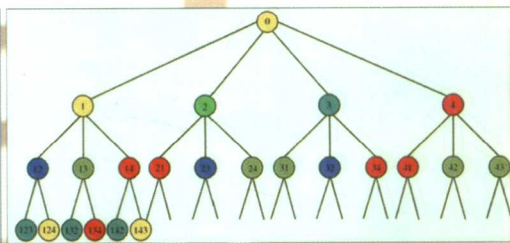
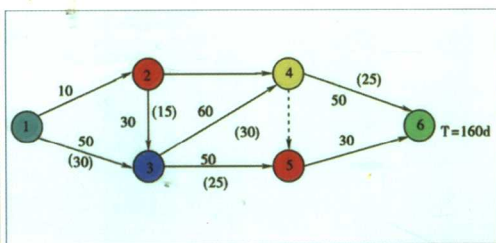
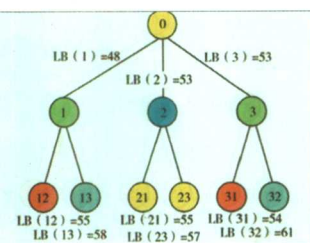


高等学校教材

# 网络计划技术 与工程进度管理



姚玉玲 刘靖伯 主编



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校教材

# 网络计划技术 与工程进度管理

Wangluo Jihua Jishu Yu Gongcheng Jindu Guanli

姚玉玲 刘靖伯 主编



人民交通出版社

China Communications Press

## 内 容 提 要

现代工程的特点是规模庞大而复杂,且对施工工期、质量和费用有较严格的要求。为了在工程施工过程中对工期、费用、资源实行有效的计划与控制,需要有一种通用而有效的方法。网络计划方法正是适应这一要求而在工程施工组织中获得了广泛的应用。

本书全面系统地论述了关键线路方法、搭接网络计划方法、流水作业网络计划方法、计划评审技术、决策网络计划方法、图示评审技术等工程网络计划方法,详细介绍了关键线路法在工程进度计划编制与管理中的应用,同时对计算机辅助系统在网络图的绘制、计算、优化和实施中的跟踪控制方法进行了介绍,并在每章后附有思考题和练习题,便于读者巩固所学知识。

本书作为高等院校工程管理及相关专业本科生和研究生的教学用书,也可供施工企业从事工程管理及工程技术的人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

网络计划技术与工程进度管理/姚玉玲等主编. —北京:  
人民交通出版社, 2008.3  
ISBN 978-7-114-06946-8

I. 网… II. 姚… III. 网络计划技术—应用—建筑工程—  
施工进度计划 IV. TU722

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第002276号

书 名: 网络计划技术与工程进度管理

著 者: 姚玉玲 刘靖伯

责任编辑: 刘 涛

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15

字 数: 380千

版 次: 2008年3月第1版

印 次: 2008年3月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06946-8

印 数: 0001—3000册

定 价: 28.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 网络计划技术与工程进度管理

# 前 言

随着我国公路建设事业的快速发展,公路工程项目管理受到人们的普遍重视,它的研究、教育和实际应用均得到了长足的发展,项目进度管理是其中的一个重要方面。网络计划技术是现代管理科学总结出的一种科学的计划管理方法,是项目进度管理的一种有效工具,它用来解决工程技术和管理工作中的许多问题,已被广泛地应用于编制各种计划,其在公路工程项目施工进度计划的编制、优化及实施中的检查和调整过程中得到了广泛的应用,在项目施工工期、成本和质量控制等方面取得了显著效果,已成为项目进度管理最理想、最典型和最有效的方法。

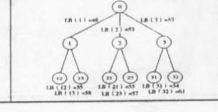
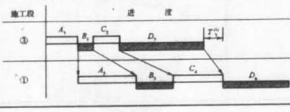
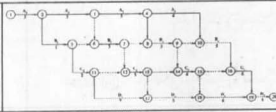
网络计划技术历经半个世纪的发展,已经形成了一套较完整的进度管理模式。其近期发展主要是在原来的理想观念内对计划技术和算法的丰富,国内外学者做了大量研究工作,提出了各种项目进度管理方法。本书正是在此前提下,应用当前较新的网络技术成果,结合公路工程项目施工领域的实践,阐述适用于项目施工进度管理的网络技术应用理论和使用方法,为网络计划技术在项目施工组织与管理中的更好应用提供方便。

本书共分十章。第一、四章由姚玉玲编写,第五、六、七、八章由姚玉玲、罗为共同编写,第九章由刘靖伯编写,第二、三、十章由刘靖伯、田江磊共同编写。书中的部分图表由张笛、吴凡、戚云生绘制。

本书在编写过程中参考和引用了有关专家、学者的论著,在此谨向他们表示衷心的感谢和深深的敬意!

真诚地希望本书能够对相关专业的教学及从事公路工程施工组织与管理工作的工程技术人员有所裨益。但由于编者的学术水平及实践经验所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者  
2007年12月



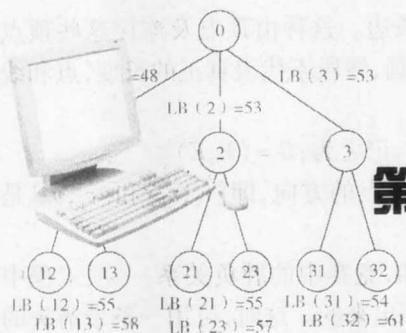
# 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
第一节 网络图的理论基础.....	1
第二节 网络计划技术的产生与发展.....	2
第三节 网络计划技术与项目进度管理.....	4
第四节 网络计划技术在项目进度管理中的应用程序.....	9
第五节 工程网络计划技术规程 .....	13
思考题 .....	15
<b>第二章 关键线路方法</b> .....	<b>16</b>
第一节 双代号网络图的构成 .....	16
第二节 双代号网络图的绘制 .....	18
第三节 双代号网络计划时间参数计算 .....	25
第四节 单代号网络计划 .....	46
第五节 双代号时标网络计划 .....	54
思考题 .....	57
练习题 .....	58
<b>第三章 搭接网络计划方法</b> .....	<b>59</b>
第一节 搭接网络计划的基本概念及特点 .....	59
第二节 单代号搭接网络图的绘制 .....	60
第三节 单代号搭接网络计划时间参数计算 .....	63
思考题 .....	68
练习题 .....	69
<b>第四章 流水作业网络计划方法</b> .....	<b>70</b>
第一节 流水作业网络计划方法的特点 .....	70
第二节 单代号流水作业网络计划方法 .....	73
第三节 横道流水作业网络计划方法 .....	77
思考题 .....	79
练习题 .....	79
<b>第五章 计划评审技术</b> .....	<b>80</b>
第一节 计划评审技术的特点 .....	80
第二节 PERT 网络图的绘制 .....	83
第三节 PERT 网络计划时间参数计算 .....	84
思考题 .....	88



# 目录

练习题 .....	88
<b>第六章 决策网络计划方法 .....</b>	<b>89</b>
第一节 决策网络的基本概念 .....	89
第二节 决策网络图的绘制特点 .....	90
第三节 决策网络图的计算 .....	92
第四节 决策网络计划计算示例 .....	95
思考题 .....	98
<b>第七章 图示评审技术 .....</b>	<b>99</b>
第一节 GERT 网络的一般形式 .....	99
第二节 GERT 网络图的分析计算 .....	103
第三节 GERT 网络图的解题步骤 .....	110
思考题 .....	112
<b>第八章 网络计划的优化 .....</b>	<b>113</b>
第一节 工期优化 .....	113
第二节 费用优化 .....	129
第三节 资源优化 .....	141
思考题 .....	171
练习题 .....	172
<b>第九章 公路工程项目施工进度管理 .....</b>	<b>174</b>
第一节 工程项目施工进度计划的编制 .....	174
第二节 施工进度计划的实施与检查 .....	191
第三节 施工进度比较分析 .....	193
第四节 进度计划的调整 and 评价 .....	203
思考题 .....	207
<b>第十章 计算机辅助施工进度管理 .....</b>	<b>208</b>
第一节 网络计划计算机应用现状 .....	208
第二节 网络计划软件的基本功能与主要模块 .....	209
第三节 常用进度管理软件 .....	212
第四节 网络计划计算机应用发展趋势 .....	216
第五节 网络计划计算机应用实例 .....	216
思考题 .....	231
<b>参考文献 .....</b>	<b>232</b>



# 第一章 绪论

## 第一节 网络图的理论基础

图论是网络图的理论基础。图论是一门应用十分广泛且其内容非常丰富的数学分支。从本质上讲,图论就是一维拓扑学,也就是一维的抽象几何学。它借助于点、线为任何一个包含了一种二元关系的系统提供了一个数学模型。图论起源很早,瑞士数学家欧拉(L. Euler)在1736年解决了当时颇为有名的一个数学难题,即哥尼斯城堡七桥问题,从而使他成了图论和拓扑学的创始人。

哥尼斯城堡位于前苏联的加里宁格勒,普雷格尔河横穿城堡,河中有两个小岛,河两岸和河中两岛通过七座桥彼此相连,如图1-1a)所示。当时那里的居民热衷于这样的问题:一个散步者从两岸A、B或两个小岛C、D中任一地方出发,能否找到一条路线做到每座桥恰好通过一次而最后返回原地。

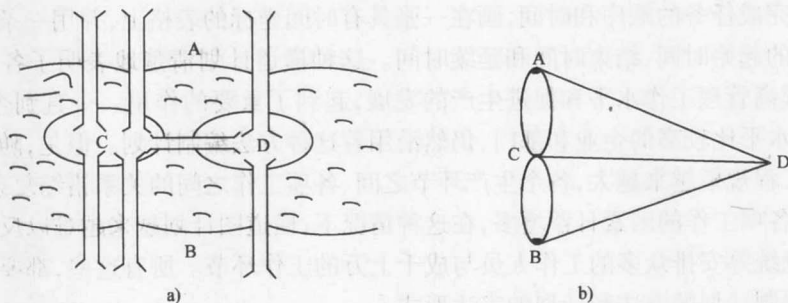


图 1-1

为了解决七桥问题,欧拉将其转化为一个数学问题来解决。他认为这种走法是否存在,与两岸和两个岛的大小、形状及桥的长短、曲直都没有关系,重要的是两块陆地之间有几座桥连接。所以他用一个点表示一块陆地的区域,用连接相应顶点的线段表示各座桥,这样就得出图1-1b)所示的图。问题就转化为:在这个图中,是否能从某一点出发经过每条线段恰好一次再回到原点,而不重复。欧拉证明了这是不可能的,因为图1-1b)中的每个点都只与奇数条线段相关联,不可能将这个图不重复地一笔画成。这是古典图论中的一个著名问题。

图论中所研究的图并不是人们通常所熟悉的数学中的各种几何图形、函数图形等,而是客观世界中某些具体事物间联系的一个数学抽象,如欧拉把七桥问题转化为有四个点、七条线段的这种图。用顶点(小圆点)代表事物,用边表示各事物间的二元关系,如果所讨论的

事物之间有某种二元关系,我们就把相应的顶点连成一条边。这种由顶点及连接这些顶点的边所组成的图就是图论中所研究的图。它不按比例尺画,线段不代表真正的长度,点和线段的位置有随意性。

综上所述,在图论中,图是由点集  $V$  和边集  $E$  组成的,记之为:  $G = (V, E)$ 。

在点集  $V$  和边集  $E$  组成的图中,没有标明某点到另一点的方向,即  $[v_i, v_j]$  和  $[v_j, v_i]$  是相同的,这种图称为无向图。

在实际生活中,很多问题用无向图描述不清楚。例如,竞赛中的胜负关系,一项工程中各工作之间的先后关系等,显然这些关系仅用边是反映不出来的。这时,可用一条带箭头的线  $v_i \rightarrow v_j$  反映  $v_i$  与  $v_j$  之间的这种关系。例如,运动队  $v_i$  胜了运动队  $v_j$ ; 工作  $v_j$  必须在工作  $v_i$  完成之后才能开始等。这种点与点之间有方向的线段称为弧。由点集  $V$  和弧集  $A$  组成的图  $D = (V, A)$  称为有向图。

给一个有向图  $D = (V, A)$ , 在  $V$  中指定了一点,称为发点(记为  $v_s$ ), 和另一点,称为收点(记为  $v_t$ ), 其余的点叫中间点。对于每一个弧  $(v_i, v_j) \in A$ , 对应有一个  $C(v_i, v_j) \geq 0$  (或简写为  $C_{ij}$ ), 称为弧的容量。通常就把这样的图叫做网络图, 记作  $D = (V, A, C)$ 。

## 第二节 网络计划技术的产生与发展

为说明网络计划技术,首先要了解什么是网络图。所谓网络图是由箭线和节点组成的,用来表示工作流程的有限、有向、有序的网状图形。用网络图表达任务构成、工作顺序并在网络图上加注工作时间参数的进度计划,称为网络计划。用网络计划对任务的工作进度进行安排和控制,以保证实现预定目标的科学的计划管理技术,即称为网络计划技术。

在计划工作中,曾广泛地应用横道图计划。编制横道图计划的方法是,将各项生产或工作任务按照完成任务的顺序和时间,画在一张具有时间坐标的表格上,并用一条粗线表示完成各项任务的起始时间、结束时间和延续时间。这种横道计划清楚地表明了各项任务的进度安排,对提高管理工作水平和促进生产的发展,起到了重要的作用。一直到今天,即使是在经营管理水平比较高的企业和部门,仍然沿用着这种方法编制计划。但是,随着生产技术迅速发展,工程规模越来越大,各个生产环节之间、各项工作之间的关系错综复杂,影响生产技术过程和各项工作的因素日益增多,在这种情况下,横道图计划越来越难以反映这些复杂关系,更难以统筹安排众多的工作人员与成千上万的工作环节。所有这些,都要求有一种新的、更好的编制计划的方法和计划的表达形式。

20世纪50年代以来,很多学者都在探索如何制定一项新的生产组织和管理的科学方法。1956年,美国杜邦·奈莫斯公司的摩根·沃克与赖明顿·兰德公司的詹姆斯·E·凯利合作,为管理公司内不同业务部门的工作,提出了一种设想,即将每一活动(工作)规定起讫时间并按工作顺序绘制成网络状图形。他们还设计了电子计算机程序,用于将活动的顺序和作业时间输入计算机而编出计划。到1957年1月完成了将此法应用于新工厂建设的研究工作,这就是关键线路法(Critical Path Method,简称CPM)。1958年初他们把这种方法实际应用于价值10000万美元的建厂工作的计划安排,接着又用此法编制了一个200万美元的施工计划。从这两个计划的编制与执行中已初步看出了这种方法的潜力,以后再把此方法应用于设备检修工程又取得了巨大的成就,使设备因维修而停产的时间由过去的125h缩短到74h。杜邦公司采用此法安排施工和维修等计划仅一年时间就节约了约100万美



元,5 倍于公司用于发展研究 CPM 所花的经费。从此,关键线路法得以广泛应用。

计划评审法(Program Evaluation and Review Technique,简称 PERT)的出现较 CPM 稍迟,它于 1958 年由美国海军特种计划局首先提出。这种方法开始是为了研制北极星导弹潜艇而创造出来的。北极星计划规模庞大,组织管理复杂,整个工程由 8 家总承包公司、250 家分包公司、3000 多家三包公司、9000 多家厂商承担,采用计划评审技术,使原定 6 年的研制时间提前 2 年完成,并且节约了大量资金。因此,1962 年美国国防部规定此后承包有关工程的单位都需采用这种方法来安排计划。阿波罗登月计划的制定也是运用此法取得成功的著名实例。该计划运用了一个 7000 人的中心实验室,把 120 所大学、2 万多个企业、42 万人组织在一起,耗资 400 亿美元,于 1969 年,人类的足迹第一次踏上了月球,使 PERT 声誉大振。

随后,网络计划技术风靡全球,为适应各种计划管理需要,以 CPM 方法为基础,将网络技术与随机过程、排队论、决策论、仿真模拟技术、可靠性理论等结合起来,又研制出了其他一些网络计划法。如搭接网络技术、决策网络技术、图示评审技术(GERT)、风险评审技术(VERT)、仿真网络计划法和流水网络计划法等,大大开拓了网络技术的应用领域,被广泛应用于工业、农业、建筑业、国防和科学研究的各个方面。它们的特征都是用网络图的形式来反映和表达计划的安排,所以常据此把它们统称为网络计划技术。随着计算机的应用和普及,还开发了许多网络计划技术的计算和优化软件。网络计划技术的发展历程如图 1-2 所示。

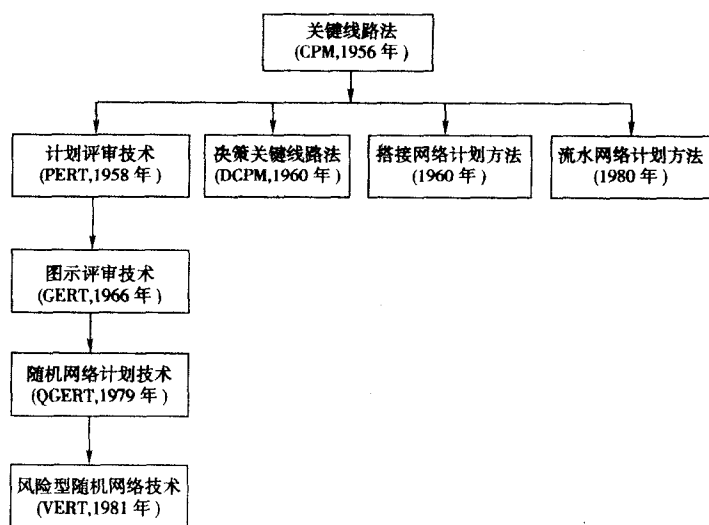


图 1-2 网络计划技术发展历程

我国是从 20 世纪 60 年代开始运用网络计划技术的。著名数学家华罗庚教授结合我国实际,在吸收国外网络计划技术理论的基础上,将 CPM、PERT 等方法统一定名为统筹法。除国防科研领域外,土木建筑工程领域引进和应用网络计划理论最早,有组织地推广、总结和研究这一理论的历史最长。我国泸州长江大桥 3 号墩的施工,由于使用网络计划技术进行施工计划和管理而提前一个月完工,节省投资 60 万元。现在网络计划技术在我国已广泛应用于国民经济各个领域的计划管理中。

国内外应用网络计划技术的实践表明,网络方法具有一系列优点,其中特别是能够使计划工作做到统筹兼顾、全面安排和抓住编制与执行计划的关键。所以这种方法一经问世,就被迅速而广泛地应用到各个部门。特别是对于生产技术复杂,各项工作联系紧密和一些跨

部门、跨企业的大型工程的计划,网络方法的优点就显得更为突出。例如,大型研制工程、发展新产品、生产技术准备、科学研究、建筑施工以及设备大修等项工作的组织安排,应用网络计划技术的效果更为明显。

### 第三节 网络计划技术与项目进度管理

要对一个复杂的工程项目进行有效的管理,必须依赖于进度计划;要做好进度计划,必须将工程项目的全部作业具体形象化,并按适当顺序加以安排,形成进度计划,从而对工程实行控制,达到预期目标。网络计划技术符合统筹兼顾、适当安排的思想,适应现代化大生产的组织管理和科学研究的需要。从国内外的情况看,应用网络计划技术较多的还是建筑工程项目。由于公路建筑产品的施工过程具有自身的特殊性,因此,应用网络计划技术更有其必要性。

#### 一、公路建筑产品的特点

由于公路工程产品所具有的固定性、多样性和形体庞大等特点,决定了施工组织工作也必须针对这些特点进行,才能保证工程项目质量、成本和进度目标的实现。

##### 1. 产品的固定性

公路工程产品一般固定于一定地点而不能移动,只能在建造的地方供人们长期使用。因此,公路工程的施工就经常处于流动过程之中,不仅每个工程项目在施工中人员和机械要按一定的线路沿着施工对象流动,不断改变操作的场所,而且整个的施工机构也往往要随着工程项目位置的不同而转移地点。生产空间的变化就意味着施工条件或环境的改变,就不能不影响到施工的组织与管理,即施工方法和施工顺序都必须做出相应的改变,以适应新的条件。

##### 2. 产品的多样性

由于公路具体的使用目的、技术等级、技术标准、自然条件、结构形式及主体功能等不同,而使公路的组成部分、形体构造千差万别,复杂多样,这就造成了公路工程产品生产的单件性,每一个项目都有不同的施工组织特点,很少有像工业生产一样组织一条固定的流水线进行批量生产。

##### 3. 产品形体庞大

公路为线性构造物,其组成部分的形体一般都比较庞大,占用土地及空间比较多。因此,施工期限一般较长,而且基本上是露天作业,受四季气候条件变化的影响较大,这是在组织施工时要特别加以考虑的。为了缩短施工期限,人们就利用产品形体庞大的特点,组织多层次的立体交叉和平行流水作业施工,利用空间以争取时间。这种施工组织方法要求各单位工程或分部、分项工程之间密切配合,严格按照规定的时间和顺序进行施工。

综上所述,可以看出公路工程产品的生产与组织管理是异常复杂的。它一般都只能进行单件生产,施工过程情况多变且要求配合密切而严格,人们一直在寻求适合这些特点的组织管理方法。网络计划技术特别是关键线路方法就是在建筑施工领域中诞生的,比较适合于组织一次性的复杂工程。它把一项工程作为一个整体来考虑,按照一定的程序对其进行合理的安排。同时,通过网络计划本身所特有的反馈作用,能为施工过程中的组织与管理工作提供必要的信息,使施工过程得以全面地达到优质、节省和快速的要求。

## 二、网络计划技术的性质与特点

### 1. 网络计划技术的性质

网络计划技术是使计划安排条理化的科学手段。计划安排方案,即实现计划任务的各项技术、组织方案是计划的基础。计划的先进性、现实性和有效性最终取决于这些方案是否合理。网络计划法只能对计划安排起条理化的作用,并不能从根本上决定技术和组织的质量和效果。相反,它是被施工方法所决定的,它只能适应施工方法的要求,把施工方法的决定用书面表示出来。

网络计划法同一般惯用的横道计划法在性质上是一样的,只要施工方法在技术和组织方面做出了决定,采用其中的哪一种方法都可以把有关的计划安排表达出来,除了需要掌握表达方法本身之外,并不要求其他任何特殊的条件。

横道计划法是在第一次世界大战期间由美国人亨利·甘特所创造的生产进度表达方法简化而成的,所以在外国仍然把运用这种方法画出的进度图称作甘特图。这种图是用横道在时间坐标上来表示各项工作的起讫时间和延续时间,从而表达出一项任务的全面计划安排,所以这种图形就叫做横道图,而用这种图形来表达计划安排的方法就是横道计划法。这种计划表达的形式和方法,特点是简单、明晰、形象、易懂,容易学习,使用方便。这也正是为什么至今还在世界各国广泛流行的原因。但它也有一定的缺点,最重要的就是它不能全面地反映出整个施工活动中各工作之间的联系和相互依赖与制约的关系,更不能明确地反映出施工过程中应特别注意掌握的关键工作和可以灵活机动使用的时间之所在,使人们抓不住工作的重点,看不到计划的潜力,不知道怎样正确地缩短工期,如何降低成本。

### 2. 网络计划技术的特点

网络计划技术的出现,受到了世界各国的高度重视,这固然是由于效果显著的强烈吸引力,更重要的是它本身所具有的优点受到人们的欢迎。网络计划技术的主要优点如下:

(1)网络计划技术能够清楚地表达各工作之间的相互依存和相互制约关系,可以用来对复杂项目及难度较大的项目系统的制造与管理做出有序而可行的安排,从而产生良好的管理效果和经济效益。也许它对于一般的项目并无显著的价值,但对于像航天项目、大型土木工程、巨额投资的开发项目等,由于需要的时间长、耗费资源多、投资量大、协作关系多且交叉进行、技术要求高而工艺复杂,都非用此种方法处理计划问题并进行管理不可。自网络计划产生后,国内外大量的项目管理实例充分地说明了这一点。

(2)利用网络计划图,通过计算,可以找出网络计划的关键线路。这种线路上的工作,花费时间长,消耗资源多,在全部工作中所占比例较小,大型的网络计划只占工作总量的5%~10%。所以它便于人们认清重点,集中精力抓住重点,确保计划实施,避免平均使用力量、盲目抢工而造成浪费。管理中一项重要的原则“重点管理法”可以通过网络计划予以贯彻。

(3)与可以找出关键线路相呼应,利用网络计划可计算出除关键工作外其他工作的机动时间。对于每项工作的机动时间做到心中有数,有利于工作中利用这些机动时间,优化资源强度,支持关键工作,调整工作进程,降低成本,提高管理水平。正如已故华罗庚教授曾说的,“向关键线路要时间,向非关键线路挖潜力”。

(4)网络计划能够提供项目管理所需要的许多信息,有利于加强管理。例如,除总工期外,它还可提供每项工作的最早开始时间和最迟开始时间、最早完成时间和最迟完成时间、

总时差和自由时差等。通过优化可以提供可靠的和良好的资源和成本信息,还可以通过统计工作,提供管理效果信息等。例如,在计划的执行过程中,某一工作由于某种原因推迟或提前完成时,可以预见到它对整个计划的影响程度,而且能根据变化的情况迅速进行调整,保证自始至终对计划进行有效的监督与控制。总之,足够的信息是管理工作得以进行的依据和支柱,网络计划的这一特点,使它成为项目管理最典型、最有用的方法,并通过网络计划的应用,极大地提高了项目管理的科学化水平。

(5)网络计划是利用计算机进行全过程管理的理想模型。绘图、计算、优化、调整、控制、统计与分析等管理过程都可用计算机完成。由于网络计划实际计算工作量大,调整优化过程复杂,如果不利用计算机处理这些工作,实际工作中很难发挥该技术的特点。所以在信息化时代,网络计划也必然是理想的管理工具。

因此,网络计划可使掌握计划的管理人员做到胸有全局,知道从哪里下手去缩短工期,怎样更好地使用人力和设备,能够经常处于主动地位,使工程获得好、快、省及安全的效果。由此可见,应用网络计划法决不是单纯为了抢工求快,中心目的是通过计划反映出来的信息促使人们不断地改进计划,加强组织与管理,根据工期的要求,在现有条件下作出最合理的安排并使成本达到最低。

### 三、网络计划的分类

网络计划技术可以从不同的角度进行分类。按照不同的分类原则,可以将网络计划分成不同的类别。

#### 1. 按工作之间逻辑关系和持续时间的确定程度分类

根据各项工作的逻辑关系和持续时间,网络计划技术可分为四种类型,如表 1-1 所示。

表 1-1

类 型		时 间 参 数	
		肯 定 型	非 肯 定 型
逻辑 关系	肯定型	关键线路法(CPM),搭接网络计划法,流水网络计划法	计划评审技术(PERT)
	非肯定型	决策关键线路法(DCPM)	图示评审技术(GERT),随机网络计划技术(QGERT),风险型随机网络计划技术(VERT)

(1)工作之间的逻辑关系以及工作持续时间都是肯定型的网络计划。在这种网络计划中,所有前导工作完成后,后继工作才能开始,而且各项工作的持续时间都是确定的单一数值,整个网络计划有确定的计划总工期。属于这种类型常见的有“关键线路法(CPM)”。

(2)工作之间的逻辑关系是肯定型的、而工作持续时间是肯定型的网络计划。在这种网络计划中,所有前导工作完成后,后继工作才能开始,但各项工作的持续时间由于以往没有经验,缺少资料和定额,无法肯定,只能采取估计的方法,即估计出最乐观的时间、最可能的时间和最不利的的时间,然后按概率方法确定出持续时间。“计划评审技术(PERT)”就属于这种类型。

(3)工作之间的逻辑关系是非肯定型的,而工作持续时间是肯定型的网络计划。例如,工作 C 是基础施工,其前导工作是挖土方,而挖土方有两个方案可供选择:方案 A 是采用挖掘机,方案 B 是采用铲运机,但究竟采用哪一种方案为好,就有一个选择和决策的问题,通

常可以结合工期、费用、资源等项因素综合考虑予以择优。“决策网络技术”就属于这种类型。

(4)工作之间的逻辑关系以及工作持续时间都是非肯定型的网络计划。图示评审技术(GERT)就属于这种类型。

### 2. 按网络计划的基本元素——节点和箭线所表示的含义分类

按网络计划的基本元素——节点和箭线所表示的含义不同,可分为单代号网络计划和双代号网络计划。

(1)单代号网络计划,是以单代号表示法绘制的网络计划。网络图中,每个节点表示一项工作,箭线仅用来表示各项工作间的逻辑关系。

(2)双代号网络计划,是以双代号表示法绘制的网络计划。网络图中,箭线用来表示工作及工作间的逻辑关系。

### 3. 按目标分类

按目标可以分为单目标网络计划和多目标网络计划。

(1)单目标网络计划,是指只有一个终点节点的网络计划,即网络图只有一个最终目标。

(2)多目标网络计划,是指终点节点不止一个的网络计划。此种网络计划具有若干个独立的最终目标。

### 4. 按有无时间坐标分类

按有无时间坐标可分为时标网络计划和非时标网络计划。

(1)时标网络计划,是指以时间坐标为尺度绘制的网络计划。网络图中,表示每项工作的箭线的水平投影长度,与工作的持续时间成正比。

(2)非时标网络计划,是指不按时间坐标绘制的网络计划。网络图中,表示每项工作的箭线的长度与工作的持续时间无关,可按需要绘制。

### 5. 按层次分类

按层次可分为总网络计划和局部网络计划。

(1)总网络计划,是以整个计划任务为对象编制的网络计划。

(2)局部网络计划,是以计划任务的某一部分为对象编制的网络计划。

### 6. 按工作衔接的特点分类

按工作衔接的特点可分为普通网络计划、搭接网络计划和流水网络计划。

(1)普通网络计划,是指工作间关系均按首尾衔接关系绘制的网络计划。

(2)搭接网络计划,是指按照各种规定的搭接时距绘制的网络计划。

(3)流水网络计划,是充分反映流水施工特点的网络计划。

## 四、工程项目进度管理

一个工程项目能否在预定的时间内交付使用,直接关系到投资效益的发挥,尤其对生产性投资来说更是如此。因此,对工程项目进度进行有效地管理,使其顺利达到预定的目标,是业主、监理工程师和承包人进行项目管理的中心任务和在项目施工过程中的一项必不可少的重要环节。

### 1. 进度的概念

进度通常是指工程项目实施结果的进展情况,在工程项目实施过程中要消耗时间、劳动

力、材料、资金等才能完成项目的任务。当然,项目实施结果应该以项目任务的完成情况,主要是项目的可交付成果数量来表达。但由于工程项目对象系统(技术系统)的复杂性,常常很难选定一个恰当的、统一的指标来全面反映工程的进度。

在现代工程项目管理中,人们已赋予进度综合的含义,它将工程项目任务、工期、成本有机地结合起来,形成一个综合的指标,能全面反映项目的实施状况。进度管理已不是传统意义上的工期控制,它还将工期与实物工程量、成本、劳动消耗、资源等统一起来。

## 2. 进度指标

进度控制的基本对象是工程活动。它包括项目结构图上各个层次的单元,上至整个项目,下至各项工作。项目进度状况通常是通过各工程活动完成程度(百分比)逐层统计汇总计算得到的。进度指标的确定对进度的表达、计算、控制有很大的影响。由于一个工程项目有不同的子项目,它们工作内容和性质不同,必须挑选一个共同的、对所有工程活动都适用的计量单位。

(1)持续时间(工程活动的或整个项目的)是进度的重要指标。人们常用已经使用的工期与计划工期相比较以描述工程完成程度。例如计划工期两年,现已进行了一年,则工期已达50%;一项工程活动,计划持续时间为20d,现已进行了10d,则已完成50%。但通常还不能说工程进度已达50%,因为工期与人们通常概念上的进度是不一致的。工程的效率和速度不是一条直线,如通常工程项目开始时工作效率很低,进度慢,到工程中期投入最大,进度最快,而后期投入又较少。所以工期过半,并不能表示进度达到了一半,何况在已进行的工期中还存在各种停工、窝工、干扰作用,实际效率可能远低于计划效率。

(2)按工程活动的结果状态数量描述。这主要针对专门的领域,其生产对象简单、工程活动简单。例如,混凝土工程、土石方工程等按体积;路面工程按面积或体积等。当项目的任务仅为完成这些分部工程时,以它们作指标比较能反映实际情况。

(3)已完成工程的价值量,即用已经完成的工作量与相应的合同价格(单价),或预算价格计算。它将不同种类的分项工程统一起来,能够较好的反映工程的进度状况。这是常用的进度指标。

(4)资源消耗指标,最常用的有劳动工时、机械台班、成本的消耗等。它们有统一性和较好的可比性,即各个工程活动直到整个项目都可用它们作为指标,这样可以统一分析尺度。但在实际应用中要注意如下问题:

①投入资源数量和进度有时会有背离,会产生误导。例如某项工作需100工时,现已用了60工时,则进度已达60%,这仅是偶然的。一般情况下,计划劳动效率和实际效率不会完全相等。

②由于实际工作量与计划经常有差别,即计划100工时,由于工程变更,工作难度增加,工作条件变化,应该需要120工时。现完成60工时,实质上仅完成50%,而不是60%,所以只有当计划正确(或反映最新情况),并按预定的效率完成时才得到正确的结果。

③用成本反映工程进度是经常的,但这里有一些因素要剔除,例如,不正常原因(如返工、窝工、工程停工等)造成的成本损失;由于价格原因(如材料涨价、工资提高等)造成的成本增加;实际工程量、工程(工作)范围的变化造成的影响等。

## 3. 工程项目进度计划

工程项目进度计划是表达工程项目各项工作和工作的开展顺序,开始、完成时间以及工作间相互关系的计划,是基于对工程项目任务的科学分解,在认真考虑项目建设活动的逻辑

顺序以及设计、设备、材料和劳动力准备等诸多因素的基础上作出的最优化的进度安排。通过进度计划的编制,使项目实施形成一个有机的整体。

工程项目进度计划是项目建设进度管理和控制的依据。进度计划是工程项目计划体系中最重要的重要组成部分,是其他计划的基础。

要编制一个高质量的进度计划,必须收集充分的信息,并对收集到的信息进行研究分析,掌握编制进度计划的依据,做出合理的预测和准确的决策。编制项目进度计划运用的计划方法和技术主要有横道图法、垂直图法和网络计划技术等。

#### 4. 进度控制和工期控制

工期和进度是两个既互相联系,又有区别的概念。

由进度计划可以得到各项目单元的计划工期及各项时间参数。它分别表示各层次的项目单元(包括整个项目)的持续时间、开始和结束时间、容许的变动余地(时差)等。它们可作为项目的目标之一。

工期控制的目的是使工程实际活动与工期计划在时间上吻合,即保证各工程活动按计划及时开工、按时完成,保证总工期不推迟,这样才能保持计划的进度。

进度控制的总目标与工期控制是一致的,但控制过程中它不仅追求时间上的吻合,而且还追求在一定的时间内工作量的完成程度(劳动效率和劳动成果)和消耗的一致性。

(1)工期常常作为进度的一个指标,它在表示进度计划及其完成情况时有重要作用,所以进度控制首先表现为工期控制,有效的工期控制才能达到有效的进度控制,但仅用工期表达进度会产生误导。

(2)进度的拖延最终会表现为工期的拖延。

(3)对进度的调整常常表现为对工期的调整,为加快进度,改变施工次序、增加资源投入,则意味着通过采取措施使总工期提前。

### 第四节 网络计划技术在项目进度管理中的应用程序

网络计划技术应用于工程项目进度管理的阶段和步骤有:准备阶段;绘制网络图阶段;时间参数计算阶段;编制可行网络计划阶段;网络计划优化阶段;网络计划实施阶段和网络计划总结分析。

#### 一、准备阶段

##### 1. 确定网络计划目标

在编制网络计划时,首先应根据需要选择确定网络计划的目标,主要有时间目标、时间—资源目标和时间—成本目标。

##### 2. 调查研究

为了使计划科学而切实可行,计划编制人员应通过调查研究,拥有足够的、准确的各种资料。调查研究的内容主要包括:项目有关的工作任务、实施条件、设计数据资料;有关定额、规程、标准、制度等;资源需求和供应情况;有关经验、统计资料和历史资料等。

调查研究可使用以下几种方法:实际观察、测量与询问;会议调查;查阅资料;计算机检索;信息传递;分析预测等。通过对调查的资料进行综合分析研究,就可掌握项目全貌及其间的相互关系,从而预测项目的发展及其变化规律。

### 3. 工作方案设计

在计划目标已确定并作了调查研究的基础上,就可进行工作方案的设计,其主要内容有:确定施工(生产)顺序;确定施工(生产)方法;选择需要的机械设备;确定重要的技术政策和组织原则;制定施工中关键问题的技术措施和组织措施;确定采用的网络图类型。

## 二、绘制网络图

### 1. 项目分解

根据计划的管理要求和编制需要,确定项目分解的粗细程度,可将项目分解为网络计划的基本组成单元——工作。

工作是指计划任务按需要粗细程度划分而成的、消耗时间或同时也消耗资源的一个子项目或子任务。

工作划分一般是用 WBS 方法对工程项目进行分解。WBS(Work Breakdown Structure)方法也叫工作分解结构法,就是将项目的各项内容按其相关关系逐层进行分解,直到工作内容单一、便于组织管理的单项工程(分部、分项工程或工序)为止。通过控制这些工作的费用、进度和质量,达到控制整个工程项目的目的。

### 2. 各工作间逻辑关系分析

工作之间相互制约或相互依赖的关系叫逻辑关系。逻辑关系可分为施工工艺关系和施工组织关系两种,在网络图中均应表现为工作之间的先后顺序。

### 3. 绘制网络图

表达工作之间逻辑关系的方法很多,如双代号网络图、单代号网络图、搭接网络图和流水网络图等。根据所选定的网络计划类型以及各工作之间的逻辑关系,进行网络图的绘制。

## 三、时间参数计算

### 1. 确定各工作的持续时间

工作持续时间是一项工作从施工开始到完成所需的作业时间,也就是一项工作的延续时间。工作持续时间具体采用什么单位,一般随任务的性质而定。

#### 1) 能量化的工作

对于有确定的作业范围和工程量,又可以确定劳动效率的工作,一般按以下程序确定工作持续时间:

(1) 作业范围的确定和工程量的计算。这可由合同、规范、图纸、工程量表得到。

(2) 劳动组合和资源投入量的确定。在工程中,完成上述工作,需要什么工种的劳动力,什么样的班组组合(人数、工种级配和技术级配)。这里要注意:项目可用的总资源限制;合理的专业和技术级配,如混合班组中各专业工人人数比例合理,达到经济、高效率的组合;各项工作人数安排比例合理,使各个环节都达到高效率,不浪费人工和机械;保证每人一定的工作面,工作面小会造成互相影响,降低工作效率。

(3) 确定定额。定额有时间定额和产量定额两种,可直接套用现行工程项目定额,也可考虑工程项目的实际情况作必要的调整,使主要工程项目的进度计划更切合实际。对具有新技术和特殊的工程项目,定额手册中尚未列出的,可参考类似项目的定额或实测确定。

(4) 计算作业持续时间。

① 正向算法 根据工作包含的工程数量、投入资源的种类及数量、定额,分别计算工



作在几种资源下的持续时间,取其最大值作为工作持续时间。

①工作(i-j)在第K种资源下的持续时间计算

$$D_{ij}^k = \frac{Q_{ij} \cdot S_{ij}^k}{R_{ij}^k \cdot n} \quad (1-1)$$

或

$$D_{ij}^k = \frac{Q_{ij}}{C_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \cdot n} \quad (1-2)$$

式中:  $D_{ij}^k$ ——工作(i-j)在第K种资源下的持续时间;

$Q_{ij}$ ——工作(i-j)所包含的工程数量(以实物量计);

$S_{ij}^k$ ——工作(i-j)中第K种资源的时间定额,即人工或机械完成单位工程数量所消耗的时间(工日或台班);

$C_{ij}^k$ ——工作(i-j)中第K种资源的产量定额,即人工或机械在单位时间(工日或台班)内完成的工程数量;

$R_{ij}^k$ ——工作(i-j)对第K种资源的需要数量;

$n$ ——工作每天的作业班制,  $n = 1, 2, 3$ , 即单班、双班或三班。

②工作持续时间计算

$$D_{ij} = \max \{ D_{ij}^k \} \quad (1-3)$$

②反向算法 已知工程量和定额,又知该工作是关键控制工作,它的持续时间不能超过某一限定时间时,可先确定出持续时间,反向计算资源数量。

$$R_{ij}^k = \frac{Q_{ij} \cdot S_{ij}^k}{D_{ij}^k \cdot n} \quad (1-4)$$

或

$$R_{ij}^k = \frac{Q_{ij}}{D_{ij}^k \cdot C_{ij}^k \cdot n} \quad (1-5)$$

2) 持续时间不确定情况的分析

有些工作的持续时间不能确定,这通常是由于:工程量不确定;工作性质不确定,如基坑挖土,土的类别会有变化,劳动效率也会有很大的变化;环境的变化,如气候对持续时间的的影响等。这在实际工作中很普遍,也很重要,但没有很实用的计算方法,通常采用以下方法:

(1) 三时估计法

当影响工作持续时间的可变因素较多,又不具备一定的时间消耗历史统计资料时,就不能估计出一个肯定的单一的时间值,而只能估计出三个时间值,即对一项工作的持续时间分析各种影响因素,得出一个最乐观(一切顺利)的值,最悲观(各种不利影响都发生)的值,以及最大可能的值,然后根据概率理论,计算其期望值。

(2) 蒙特卡洛(Monto-Carlo)模拟方法

蒙特卡洛方法也可称为随机抽样法或统计实验法,其基本思想是把确定性问题与某个概率模型相联系,通过统计估计作为原始问题的近似解。

当所求解的问题是某种事件发生的概率或某一随机变量的数学期望时,通过实验方法可以得到该事件发生的样本频率或样本均值等;当实验次数足够多时,通过统计推断,可以获得样本参数代表总体参数的置信度或置信区间。对于复杂随机系统,当很难建立数学模型,或很难用解析方法对模型求解,或为了简化模型而需作过多假设,影响模型的真实性的时,采用 Monto-Carlo 方法对系统进行实验,求得系统的近似解。