERT 这两种方法，在作图、工作时间计划以及名词术语等方面虽有一些差异，但他们的基本原理是相同的，且都建立在网络模型的基础上，因而统称为网络计划技术。此外，网络计划技术尚包括搭接网络技术、图示评审技术、风险评审技术等。

网络计划技术出现后，很快在世界各地获得推广应用。许多理论工作者和实际生产部门更广泛地开展了对网络计划技术的理论研究和推广应用工作，并被越来越多的单位所采用，发挥着日益显著的作用。

第二节 横道图的优点和缺点

自十九世纪中叶开始，即有了施工与时间关系的图示方法出现。以后由亨利·L·盖特和弗德里克·W·泰勒发展了这种方法。并开始普及这种施工时间图示方法，这就是今天的横道图的基础。由于横道图具有直观、易懂等优点，因此很快地运用于工程计划。但横道图和网络计划技术相比较，显然有三点不足之处。

（1）由于横道图不可能把所有工作间的相互关系和先后顺序，象网络计划技术那样全部用图形显示出来，所以它不利于事先进行复核和审查，也不便于在工程建设过程中，用它来指导工程的实施。

（2）由于横道图只表示了各施工项目的起止时间，而没有把最早可能开始的时间和最晚必须完成的时间表示出来，所以计划管理人员就看不出哪些是控制进度的关键工作，哪些是有潜力可挖的非关键工作。在计划执行过程中，当工程进度计划推迟或提前时，横道图不象网络计划技术那样，用数据清楚地阐明推迟或提前对整个建设项目将造成什么性质的影响，以及各项工作进行调整的潜力，因而不便于对计划进行控制和调整。于是，由于缺乏有效的依据来进行指挥，而使施工处于混乱。

（3）横道图难以象网络计划技术那样用数学模型表示和用数学方法进行定量处理，也无法使用电子计算机进行计划的管理。

横道图虽有不足之处，但可取其简单、易懂的优点，在计划过程中作为辅助用表，与网络计划技术结合使用。

第三节 一种有效的管理方法——网络计划技术

系统工程中具有普遍实用价值的网络计划技术是一种科学的计划管理方法。基本原理是利用网络模型来表示计划任务的进度安排及其组成的各项工作之间的相互依赖、相互制约的关系，使计划中各项工作与整个计划的关系得以明确显示。于错综复杂的施工环节中寻找出控制施工计划的关键工作和关键线路，并利用时差，不断地改善网络计划，求工期、资源和成本的优化方案。在计划执行过程中，通过信息反馈进行监督和控制，保证以最低的消耗取得最佳的经济效果。

其具体步骤是：

- (1) 绘制初始网络图，并确定（或估计）各项工作的持续时间。
- (2) 通过电算，求出各个事件最早开始和最迟开始时间，计算各项工作最早开始、最早结束、最迟开始、最迟结束的时间以及总时差和局部时差，并判别关键工作和关键线路。
- (3) 在满足既定的要求下，按某一衡量指标（时间、资源、成本等），寻找最优方案，保证在计划规定的时间内用最少的人力、物力和财力完成任务，或在人力、物力和财力的限制条件下，用最短的时间完成任务。
- (4) 执行过程中，不断地收集、传递、加工、分析信息，使决策者可能实现最佳选择，及时对计划进行必要的调整。

应用网络计划技术，在管理中可起到如下作用：

(1) 它可以把整个计划任务按照施工的客观规律严密地组织起来，同时使施工计划的制定和贯彻执行建立在科学计算和综合平衡的基础上。这种科学管理方法的一个突出优点，就是能预见计划实施过程中的关键所在。抓住了关键工作和关键线路就可以从全局出发，统筹兼顾，科学地组织和指挥施工。

(2) 通过网络图可以一目了然地看到整个计划任务的全貌，看出各项工作之间的相互关系，使各个职能管理部门和管理人员都了解施工的进度安排、了解施工对自己的工作所提出的要求，从而促使他们加强协作配合，全力以赴地为基层施工服务。对于各基层施工单位和操作者来说，通过网络图可以清楚地了解自己在全局中处的地位和作用，从而促使组织协作、保证施工任务按期完成。

(3) 通过网络时间参数的计算，可以帮助各级施工领导者做出比较有科学根据的决策，避免盲目指挥，同时，促使领导者学习科学管理知识，深入钻研业务，真正做到既能掌握全局，统筹安排，又能抓住重点、兼顾一般，正确指挥施工。

(4) 通过时差的计算，可以发现各项工作在时间配合上的潜力，为缩短工期和合理地调配及使用人力、物力、财力提供科学依据。

(5) 通过网络计划的优化、择取最优方案，保证时间与资源、时间与成本的最佳组合。应用网络计划技术，还可以把一项规模较大的计划工程划分成几个部分，并把它看作是大系统中的子系统，分别进行计划和控制，从而由局部最优达到总体最优。

(6) 网络计划在贯彻执行中，如果某项工程因故提前或拖后完成时，可以通过计

算测定其对整个计划进度的影响，并根据变化了的情况，通过信息反馈，迅速作出判断和进行必要的调整，始终保证对计划实行有效的监督与控制。

(7) 网络计划是以电子计算机为基础，为自动化管理创造条件。

网络计划技术通过建立网络模型，用计算机进行模拟，预测、优化和调整。将系统工程的方法应用到计划管理领域中来，从根本上改变了以往编制计划缺乏严格科学方法的状况。因此，它引起了国内外普遍的重视和广泛的应用。

目前，推行网络计划技术中常用的主要图示方法可概括如下：

- (1) 双代号网络图
- (2) 双代号时标网络图
- (3) 单代号网络图
- (4) 双代号搭接网络图
- (5) 双代号搭接时标网络图
- (6) 单代号搭接网络图
- (7) 逻辑横道图(新横道图)

它的发展过程是一个不断完善，不断提高的过程，总的发展趋势是使图示方法更加简化、更加适应，研究成果为在工程中应用网络计划技术创造了良好的条件。在实际应用中，采用世界上和我国自己研究的最新成果，以提高应用效果。

由于目前我国管理水平亟待提高，必须实行科学管理，而实行科学管理就必须推广和应用网络计划技术，用网络计划技术代替横道计划法，做到以最小代价取得最佳的经济效果。

计划评审技术是美国于1958年初为加速研制“北极星”导弹核潜艇，创造出的一种以数理统计学为基础，以网络方法为主要内容，电子计算机为手段的新的计划管理方法。这一方法具有突出的效果，使“北极星”计划提前两年完成。此后 PERT就作为现代管理科学的一个重要组成部分而得到广泛的应用和发展。

计划协调技术所需确定的工作历时，不是一个唯一的、肯定的数值。例如在新式武器及宇宙飞船的研制中，无论是在设计、研究或者制造过程中，它要处理的对象包含大量的不确定因素。整个系统中各项任务所需的时间，各项任务在执行中的实际完成情况，以及整个工程在研制过程中技术上和生产上的变化因素，都不可能按事先规定而一成不变。这些大量的不确定因素使整个计划处于高度的非肯定状态，因而它的处理方法与 CPM有所不同。计划评审技术并不着眼于计划进度的绝对准确性，而是用概率论的方法来衡量和预测，从许多非肯定型环节中找出最终完成计划的可能性的规律。

在大型工程项目中应用PERT时，也要先绘制能正确反映各项任务之间内在联系的网络图。然后根据各项任务的预计完成时间，算出能代表此网络特性的各参数，以便管理人员进行检查、调整和指挥整个研制过程，以期达到预定的目标。其主要步骤为：

- (1) 编制网络图
- (2) 确定各项活动的估算历时
- (3) 计算事件的最早预计完成时间
- (4) 计算事件的最迟允许完成时间

- (5) 考虑事件的松弛时间或时差
- (6) 确定关键路线
- (7) 计算事件或整个工程按计划完成的概率

上述各步骤中,除(1)(7)两项外,其余各项都与CPM相类同。

网络的各项有关活动之间的衔接关系,只能是一种依序衔接的关系。也就是说,网络中任何一项工作必须在领先于它的工作结束后才能开始,或者说,只有当一项工作完成后,它的后继工作才能开始,但是,在实际计划工作中,常会遇到两项工作需要搭接进行的情况,为了表达这种搭接情况,绘制CPM和PERT的网络图时,就需要人为地把一项工作分解为两部分,当有搭接关系的工作项目数量很多时,则人为地增加了矢线的数量以及网络的复杂性,增加了绘图及计算的工作量。

为了解决上述问题,60年代中期,在美国首先出现了一种叫做前导网络的计划技术,此后,其他一些国家也先后提出了类似的搭接网络计划技术。

当一项工程各项活动的历时具有肯定的数值时,常用CPM或搭接网络等方法编制工程计划。如果活动的历时是不确定的估计值,而且具有一定的概率时,则应用PERT。

GERT是CPM/PERT的高等形式,不仅可以用来求解一般的肯定性问题,而且还可以用来解决特殊的随机性问题,该网络在形式与作用上兼容CPM/PERT网络。而构成上,GERT是由CPM/PERT扩展得出的。GERT网络为我们安排计划,制定方案,策划对策、解决随机问题等提供了新方法,带来新的前景,在对它了解和掌握之后,会感到GERT技术的其秒无穷。

风险评审技术VERT是一种以管理系统随机网络分析技术为基础的以计算机仿真技术为手段的定量决策分析技术。是美国在八十年代研制武器系统中发展起来的最新的网络分析技术。已由VERT-1型发展到VERT-3型。后者是八十年代的最新型号。VERT的功能比现有的一些网络分析技术(如CPM、PERT、GERT)要强得多。它对发展项目及计划的非肯定性活动能同时就费用、时间和性能进行定量分析,并可以对可能发生的风险进行概率性的定量估计,从而为方案评价、决策分析、计划控制与监督管理提供科学依据。由于它的功能较强,得到较广泛的应用,最初是军事部门,后来扩大到许多民间事业,它的应用领域还会得到扩展。

近几年来,我国的管理科学得到了迅速发展。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,越来越受到人们的重视。可以预料,随着科学管理高潮的到来,网络法必将在我国得到迅速的推广和普及,并取得显著的成效。

第二章 网络计划图

第一节 网络图的表示

网络图主要是以箭杆和节点组成的。箭杆是计划网络图中带有方向的线杆，箭杆代表某一工程项目，通称为“工作”、“工序”或“活动”。在箭杆下方的数字表示为完成这一活动所需的时间，箭杆的上方标明工作的名称或代号。箭尾和箭头分别表示该项工作的开始和结束。活动通常要消耗一定的时间、人力、物力和资源。每根箭杆的箭头和箭尾部分均绘有圆圈，称为节点，圆圈中编有号码，箭杆前后两个号码在一起就代表着某一项工作，是在箭杆的交点处通过节点圆圈联接起来，这个节点是箭杆的集合点与出发点，表示与该点前后有关各活动之间的逻辑关系，如节点②表示在完成1-2活动之后，2-3和2-4这两项活动才能开始。见图2-1的示。

结点③说明了只有在1-2，2-3活动和1-3活动完成之后才能开始，节点表示前项工作的结束（终点），又表示后项工作的开始（起点），也称为事件，事件不消耗时间和资源，从工程开始的事件起到事件⑥结束，有许多条线路，每条线路所需的总工作时间不尽相同，其中总工时最长的线路为“关键线路”。位于关键线路上的工作直接影响整个工程的工期，故称为关键工作或关键活动。所以，工作、事件和路线是网络的三要素。

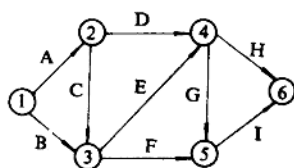


图 2-1

在网络图中，由许多具有独立的最终目标、相互有关的工作组成的网络图称为多目标网络图，而只具有一个最终项目的网络图称为单目标网络图，如图2-2就是多目标的网络图，它的最终目标是⑦、⑧两个节点。

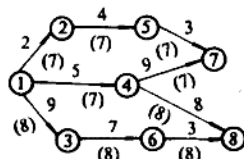


图 2-2

单代号网络图可分为事件节点网络图与

工作节点网络图。单代号网络图具有容易画，没有虚工作，便于修改等优点。因此对单代号网络图，特别是工作节点网络图逐渐重视起来。

我们用一个圆圈或方框代表一项工作。工作代号、工作名称和完成工作所需要的时间写在圆圈或方框内，箭号表示工作之间的顺序关系，这种表示方法，称为工作节点表示法，如图2-3(a)所示

把完成一项计划（或工程）所进行的许多工作，根据先后顺序和相互关系从左向右绘制成的图形，叫做工作节点网络图。图上只有工作，没有事件。图2-3(b)是一个简单的工作节点网络图。

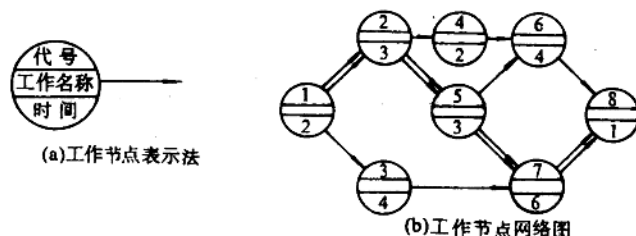


图 2-3

图中表示，完成这个计划，需要做8项工作。工作1完成后，工作2、3可以同时进行；工作2完成后，可以同时进行4和5；工作4和5完成后，可以进行工作6；工作3和5完成后，可以进行工作7；工作6和7完成后，可以进行工作8；工作8的完成，整个计划就完成了。其中双向箭杆为关键路线。

工作（工序、作业、活动）是网络图的组成部分，按其特征分为：

(1)实工作，指消耗时间，消耗资源的工作，如设备试车。只消耗时间、不消耗资源的工作，如混凝土养护等。

(2)虚工作，指不消耗时间、不消耗资源的工作。虚工作在双代号网络图中采用，表示一项工作与另外一项或几项工作之间的附加顺序关系。

按其与紧邻工作之间的逻辑关系分为：

- (1)本工作。
- (2)紧前工作，即紧接在本工作之前的工作。
- (3)紧后工作，即紧接在本工作之后的工作。
- (4)平行工作，即与本工作同时进行的工作。

按其在网络图的位置分为：

- (1)本工作。
- (2)先行工作，即自起点到本工作之前所有的工作。
- (3)后继工作，即指自本工作的紧后工作开始到终点的所有工作。
- (4)起始工作，系指网络计划中没有紧前工作的工作。
- (5)终端工作，系指网络计划中没有紧后工作的工作。

事件表示工作进行过程中的一个确定状态。它是工作的开始或结束的瞬间时刻，事件按其相互关系可分为：

- (1)本事件。
- (2)紧前事件，直接位于本事件前面的事件。
- (3)紧后事件，直接位于本事件后面的事件。

按其在网络图中的位置分为：

- (1)起始事件，系指网络图中没有紧前事件的事件，即网络图中始点的事件。
- (2)终端事件，系指网络图中没有紧后事件的事件，即网络图的终点的事件。

(3)中间事件,指网络图中除起始事件,终端事件以外的事件。

事件的持续时间为零,表示事件瞬间时刻,通过中间事件,把紧邻的两项以上工作衔接起来,起工作之间的衔接作用,事件具有明显的形象进度,便于检查。

在一个网络图中,由于采取措施缩短关键工作持续时间,关键线路,次关键线路和非关键线路可能会引起相互转化。因此,关键线路并不是一成不变的。

紧邻工作指具有一定逻辑关系的两项工作。紧前工作与本工作,本工作与紧后工作,都构成紧邻工作。

紧邻之间的关系,有以下类型:

(1) 对接关系

对接关系指工作*i*结束以后,紧后工作*j*才能开始的顺序关系,即工作结束到紧后工作开始之间的时间间隔为零的顺序关系。

(2) 搭接关系

(1)结束到开始搭接关系,系指工作*i*结束以后,经过时距*T*,与其紧后工作*j*的最早可能开始时间的搭接关系。

(2)开始到开始搭接关系,系指工作*i*开始以后,经过时距*T*,与其紧后工作*j*的最早可能开始时间的搭接关系。

(3)结束到结束搭接关系,系指工作*i*结束以后,经过时距*T*,与其紧后工作*j*的最早可能结束时间的搭接关系。

(4)开始到结束搭接关系,系指工作*i*开始以后,经过时距*T*,与其紧后工作*j*的最早可能结束时间的搭接关系。

(5)混合搭接,同时存在上述两个或两个以上的搭接关系。

为了适应不同任务(或项目)、功能、用途的需要,出现了不同类型的网络计划。网络计划的分类有以下情况。

(1) 按表达形式可分为:

① 双代号网络计划

双代号网络是以箭线表示工作、以节点(圆圈)表示其间的连接点的网络计划。

② 单代号网络计划

单代号网络计划是以节点表示工作,以箭线表示逻辑关系的网络计划。这种网络计划是用节点表示工作的,又称为节点式网络计划,单代号网络计划可分为事件节点网络计划与工作节点网络计划。

事件节点网络计划,指着重描述事件,以节点表示事件,以箭线表示事件与事件之间顺序关系,在箭线下面标明事件与事件之间时间距离的单代号网络计划,PERT是事件节点网络计划的典型代表。

工作节点网络计划,指着重描述工作,以节点表示工作的单代号网络计划。除PERT外,单代号网络计划属于此类,在实际中已广泛应用。

(2) 按逻辑关系和工作持续时间可分为:

① 第一种类型

这种类型的逻辑关系是肯定的，工作持续时间也是肯定的。常用的“关键线路法”(CPM)，就属于这种类型。

② 第二种类型

这种类型的逻辑关系是肯定的，但工作持续时间是非肯定的，PERT就属于这种类型。

③ 第三种类型

这种类型的逻辑关系是非肯定的，而工作持续时间是肯定的。

④ 第四种类型

这种类型的逻辑关系是非肯定的，工作的持续时间也是非肯定的。GERT属于这一类型。

(3) 按终点数可分为：

按终点数可分为：单终点网络计划，即只有一个终点的网络计划；多终点网络计划，即由两个或两个以上具有独立的终点组成的网络计划。

(4) 按用途可分为：

① 建设项目网络计划，以建设项目为对象编制的网络计划，属施工组织设计阶段的网络计划，为总体网络计划。

② 单项工程网络计划，即按照建设项目网络计划规定的开、竣工时间进行分项安排，确保总工期实现的网络计划。

③ 单位工程（或分部工程）网络计划，亦称局部网络计划。当工程量大，结构复杂时，在单位工程中占有重要地位的可按分部工程编排网络计划。

④ 施工企业总体网络计划。

⑤ 施工企业年、季、月度网络计划。

第二节 网络图的准则与逻辑

一个大的网络是由若干个局部网络图组成的，于是先讨论局部网络图，在编制网络图时必须遵循以下基本准则。

(1) 网络图中的任一项活动的箭杆，箭头的节点号数应大于箭尾的节点号数。所以在网络节点编号时，其节点顺序是从上到下，从左至右地编号。

(2) 节点编号不能重复，两个节点之间只允许有一项工作。如图2-4中左图就有两项平行的工作B和C在结点(2)、(3)之间，正确的办法是要引入虚活动的虚矢线如图2-4中的右图，即当二事件（节点）之间有多于一条箭杆时，这时必须增加节点（事件）和增加一个实际上不存的虚活动，所谓虚活动就是不消耗时间、不消耗资源，只表示活动间的先后逻辑关系，为的是不使两个节点（事件）间同时有多于一条箭杆（活动）出现，而设的一种活动。

(3) 整个工程的开工和结束事件外，不能有“尽头事件”和“尾巴事件”，如图 2-5 中的事件②和事件④是不允许的。

(4) 不准在网络图中出现循环回路，如图 2-5 中的箭杆⑦-⑧-⑨-⑦是不允许的。

网络的逻辑关系，是指一项工作与其他有关的工作之间的相互联系与制约关系，也就是各项工作工艺上，技术上所要求的顺序关系，现将常用的逻辑关系用图 2-6 的局部网络表示。图中(a)表示工作 A 领先于工作 B，工作 B 领先于工作 C。(b)表示 D 领先于 E、F；D 是 E、F 的紧前工作。(c)表示工作 A，B 领先于 C；C 是 A、B 的紧后工作。(d)表示 D 领先于 F，E 领先于 G。(e)表示 A 领先于 D、E，而 B 领先于 E。(f)表示 F 领先于 G、H，而 G、E 领先于 N。(g)表示 A 领先于 B 及 C；B 领先于 E 及 F；C 领先于 F；C 紧跟 F 及 F。(h)表示 A 领先于 E、F；B 领先于 F、G。(i)表示 B 领先于 C；B 部分地领先于 A； B_1 领先于 A_1 ； B_2 领先于 A_2 ； A_1 领先于 B_2 ；D 必须在 A 完成之后开始。

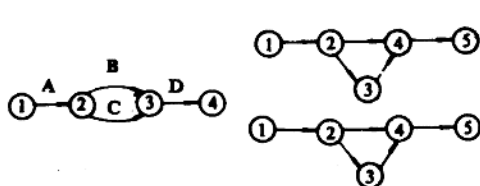


图 2-4

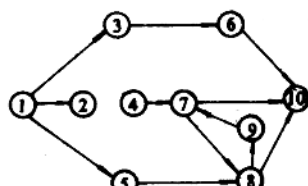
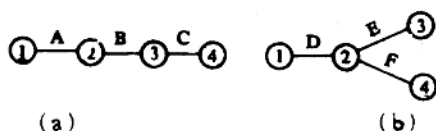
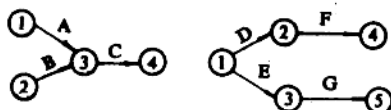


图 2-5



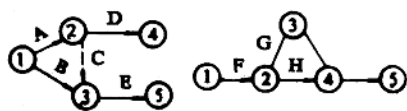
(a)

(b)



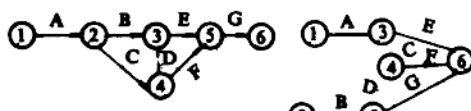
(c)

(d)



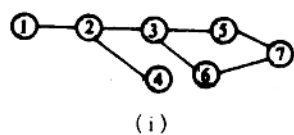
(e)

(f)



(g)

(h)



(i)

图 2-6