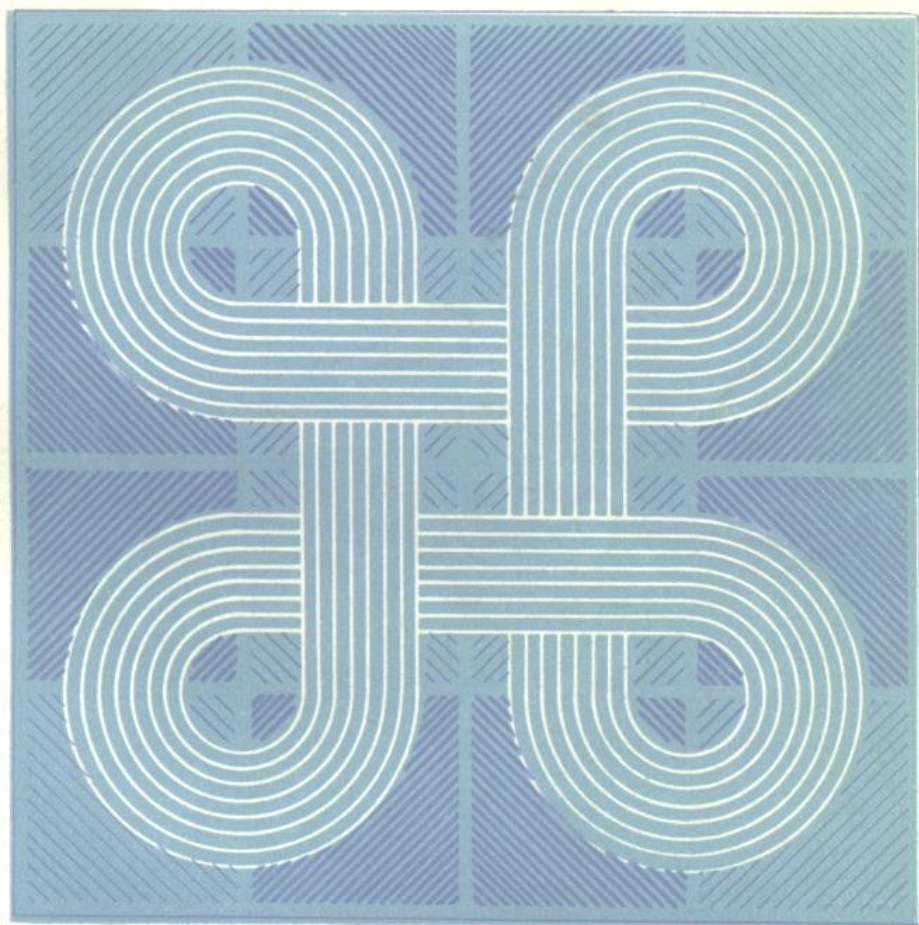


统筹方法管理指南

现代管理译丛

# 统筹方法管理指南

〔美〕 J.D. 惠斯特 F.K. 莱维



机械

6  
58

机械工业出版社

现代管理译丛

# 统筹方法管理指南

〔美〕 J.D. 惠斯特 F.K. 莱维

上海同济大学葛震明等译

朱良漪 邵喜灵 校



机械工业出版社

**A Management Guide  
to PERT/CPM  
with GERT/PDM/DCPM  
and other Networks**

J. D. WIEST F. K. LEVY

1977, 1969 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs  
New Jersey 07632

\* \* \*

现代管理译丛

**统筹方法管理指南**

[美]J. D. 惠斯特 F. K. 莱维 著

上海同济大学葛震明等译

朱良漪 邵喜灵 校

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张 8<sup>1</sup>/<sub>4</sub>·字数 193 千字

1983 年 2 月北京第一版·1983 年 2 月北京第一次印刷

印数 00,001—13,500·定价 1.35 元

\*

统一书号: 15033·5515

## 《现代管理译丛》出版说明

第二次世界大战后，特别是六十年代以来，随着科学技术的迅速发展，管理这门科学也有很大的发展，大大地改变了社会的生产面貌。国外的现代管理是在科学管理的基础上发展起来的。现代管理的特点是：重视人的因素；利用现代数学方法和计算机手段，强调经营决策和系统观念；以及采用动态的组织结构来适应国内外市场的多变和跨国生产。

现代科学技术和现代管理是推动经济发展的两个车轮。我们在进行社会主义建设时，不仅需要先进的科学技术，而且还需要现代的管理技术。学习和研究国外的现代管理，取其精华，去其糟粕，结合我国的实际，建立起具有我国特点的社会主义现代管理的理论和方法，这是我国各级管理工作者和管理科学研究工作者的光荣任务。

为了使我国读者对国外现代管理的现状和发展有所了解，以资借鉴，我们组织翻译和出版这套《现代管理译丛》。这套译丛包括现代管理的理论、方法、手段及其具体应用。其中有些管理手段虽然不是新出现的，但近年来有新的发展，同时又是现代管理的基础，故也收入本译丛。这套译丛基本上选自国外七十年代后期的著作。这些著作多被作为高等管理学校的教科书或教学参考书，内容比较系统而全面，概括了现代管理的新发展，在理论上和实践上有较高水平。原著的作者多为各国著名学者，或在著名的高等院校任教。但由于条件和水平的限制，这里所选的不尽是国外最优秀的著作，译校工作也难免有不妥之处，希望读者提出宝贵意见，使之更臻完善。

本译丛适合于高等学校管理专业的教师、高年级学生、研究生以及管理工作人员和研究人员阅读。

## 前 言

本书较系统地介绍了网络计划技术。作者以总结 20 年网络计划技术发展为基础，客观地评价和分析了这种技术的作用及发展前景。重点阐述网络计划技术的基本概念和应用方法；同时对与此有关的各种数学模型、计算机程序、以及近年来各种新型网络技术（如前导网络、决策网络和随机网络），也作了扼要介绍。书后附有习题及习题解答。

本书内容比较系统全面，重点突出，叙述清楚，简明易懂。

本书共分九章。第一章由林厚祥译，第二、三、七、八、九章、习题和习题解答由葛震明译，第四章由潘宝根译，第五章由张遼译，第六章由沈国民译，全书由葛震明进行总纂。

本书可作为高等院校管理工程专业学生学习网络计划技术的必要参考书，也可作为从事管理工作的工程技术人员掌握和应用这一有效管理方法的指导。

本书承蒙朱良漪同志、邵喜灵同志校订，在此深表谢意！

本书责任编辑为一机部教材编辑室王锡玲同志。

由于译者水平有限，书中不妥与错误之处，恳请读者批评指正。

## 原 序

本书初版有两个目的：第一是使管理专业的学生熟悉一些基本概念，用以掌握和应用 PERT/CPM 技术；第二，也是同等重要的一点，本书是作为工业部门中即将和实际使用 PERT/CPM 的技术人员的入门参考。再版严格遵照初版样式，但对 PERT 和 CPM 这两项有力工具的应用作了更展开和更详尽的叙述。另外，还增加了过去五、六年内由初步网络技术发展形成的一些新的方法，如 GERT 和 PDM 等，从而使本版成为一本更为完善的参考书和学习指南。

再版的重点仍然是关于网络编排技术的基本概念和它们在各种管理问题中的应用。与初版一样，应用数学方法和电子计算技术等比较复杂和先进的方法都在各章附录中有详尽的讨论。为使读者更牢固地掌握书中阐述的基本原理，书末附有新增的习题和习题解答。这些习题都与章节内容密切关联，使各章所叙述的概念都能有一个练习的题目。

五年前，有关网络编排技术的文献就大量涌现，并且继续以几何级数增加。本书所叙述的基本内容，对于希望在这个不断发展领域内继续学习者是非常有益的。

值得提到的是，早在六十年代初，卡内基技术学院的工业管理研究院就向我们提供良好的条件，使得我们有可能介入一系列的有关介绍和发展网络编排技术的研究报告。本书的初版就是这些研究报告的综合成果，撰写于 Rice 大学。另外，犹他州大学和佐治亚州技术学院也为本书部份内容给予支持。为此，特向他们衷心致谢。

在此，我们也向首先刊登各种材料，并允许我们应用这些材料的各家杂志深表感谢。最后，我们对普兰茅斯-豪尔的 A. 欧得曼 (Erdman) 女士为最后定稿所作的充分而全面的编辑工作，以及斯坦福商业研究院的 B. 托斯 (Toth) 先生协助进行的书目提要工作深致谢意。

J. D. 惠斯特 (Jerome D. Wiest)

犹他州大学

F. K. 莱维 (Ferdinand K. Levy)

佐治亚州技术学院

---

注：PERT英文全名为：Program Evaluation and Review Technique.

CPM 英文全名为：Critical Path Method.

# 目 录

第一章	PERT 和 CPM 的发展	1
第二章	网络计划和进度安排	3
第三章	确定关键路线	14
第四章	PERT 模型	23
第五章	CPM 模型	35
第六章	PERT-费用: 网络费用计算体系	50
第七章	有资源限制的网络进度安排	60
第八章	网络模型的改进和扩大	79
第九章	PERT 和 CPM 应用中的问题及前景	97
习 题		106
习题解答		114

# 第一章 PERT和CPM的发展

PERT 和 CPM 是五十年代末发展起来的一种编制大型工程进度计划的有效方法。今天，这一方法已广泛地应用于全美及世界各国的工业和事业部门。它们的历史虽然很短，却十分引人注目，也相当热门。最初几年，它们受到了过份的宣扬，尤其是得到美国政府机构的推崇。这些机构坚决主张凡是承包较大型工程的单位，都要使用这种方法。其后，网络技术又经历了一段严格的评议时期，更多的议论是评估它的长处与不足，逐渐从较小范围的应用转向较广泛的实际应用。目前，凡涉及到掌握工程管理项目的机关都已坚定地采用这种技术。普遍反映它们是管理的各种数量方法中应用得普遍的方法之一。

PERT 和 CPM 的一些基本概念，如“事件” (events)，“活动” (activities) 和“前导活动” (predecessors) 等名词，都已成为工程项目管理人员的常用术语，并成为各级管理部门和各机构职能人员（如工头和工程师、经理和技术人员）之间非常方便的联络语汇。随着网络技术的不断发展和完善，更扩大了它们的用途和应用范围。虽然这些技术仍在发展中，但应用的史实已可充分地证明它们已达到成熟阶段。

回顾 PERT 和 CPM 的发展，将有助于了解它们的实质和用途，也有助于说明两者的相似之处和差异所在。PERT 是计划评审方法的缩写，最初创造这一方法的目的是规划和加速发展北极星导弹。美国国防部的负责人员认为如能从海下机动潜艇发射核导弹，必将是打击潜伏敌人入侵时的最有效威慑力量。一旦这一设想被采纳后，紧接着就必须对尽快地发展这种导弹作出规划；也就是说，要完成这项任务要做哪些研究工作和怎样安排这些研究工作，这些工作需多长时间？完成这一工作需要哪些发展的步骤和试验阶段？国家如何才能加快完成这项任务？总之，美国要在何时才能拥有一枚可供使用的北极星导弹？PERT 就是为了解决上述问题、加速完成北极星导弹而发展起来的计划和进度安排技术。

显然，在发展规划中是有若干不肯定因素的。实际上，上述问题的解答都有一定的前提条件，举例来说，“只有当推进系统的进展能按计划进行，才能在某时某刻发射一枚试验性导弹”。PERT 技术就是要把这类不肯定性因素组成一个合乎逻辑的结构模式，以便为解决上述问题提供解答。事实证明，PERT 是规划和安排大型工程进度的有效方法。所谓大型工程，如北极星导弹，都是由为数极多的活动所组成，而这些活动的完成时间也是不能肯定的。虽然各个活动彼此之间是各自为战的，但又必须要按一定的顺序完成。PERT 中最基本的概念就是“事件” (event)，表示“工程活动达到某一段落”，它的基础就是需要完成若干活动后，才能达到事件这一目标所用的时间。

CPM，又称关键路线方法，是与 PERT 十分相似但又独立发展的另一种技术。它的主要内容是研究大型工程的费用与工期的相互关系。CPM 着重于研究当使用较多的人员或其它资源而使工期缩短和由于额外增加使用这些资源的费用之间的关系。应用 CPM 时，假定完成工程各项任务所需要的时间是有把握的已知值，此外，对完成工程所动用的资源和时间的关系也假定是可为知的。所以，CPM 与 PERT 有所不同，它并不涉及工作时间的不肯定性，而是主要考虑时间和费用的相互关系。鉴于这些差别，PERT 主要应用于研究和发项目，而 CPM 更多地应用于以往在类似工程中已取得一定经验的承包工程，诸如建筑工程等。

应用 PERT 和 CPM 可对各类工程进行分析，下列项目可供参考：



建筑物或公路建设工程；  
 新产品的计划和投产；  
 炼油厂检修（或其它维修工程）；  
 计算机系统的安装和调试；  
 船舰建造和修理计划；  
 大型发电机组（或其它大型运转系统）制造及装配；  
 导弹发射时的计时程序；  
 会计帐目的月末结算。

上述项目应用 CPM 和 PERT 进行分析都具有如下几个基本特征：

1. 工程都由一系列可明确区分的作业或活动组成。这些作业的完成标志着工程的结束。
2. 在给定的程序内，这些作业各自独立的启和停（某些连续不断流水式的过程则不符合这一要求，如石油炼制过程中各项作业或工序一个紧接一个进行，时间上无法明确区分）。
3. 各作业必须根据工艺逻辑规定的顺序执行（例如房屋的基础必须在墙体砌筑之前施工）。

随着 PERT 和 CPM 应用的不断扩大，它的技术也不断提高、发展，而经济效果显著。现在应用这种技术的企业几乎很少不是使用电子计算机来处理问题。而且，在处理有资源限制的进度安排以及在解决前导顺序关系不肯定的工程计划等问题方面，也充分证明了这些技术的有效性。当然，同任何发展中的技术一样，正是广大实践者和理论家为它们的发展作出了贡献。本书仅是一本介绍 PERT 和 CPM 基本概念及其新近发展的入门指导书。

### 本书的内容安排

正如我们所看到的那样，多数大型工程都能用工序图或网络图描述。这种网络图可作为分析的基本方法。第二章首先讨论如何为一个工程项目绘制网络图，同时给出网络的基本概念和有关名词术语。接着，第三章介绍网络中的关键路线的概念和根据网络图安排工程进度计划的方法。第四章和第五章分别介绍 PERT 和 CPM 模型。为了保持入门书的特色，各章涉及到比较深难的内容将安排在附录或在注释中。例如网络模型的线性规划和数学公式都安排在第五章附录中。第六章讨论应用 PERT 和 CPM 改进成本控制。第七章介绍当有些资源，包括人力和设备受到限制时，工程进度计划安排方法。第八章介绍网络技术的新发展和延伸，包括前导网络和概率网络等。第九章进一步回顾网络技术的发展史和应用情况，讨论它的长处与实用范围以及介绍如何成功地使用网络技术的必要条件。

### 计划、进度安排和控制

PERT 和 CPM 是工程管理的一项技术，用它来作计划、进度安排和控制。一项投资项目的“计划”（planning）阶段包括如下内容：列出为完成该项目所必须执行的任务或工作明细表；材料、设备和人员的大概需要量；估计完成各项任务或工作的费用和时间等。工程任务的“进度安排”（scheduling）就是按照时间要求具体安排工程中各项施工的进度；计算在生产各阶段的劳动量、材料及设备的需要量，计算完成各项工作和整个工程的预期时间。“控制”（control）通常都认为是最基本的管理任务。控制首先是检查工程的计划进度安排与工程开始后的实际进度之间的差异情况。分析与协调这些差异就是控制的作用。如前所述，PERT 和 CPM 有三个基本作用——计划、进度安排和控制。在全书中，我们也将反复指明这一点。在即将进入细节之前，我们利用第二章先行介绍涉及 PERT 和 CPM 的基本术语。

## 第二章 网络计划和进度安排

本章将提出有关 PERT 和 CPM 的一些术语，这些都是为全面理解网络技术所必需的知识。如前所述，无论是使用 PERT 还是 CPM，首要前提是将需要安排的工程任务分解为各项独立的工作（或活动），并且确定这些工作的先后顺序，也就是确定哪些工作完成后，才开始哪些工作。下一步就可绘制出能描述这些工作顺序和相互之间联系关系的形象图。如何绘制和理解这种网络图是本章研究的主要内容。

为了便于讨论，现举一个简化的大型制造企业（W-L 公司）的预算编制过程作为实例。假定 W-L 公司的总经理要求尽快地准备下年度公司的财政预算情况。为了完成这项任务，公司销售人员必须向营业部主管和生产部主管提供该时期的市场销售预测。然后营业部主管必须根据预测，估计出下一年度的市场销售价格，并将估计价格提供给财务人员。生产部主管则必须制定为生产该产品所需用的加工设备负荷工作量。接着，他必须把这些资料提交给会计部主管。会计部主管根据这些资料核算出生产成本提交给财务人员。然后，财务人员再参照销售部门和会计部门所提供的资料，作出企业内部财务必要的安排方案，编制出财务收支预算，并将该预算呈交给总经理。

如果我们假定 W-L 公司的这项预算无需修改，那么，当预算呈交给总经理时，这项任务也可说是基本完成了。现在让我们仔细观察这项预算是怎样编制的。首先必须作销售量估计，然后才能确定销售价格和编制生产计划，因此，估计销售量、估计销售价格和编制生产计划是该公司编制预算任务的三项基本工作（或称活动）(jobs, or activities)。并且，由于销售预测必须在价格估计和生产安排之前进行，所以我们说销售预测是其它两项活动的直接前导 (immediate predecessor)。同样，价格估计是财务人员编制预算的直接前导，而且是会计部门提供给他各种费用估计才能编制出预算。总之，概括起来预测乃是所有各项活动的直接前导。同理，编制预算乃是其它各项活动的后继 (successor)。它是确定价格和成本估计的直接后继 (immediate successor)。列于表 2-1 中第三列的是 W-L 公司的预算编制任务被分解为若干“工作”的内容。注意，我们已对各项工作需用的时间作了估计（见第五列）。第一列是各工作的名称，如预测销售量的名称用 *a*，核算生产成本的名词用 *d* 等等。表中第二列为各工作的事件代号，其涵义将在下面讨论。

表2-1 W-L 公司预算编制任务

工作名称	编 号	工 作 内 容	主管部门	完成工作时间(天)
<i>a</i>	(1, 2)	预测销售量	营业部	14
<i>b</i>	(2, 4)	确定销售价	营业部	3
<i>c</i>	(2, 3)	编制生产计划	生产部	7
<i>d</i>	(3, 4)	核算生产成本	会计部	4
<i>e</i>	(4, 5)	编制预算	财务部	10

该预算编制任务可表达为一个任务形象图，或称网络图，如图 2-1 所示。各项工作在图中用一个箭头表示，每个箭头都从一个圆圈开始到达另一个圆圈结束。这些圆圈称为结点 (nodes)。如果这一项工作是另一项工作的直接前导，那么前导工作的终止结点也就是后继工

作的起始结点。由于工作 *a* 是工作 *b* 和工作 *c* 两项工作的前导，因此工作 *a* 的终止结点（图 2-1 中结点“2”）是工作 *b* 和工作 *c* 的共同的起始结点。

参阅图 2-1 可以显示出我们是如何来区别各项工作的。工作 *a* 的起始结点是“1”，终止结点为“2”，而由于图上每对结点都可以代表一项工作（或活动），所以各项活动也都可根据它的结点编号加以区别。工作 *a* 的另一名称可用工作（1, 2）来表示，其括号中逗号前的数字表示起始结点，而逗号后的数字表示终止结点。

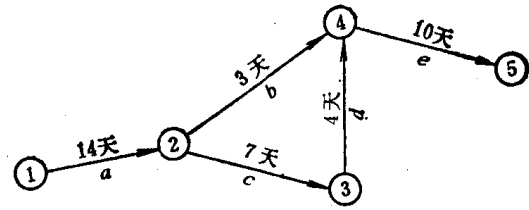


图2-1 W-L公司预算编制过程图

注意，我们把完成各活动所需的时间注在相应箭头的线上。若用符号表示，则完成活动 *a* 的时间可表达为  $t(a)$  或  $t(1, 2)$ 。在上述实例中， $t(a) = 14$  天，而  $t(c)$  即  $t(2, 3) = 7$  天。

上述的主要内容是先将工程任务分解为活动，并按各活动完成的先后决定活动的顺序，然后确定活动的名称以及用任务图（project graph）或称箭头图（arrow diagram）来表示。下一节，我们将说明在绘制箭头图时可能出现的特殊情况，并提供解决这些问题的一些方法。

**绘制箭头图时可能出现的问题**

现假定在 W-L 公司预算编制任务中增加一项工作——由营业部主管调查市场竞争价格。而且这项工作又要与销售员预测销售量工作同时进行，这项新插入的工作用 *a'* 来表示。该工作的有关资料见表 2-2。它与预测销售量工作一样，是决定公司产品销售价格的前导活动，需要完成工作的时间为 3 天。不过，竞争价格的拟定并不影响生产决策，因此安排生产计划工作的前导活动只有一个——估计销售量。

表2-2 W-L公司预算编制任务（修改方案）

工作名称	工作内容	前导活动	主管部门	完成工作时间(天)
<i>a</i>	预测销售量	—	营业部	14
<i>a'</i>	调查市场竞争价格	—	营业部	3
<i>b</i>	确定销售价格	<i>a, a'</i>	营业部	3
<i>c</i>	编制生产计划	<i>a'</i>	生产部	7
<i>d</i>	核算生产成本	<i>c</i>	会计部	4
<i>e</i>	编制预算	<i>b, d</i>	财务部	10

注意，我们已经去掉了表 2-2 中的编号一列，而增加了表示前导活动的一列。必须记住，活动 *a* 和活动 *a'* 都是活动 *b* 的前导活动，但同时，*a* 本身又是活动 *c* 的前导活动。这样，在绘制该任务的箭头图时，就出现了我们上面提到的复杂情况。现在我们若仅根据前述原则，即一项工作的前导活动的终止结点就是该工作的起始结点来绘制箭头图时，那么表 2-2 中 *a, a', b* 和 *c* 四项工作只能绘成如图 2-2 所示。

但是按图 2-2 所示，又表明工作 *a'* 也是工作 *c* 的前导活动（即调查市场竞争价格是编制生产计划的前导活动）。而实际情况并非如此。为了消除这个难点，我们也可以画两个工作 *a*，如图 2-3 所示。但这又不符合一个图上一个箭头只代表一个活动的要求。同一活动如采用了几个箭头，不仅使图十分混乱，也给使用者带来麻烦，他们无法了解正在干的活是在他

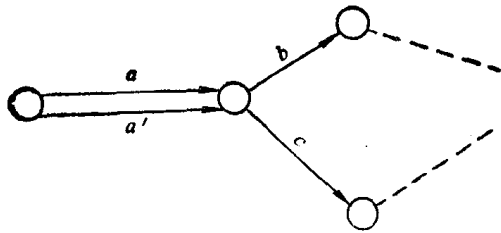


图 2-2

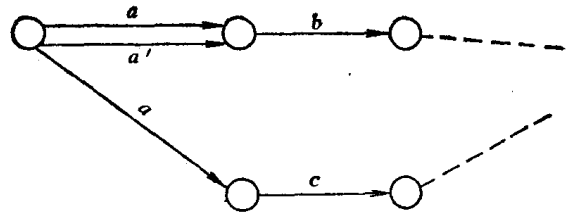


图 2-3

们公司的某一指定工作中已经到达了什么地步。

因而，如果两个或两个以上工作有相同的前导活动和相同的直接后继活动，则它们的起始结点和终止结点必然是相同的，而且它们也将有相同的工作编号。由于我们希望每项工作都有唯一的编号，为此，需要有一个办法来避免在绘制箭头图时出现的这一复杂问题。

为了解决这个问题，我们引进一个虚工作 (dummy job) 或称虚活动 (dummy activity) 的概念。虚工作的工作时间为零。它的作用仅仅是正确地说明各工作间的相互关系，且又避免出现上述的复杂问题。现仍举前例说明虚工作的运用。设  $f$  是一个虚工作，工作  $a$  是它的直接前导，工作  $b$  是工作  $a'$  和工作  $f$  的直接后继工作，因而，上述编制预算任务可绘制成图 2-4 所示。其中虚工作用虚线箭头表示。注意图 2-4 中虚工作  $f$  的运用：原来  $a$  和  $a'$  是  $b$  的两个直接前导，但现假设  $a$  是虚工作  $f$  的直接前导，而  $f$  是  $b$  的直接前导，因此  $a$  不再是  $b$  的直接前导，但仍是前导工作。也就是说  $b$  仍须在  $a$  完成以后才能开始，这是因为通过虚工作  $f$ ，仍能保证  $b$  开始以前  $a$  已完成的要求。同样，图 2-4 也清楚表明了只有  $a$  是  $c$  的直接前导，而  $a'$  与  $c$  无关，因而正确地表达了实际情况。图 2-4 中  $a$  和  $f$  是  $b$  的两个直接前导，但各工作又都用一个箭头表示。

增添虚工作解决了前面出现的问题，即：一个工作只能用一个箭头表示，且又不能增加原来不存在的前导（或后继）关系。图 2-4 中各工作的有关资料及相应符号列于表 2-3。

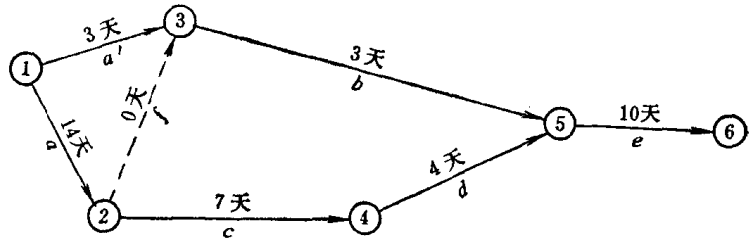


图2-4 修改后的W-L公司的预算编制任务箭头图

表2-3 运用虚工作绘成的修改后的W-L公司的预算编制任务

工作名称	编号	工作内容	直接前导工作	主管部门	完成工作时间(天)
$a$	(1, 2)	预测销售量	—	营业部	14
$a'$	(1, 3)	调查市场竞争价格	—	营业部	3
$f$	(2, 3)	虚工作	$a$	—	0
$b$	(3, 5)	确定销售价	$a', f$	营业部	3
$c$	(2, 4)	编制生产计划	$a$	生产部	7
$d$	(4, 5)	计算生产成本	$c$	会计部	4
$e$	(5, 6)	编制预算	$b, d$	财务部	10

这时，又出现了一个具体的问题，即怎样才能感到当绘制一项任务的箭头图时需要增添虚工作呢？如前所述，当一项工程任务中，有两个或两个以上的工作具有某些（虽则不一定是全部）共同的直接前导活动时，需要采用虚工作。凡是只具有一个单项的前导工作的各项

工作都可以从该工作的前导工作的终止结点直接绘出箭头，但如某项工作有两个以上的前导工作，而且这些前导工作中的一个或几个又是另一工作（或另一些工作）的前导工作，则也应添加虚工作来解决连接问题。

增添虚工作的一个简捷方法是让两个或两个以上工作的共同的前导工作都导向同一结点，然后再从该结点引出各虚工作。现举一个简单的工程任务实例说明这一方法。假定有一项任务的工作编号和它的直接前导工作如表 2-4 所示。

表2-4 任务 I 的工作汇总表

工作名称	前导工作
a	—
b	—
c	—
d	a, b
e	b, c

工作 b 是工作 d 和 e 的共同直接前导，工作 a 只是工作 d 的直接前导，而 c 只是 e 的一个直接前导。按照上述方法，则我们可从 b 引出两个虚工作 f 和 g，使 f 成为 d 的直接前导工作，使 g 成为 e 的直接前导工作，如图 2-5 所示。

把表 2-4 中增加上述虚工作就得到表 2-5。

表 2-6 为一项需增加虚工作的较复杂的工程例子。工作 d, e 和 f 有一共同的前导工作 a，同时它们又各自与工作 b 和 c 组成一定的前导关系。该任务的箭头图如图 2-6 所示，共有五个虚工作 ( $h_1, h_2, h_3, h_4$  和  $h_5$ )。注意图中工作 f 有三个虚工作 ( $h_3, h_4$  和  $h_5$ ) 作为它的直接前导；这些虚工作又分别以工作 a、b 和 c 为直接前导，这样就符合表 2-6 说明的工作 a、b 和 c 是工作 f 的前导工作的要求。同样，虚工作  $h_1$  和  $h_2$  是代替工作 a 作为工作 d 和 e 的直接前导。表 2-7 为该任务的所有工作的汇总。注意在表 2-7 中，如果工作 a 是另一工作的唯一直接前导工作，则该前导工作的终止结点将与直接后继工作的开始结点重合。也就是说，这两项工作之间可不加虚工作而直接相联。

表2-5 任务 I—具有虚工作的工作汇总表

工作名称	编号	直接前导工作
a	(1, 3)	—
b	(1, 2)	—
c	(1, 4)	—
f(虚工作)	(2, 3)	b
g(虚工作)	(2, 4)	b
d	(3, 5)	a, f
e	(4, 5)	c, g

表2-6 任务 I—工作汇总表

工作名称	直接前导工作
a	—
b	—
c	—
d	a, b
e	a, c
f	a, b, c

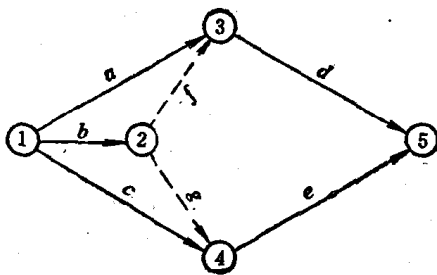


图2-5 任务 I 的箭头图

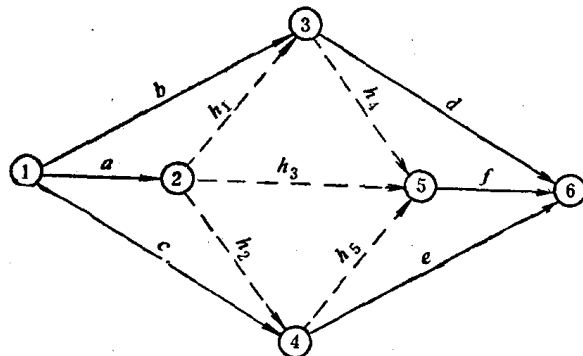


图2-6 任务 I 的箭头图

表2-7 任务 I—具有虚工作的工作汇总表

工作名称	编 号	直接前导工作	工作名称	编 号	直接前导工作
a	(1, 2)	—	$h_4$	(3, 5)	b, $h_1$
b	(1, 3)	—	$h_5$	(4, 5)	c, $h_2$
c	(1, 4)	—	d	(3, 6)	b, $h_3$
$h_1$	(2, 3)	a	e	(4, 6)	c, $h_2$
$h_2$	(2, 4)	a	f	(5, 6)	$h_3, h_4, h_5$
$h_3$	(2, 5)	a			

### 结点式 (Activity-on-Node) 网络图

在箭头图上增添虚工作是很麻烦的事。不仅增加了工作量，也使图形扩大。在第三章中，我们还将看到，在关键路线计算或绘制 PERT 进度时要考虑所有的工作（包括实际工作和虚工作），由于增加了虚工作，就使计算更费时。

为此，设想了第二种计划网络图——结点式网络图，从而解决箭头式网络图的上述缺点。结点式网络图可简称为 AON，其构成的方式是以圆圈（结点）表示工作，以连接两个结点间的箭头表示两项工作间的直接前导关系。当然，箭头的指向就是一个后继工作。因此，如果工作 a 是工作 b 的直接前导，用结点式网络图 (AON) 表示顺序关系就如图 2-7 所示。而同样的关系用箭头图就如图 2-8 所示。

现举一较复杂的实例说明不需要虚工作的结点式网络图。参阅表 2-2 所举 W-L 公司修改后的预算编制任务的资料绘制结点式网络图，如图 2-9 所示。显然，结点式网络图的绘制较为容易。每个工作只需画一个圆圈（结点），然后用一个箭头将该工作与其直接后继工作相连。每个工作的编号（或名称）以及完成工作的时间通常都填写在结点内。另外，每个结点式网络图一般都附加两个虚结点：一个开始结点和一个终止结点，其目的是保证每个网络图只有一个开始结点和一个终止结点。例如，在图 2-9 中，如无开始结点，就很难说明该工作究竟是从工作 a 开始，还是从工作 a' 开始。图 2-10 是根据表 2-4 和表 2-6 所给资料绘制的两个结点式网络图。

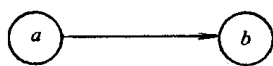


图2-7 两个活动的结点式网络图

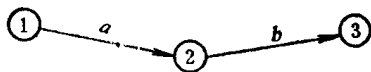


图2-8 两个活动的箭头式网络图

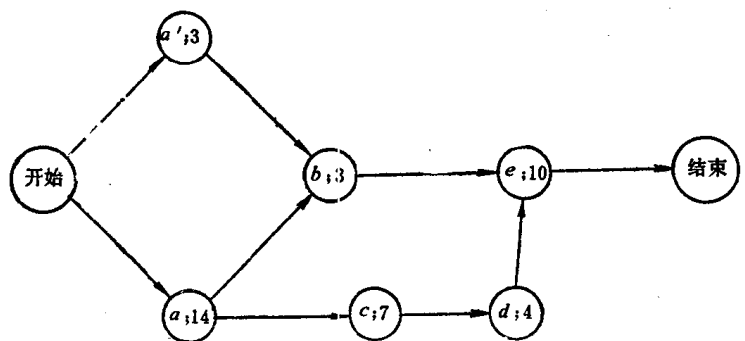


图2-9 W-L公司修改后的预算编制任务的结点式网络图

结点式网络图的绘制要比箭头图的绘制更简便，而且根据使用者反映，还具有便于说明，容易被非专业人员所理解和易于修改等优点。既然如此，人们为什么要自找麻烦而继续采用箭头图呢？问题的实质在于：尽管两者都可应用，但由于使用者首先接受并采用了箭头图，因此应用较为普遍。在 PERT 模型中所着重的“事件”(events) 促使了采用箭头图，这是因

为箭头图中的结点就是事件的标志，这一点将在第四章中加以阐述。也就是说，若干工作的完成集中到一起就构成一个结点，也即所谓的事件或路标，到这一点时可以作出新的决策，修改进度等(当然如需要，在 AON 图中也可以引进事件的概念，但这已成为人们常用的箭头图的术语)。最后，有些人喜欢用箭头图，因为用箭头表示工作的进展比用结点更为形象。

下一章我们将看到为了 PERT 和 CPM 进度计划的计划中要考虑工程任务中各工作间直接前导和后继工作的相互关系，有人争议说，应用电子计算机计算时，箭头图方法更为简便。因为箭头图中每个工作用两个结点编号表示的方式能自然地反映必要的顺序关系。而采用 AON 图，就必须按工作逐个列出其直接前导和后继工作(或者是把连接箭头注上两个编号的型式)。这就需在计算机中占用更多的存贮单位。实际上，这两种方法都已编出有效的专用计算程序，运算费用的差额也是极为微小的。

由此可见，两种方法各有其优缺点。但由于箭头图比较适合 PERT 方法，又较早采用，因此它的应用比结点式网络图更为广泛。但使用后者的人数也增长很快，特别是在建筑工业中，根据最近报导，在欧洲应用 AON 图的人数已超过应用箭头图的人。毫不奇怪，在追溯它的世系时，它还采用过若干种不同的缩写符号：如用 PD 表示前导图(precedence diagram)和用 PN 表示前导网络(precedence network)。它是作为 CPM 的一种扩展，即称为前导图方法(precedence diagramming method, 简称 PDM)的基础。这些我们将在第八章中专门讨论。由于“前导网络”一词常常是涉及较复杂的方法，我们将继续运用 AON 来描述一些简单的网络，即用圆圈表示工作，用箭头表示前导关系。下面将通过一幢房屋建筑施工实例，说明和比较结点式网络图和箭头图的不同。

#### 实例——一幢房屋的建筑施工

现举一简单而熟悉的实例将有助于说明绘制一项工程任务网络图的过程。应用 PERT 和 CPM 技术可以很容易地对房屋建设工程进行分析。作为承包商可能需要较详细的分析，这里我们仅考虑各主要工作，同时注出各工作的施工时间及前导工作等资料，如表 2-8 所示。表中打 \* 号者表示在绘制箭头图时，可能要增加虚工作。而结点式图可根据表中资料直接绘制，故先绘该工程的结点式图，如图 2-11 所示。

表 2-9 仍是该工程的工作项目汇总，但增加了为绘制箭头图所必需的工作编号及虚工作。其箭头图如图 2-12 所示。注意在图中工作  $l$  和工作  $m$  有相同的直接前导  $k$  和相同的直接后继工作  $s$ ，因此必须增添虚工作  $D_2$ ，才能避免工作  $l$  和  $m$  有相同的起始结点与终止结

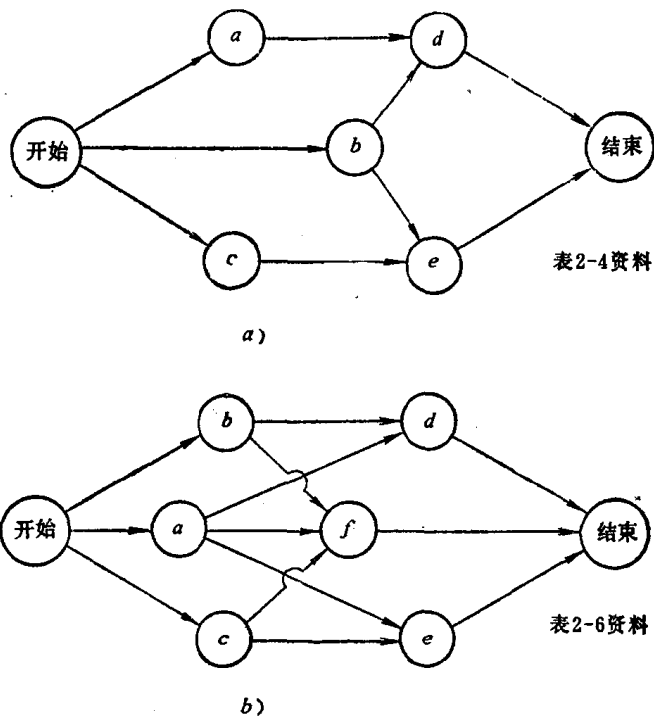


图2-10 小型项目 I 和 II 的结点式网络图

表2-8 房屋施工工程

工作名称	工作内容	前导工作	时间(天)	工作名称	工作内容	前导工作	时间(天)
a	破土挖槽, 浇垫层	—	4	l**	安装厨房设备	k	1
b	浇混凝土基础	a	2	m**	安装预制的卫生设备	k	2
c	安装构架及屋面	b	4	n	完成细木工活	k	3
d*	砌 砖	c	6	o	完成屋顶并罩面油漆	d	2
e	安装排水管	b	1	p	安装天沟及落水管	o	1
f	浇地下室地坪	e	2	q	安装防暴雨水管	b	1
g	敷设主管道	e	3	r*	地板打磨及上光漆	n, s	2
h*	敷设主干电路	c	2	s	油 漆	l, m	3
i*	安装空调设备	c, f	4	t*	完成电气作业	s	1
j	安装墙板及装饰板	g, h, i	10	u	最后平整	p, q	2
k	铺放预制地板	j	3	v	铺便道及绿化	u	5

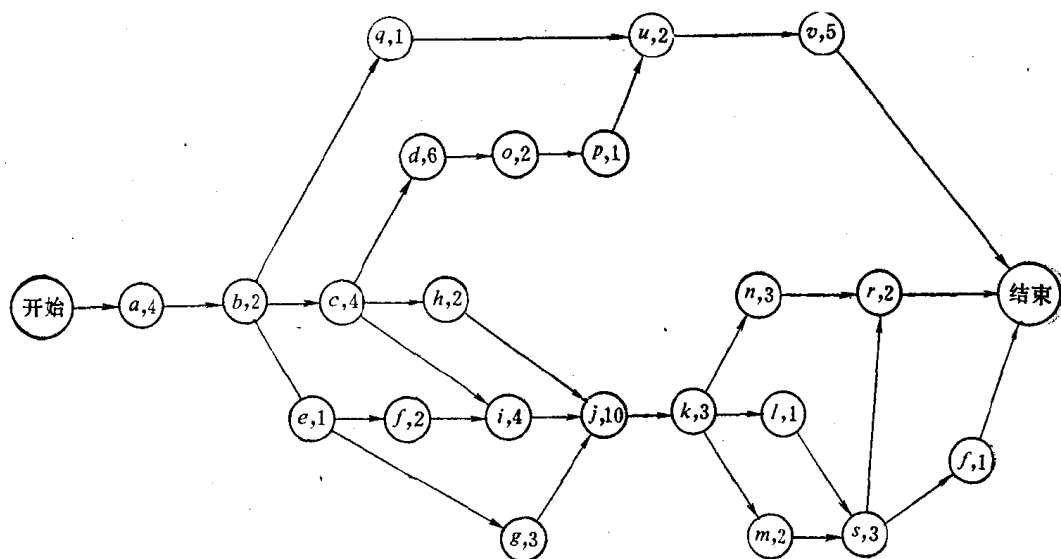


图2-11 房屋施工工程的结点式网络图

表2-9 房屋施工工程

工作名称	编 号	直接前导	时间(天)	工作名称	编 号	直接前导	时间(天)
a	(1, 2)	—	4	D <sub>2</sub> (虚工作)	(10, 11)	k	0
b	(2, 3)	a	2	m	(11, 12)	D <sub>2</sub>	2
c	(3, 4)	b	4	n	(10, 13)	k	3
d	(4, 5)	c	6	o	(5, 14)	d	2
e	(3, 6)	b	1	p	(14, 15)	o	1
f	(6, 7)	e	2	q	(3, 15)	b	1
g	(6, 8)	e	3	D <sub>3</sub> (虚工作)	(13, 16)	s	0
h	(4, 8)	c	2	r	(13, 18)	D <sub>3</sub> , n	2
D <sub>1</sub> (虚工作)	(4, 7)	c	0	s	(12, 16)	l, m	3
i	(7, 8)	D <sub>1</sub> , f	4	t	(16, 18)	s	1
j	(8, 9)	g, h, i	10	u	(15, 17)	p, q	2
k	(9, 10)	j	3	v	(17, 18)	u	5
l	(10, 12)	k	1				

危 害 丁 上



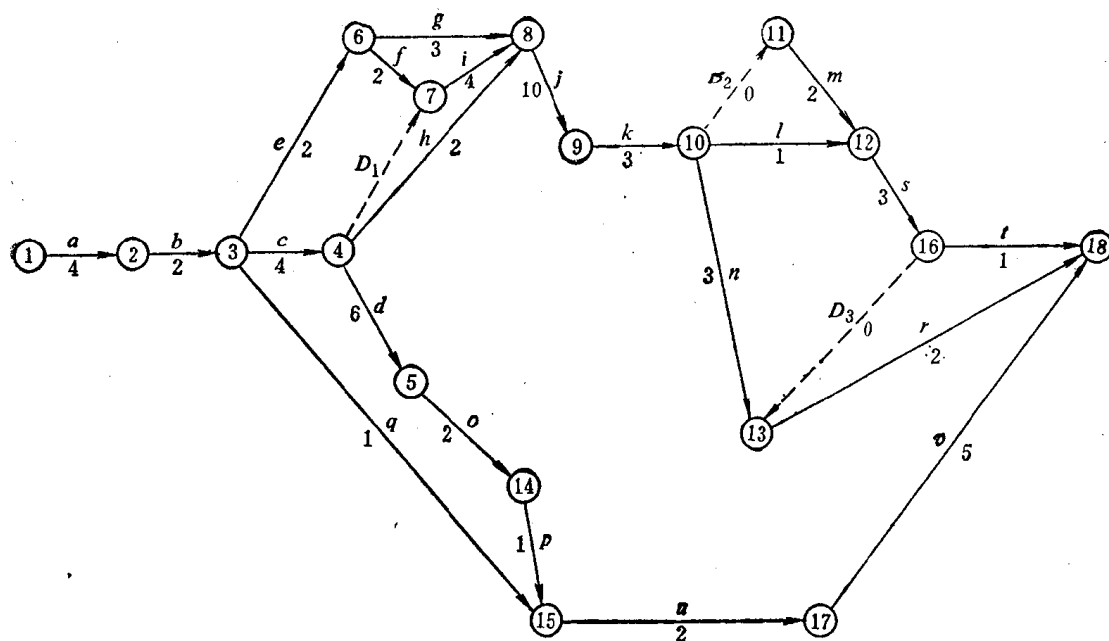


图2-12 房屋施工工程的箭头式网络图

点。每个虚工作也各有明确编号，如  $D_2$  的编号为 (10, 11)。这样既保证了  $k$  是  $m$  的直接前导工作的要求，又避免了不必要的混淆。

### 小结——网络进度安排

这一章提出将一个工程项目分解为若干工作（或活动）这一概念，其目的是便于绘制网络图。这种分解也是 PERT 和 CPM 安排中需要进行基本计算的基础。当我们即将进行讨论如何计算之前，先对本章介绍的术语和概念作扼要小结。

工程项目是由一组独立的活动（或称工作）组成。如果一个工作必须在另一工作开始以前完成，就称前面一个工作是后面一个工作的直接前导，而后一工作则是前者的直接后继。全部工作及它们相互间的先后顺序关系都可用工程项目图或网络图表示。

已介绍了两种形式的网络图：箭头图和结点图。箭头图是以箭头表示工作，每个箭头连接两个结点（即圆圈）。两个工作的直接前导关系是借助于将前导工作的终止结点作为它的后继工作的起始结点的方法来表示。说明了增添虚工作的原因，是由于虚工作完成的工作时间为零。在一个工程项目中，有两个或两个以上工作有同样的直接前导工作和后继工作时，或者当两个或两个以上工作中具有某些相同但不是全部直接前导工作时，都需要在绘制箭头图时增添虚工作。结点式网络图（简称 AON）是用结点表示工作，而用箭头表示两项工作间的直接前导关系，绘制的方法是从前导工作的结点用箭头与其直接后继工作结点联接。

## 附录 虚工作

在什么情况下和在什么地方增添虚工作始终是绘制箭头网络图的人首先感到困难的问题。一个简单的方法是在开始绘制箭头图时，可任意使用虚工作，而当网络图构成后，再将不必要的虚工作去掉。例如，如果工作  $A$  是工作  $B$ 、 $C$  和  $D$  的共同的一个前导工作，可是，工作  $B$ 、 $C$  和  $D$  又各自还有其它不同的或共同的前导工作。那么在一开始时就先由工作  $A$  接