

# 第三章 工程项目进度管理

## 第1节 工程项目进度目标与进度计划

进度和工期有着密切的关系，工程进度是指工程项目实施结果的进展状况。由于工程项目实施需要消耗时间（工期）、劳动力、材料、费用等才能完成项目的任务，所以工程项目实施结果应该以项目任务的完成情况，如工程量来表达，建设工期是指工程项目或单项工程从正式开工到全部建成投产或交付使用所经历的时间。

进度指标：

1) 持续时间。项目与工程活动的持续时间是进度的重要指标之一。人们常用实际工期与计划工期相比较来说明进度完成情况。

2) 完成的实物量。

3) 已完工程的价值量。

4) 资源消耗指标。常见的资源消耗指标有：工时、机械台班、成本等。

工期是进度的一个指标，不能只用来工期表达进度。

工程进度管理是指设立进度目标，编制工程项目进度计划、实施计划、检查实施效果、进度协调和采取措施等的总称。

进度管理的总目标与工期目标是一致的，进度的拖延最终一定会表现为工期的拖延，对进度的管理也常常体现在对工期的计划、控制等方面。

### 一、工程项目进度目标的确定

工程项目进度管理的最终目标是确保按预定的时间或提前交付使用。工程进度管理的主要对象是建设工期。

(1) 进度目标的确立要受到工程项目总目标的制约，进度目标必须服从和服务于项目的总目标。

(2) 工程进度目标的确立，必须综合考虑项目的成本目标、质量目标等目标系统，在诸多的目标体系中进行动态平衡，着眼于工程项目目标系统的整体优化。

(3) 工程进度目标确立要充分考虑外部环境系统的影响。

### 二、工程项目进度计划定义

进度计划是表达项目中各项工作的开展顺序、开始及完成时间及相互衔接关系的计划。

### 三、工程项目进度计划的类型

工程项目进度计划按照不同的分类原则，可分成不同类型。

#### 1. 按计划期限分类

(1)长期进度计划。它是预测性、方向性的战略计划，对建设项目的建设方案、投资使用、资源安排、控制性进度作出原则安排。

(2)中期进度计划。它是长期计划的补充和深化，它根据项目总体控制性计划目标的要求，规定计划期内的建设任务，如每年的进度计划。

(3)短期进度计划。它是实施性计划，表现为季进度计划、月进度计划、旬进度计划等多种形式。

## 2. 按工作内容分类

(1)勘察进度计划。它包括地形地质勘察、设计等工作的时间安排。

(2)施工招标进度计划。它是对编制招标文件、开标评标、签署合同等进度的安排。

(3)施工准备进度计划。它是对工程开工前征地拆迁、施工场内外交通建设、施工用电用水设施建设的时间安排。

(4)施工进度计划。它是承包商根据合同的要求，考虑到可能对工程施工产生的各种影响因素，并结合自己的组织管理水平、工艺技术水平、施工机械装备水平而编制的施工时间安排。

## 3. 按计划的范围分类

(1)建设项目总进度计划。

(2)单项工程进度计划。

(3)单位工程进度计划。

(4)分部分项工程进度计划。

进度计划除上述三种分类的各种类型外，还有：年度投资计划、材料及物资供应计划、大型设备及结构加工计划、劳动力需求计划、施工机械需要量计划、运输计划等。

## 四、工程进度计划表示方法

工程进度计划的表示方法很多，有横道图、网络图、速度图、线性图。最常用的有横道图和网络图两种。

### 1、横道图

横道图，也称**甘特图**，是由亨利·甘特（Henry Gantt）发明的，上世纪初从美国引入。横道图是一种最简单并运用最广的计划方法，尽管有新的计划技术的采用，横道图在建设行业仍占统治地位。

**横道图是一个二维平面图，横维表示进度或活动时间，纵维表示活动内容。横向线段的起点为活动的开始时间，横向线段的终点为活动的结束时间。**

**横道线的长度表示了该项工作的持续时间。**横道图的时间维决定着项目计划粗略的程度，根据项目计划的需要，可以以小时、天、周、月、年等作为度量项目进

度的时间单位。

	工作名称	持续时间	开始时间	完成时间	紧前工作	月	一月		二月		三月		四月		五月		六
						21	1	11	21	1	11	1	11	21	1	11	21
1	基础完	0 d	1993-12-28	1993-12-28		◆ 12-28											
2	预制柱	35 d	1993-12-28	1994-2-14	1	▶											
3	预制屋架	20 d	1993-12-28	1994-1-24	1	▶											
4	预制楼梯	15 d	1993-12-28	1994-1-17	1	▶											
5	吊装	30 d	1994-2-15	1994-3-28	2, 3, 4	▶											
6	砌砖墙	20 d	1994-3-29	1994-4-25	5	▶											
7	屋面找平	5 d	1994-3-29	1994-4-4	5	▶											
8	钢窗安装	4 d	1994-4-19	1994-4-22	6SS+15 d	▶											
9	二毡三油一砂	5 d	1994-4-5	1994-4-11	7	▶											
10	外粉刷	20 d	1994-4-25	1994-5-20	8	▶											
11	内粉刷	30 d	1994-4-25	1994-6-3	8, 9	▶											
12	油漆、玻璃	5 d	1994-6-6	1994-6-10	10, 11	▶											
13	竣工	0 d	1994-6-10	1994-6-10	12	◆											

### 横道图的特点及适用范围

① 横道图的最大优势是比较好理解和改变。一眼就能看出活动什么时间应该开始，什么时间应该结束。

② 横道图可以清楚地显示活动的进度是否落后于计划，如果落后于计划那么是何时落后于计划的等等。

但是，横道图只是对整个项目或者把项目作为系统来看的一个**粗略描述**。它有以下缺陷：

- ① 不能表示出这些活动之间的相互关系，因此也不能表示活动的网络关系。
- ② 它不能表示活动如果较早开始或者较晚开始而带来的结果。
- ③ 它没有表明项目活动执行过程中的不确定性，因此没有敏感性分析。

这些弱点严重制约了横道图的进一步应用。

所以，传统的横道图一般只适用于比较简单的小型项目。

## 2、网络计划方法

网络计划是控制工程项目进度最有效、最理想的工具。

### (1) 概述

网络计划技术自 20 世纪 50 年代末诞生，首先用于军事项目，随着网络计划技术在其他领域的运用，得到了迅速发展。网络计划技术可以分为确定型和非确定型两类。确定型网络计划，就是指网络计划中各项工作及其持续时间和各工作之间的相互关系都是确定的，否则属于非确定型网络计划。在一般情况下，建设工程项目进度控制主要应用确定型网络计划。

对于确定型网络计划，主要是单代号网络计划和双代号网络计划。并在其基础上派生出了：

- 时标网络计划

时标网络计划是以时间坐标为尺度表示工作进度安排的网络计划，其主要特点是计划时间直观明了。

- 搭接网络计划

搭接网络计划是可以表示计划中各项工作之间搭接关系的网络计划，其主要特点是计划图形简单。

- 多级网络计划

多级网络计划是一个由若干个处于不同层次且相互间有关联的网络计划组成的系统，它主要适用于大中型工程建设项目，用来解决工程进度中的综合平衡问题。

## (2) 网络计划的特点

网络计划可以弥补横道计划的不足

- 网络计划能够明确表示各项工作之间的逻辑关系

所谓逻辑关系，是指各项工作之间的先后顺序关系。网络计划能够明确地表达各项工作之间的逻辑关系，对于分析各项工作之间的相互影响及处理它们之间的协作关系具有非常重要的意义。

- 通过网络计划时间参数的计算，可以找出关键线路和关键工作

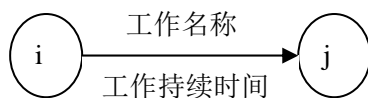
- 通过网络计划时间参数的计算，可以明确各项工作地机动时间

- 网络计划可以利用计算机进行计算、优化和调整

## (3) 双代号网络技术

### 1) 基本概念

双代号网络计划中的工作的基本模型是：用**箭线 (Arrow)**表示活动或工作，活动名称写在箭线上面，活动的持续时间写在箭线下面；箭尾表示活动的开始，箭头表示活动的结束，箭头和箭尾划上圆圈并分别标上标号  $i$  和  $j$ ，用箭头和箭尾的编号  $i-j$  代表这项工作的名称，双代号因此得名。



将一个工程项目的所有的工作，根据其开展的先后顺序并考虑其制约关系，从左向右排列，就形成了一个有序的网状图形为双代号网络图。

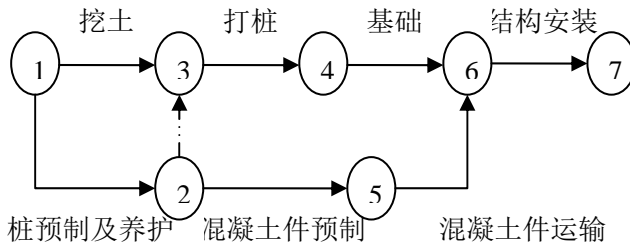
双代号网络图有三要素，即为：

#### ①活动 (Activity)，又称工序、作业或工作。

工作是指一项需要消耗人力、物力和时间的具体活动过程。例如的挖土、打

桩。

工作通常分为三种：需要消耗时间和资源、只消耗时间而不消耗资源（如混凝土的养护）、不消耗时间和资源。前两种是实际存在的工作，也可画成折线或曲线。后一种是人为虚设的工作，称为**虚活动**(Dummy Activity)。虚活动是为了反映各活动间的逻辑关系而引入的，并用虚箭线表示。

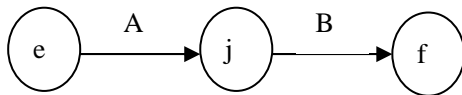


如图，在打桩紧前就有一虚箭线，其表示要在挖土和桩预制及养护均完成后，才能开始打桩。

工作箭头的长短在无时间坐标网络计划中与时间长短无关，工作箭头的方向应始终保持从左到右，不出现逆向和回路。

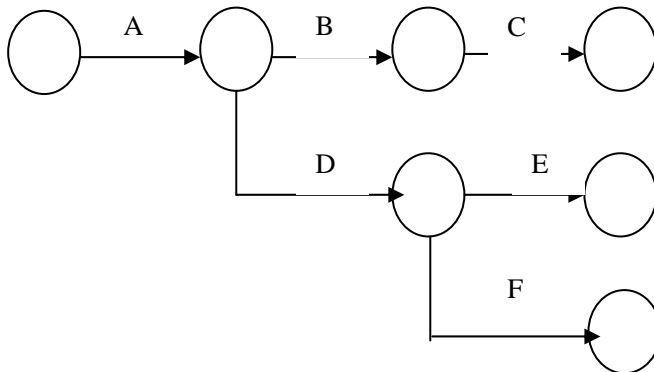
②节点 (Node)，又称事项或事件(Event)。它表示一项活动的开始或结束的瞬间，起承上启下的衔接作用，而不需要消耗时间或资源。节点在网络图中一般用圆圈表示，并赋以编号。在一个网络图中，除整个网络计划的起始节点和终止节点外，其余任何一个节点均有双重作用，既是前面活动的结束节点，又是后面活动的开始节点，称为中间节点。

中间节点的进入箭线与发出箭线互为紧前、紧后关系。



工作 A 为工作 B 的紧前工作，反之，工作 B 为工作 A 的紧后工作。

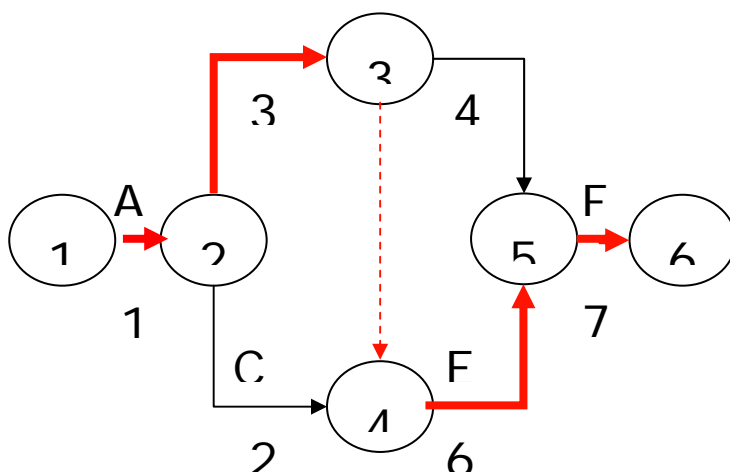
当两项工作具有相同开始节点时，这两项工作为平行工作。，有时某项工作通过虚工作与另一项工作的开始节点相连，他们在性质上也是平行工作。B、D 为平行工作，E、F 同为 C 的平行工作。



③线路 (Path), 又称路线。从网络图的起始节点出发, 沿箭线方向连续不断地通过一系列节点和箭线, 到达网络图的终止节点有若干条通路, 这每一条通路都称为一条线路。线路上各活动持续时间之和称为该线路持续时间, 即该线路上的工作计划工期。网络图中线路持续时间最长的线路称为**关键路线 (Critical Path)**。关键路线的持续时间称**进度网络计算工期**。同时, 位于关键线路上的活动称为**关键活动 (Critical Activity)**。

关键工作完成的快慢直接影响整个计划工期的实现。

例如, 在一个简单的网络图中,



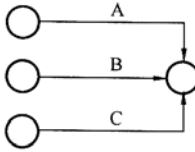
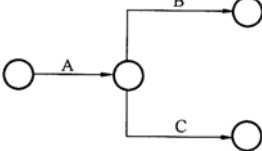
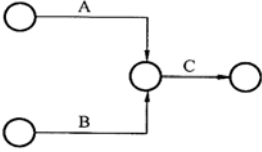
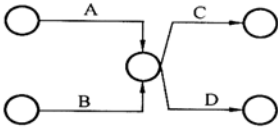
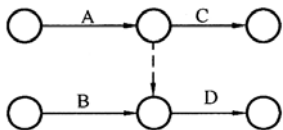
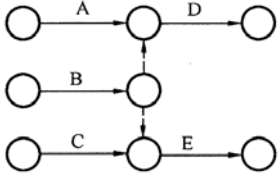
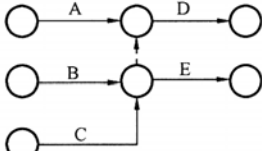
网络计划中关键线路可能同时存在几条关键线路, 即这几条线路上的持续时间相同。如果一些工作的持续时间因某种原因出现变化, 则该网络计划和各条路线的持续时间都会产生变化, 关键路线有可能会发生转化。所以关键线路不是一成不变的, 在一定条件下, 关键线路和非关键线路可以互相转化, 关键工作与非关键工作也可以互相转化。

## 2) 双代号网络图绘制方法

在绘制双代号网络图时, 要注意以下几个方面:

①网络图必须正确表达工作之间的逻辑关系。要表达这一逻辑关系, 首先必须正确分析各项工作之间的逻辑关系。网络图中常见的逻辑关系及其表示方法如下:

序号	工作逻辑关系	网络图中的表达方法
1	A 工作完成后进行 B 工作	
2	A、B、C 三项工作同时开始	

3	A、B、C 三项工作同时结束	
4	A 工作完成后进行 B 和 C 工作	
5	A、B 工作完成后进行 C 工作	
6	A、B 工作都完成后进行 C、D 工作	
7	A 工作完成后进行 C 工作；A、B 工作完成后进行 D 工作	
8	A、B 工作完成后进行 D 工作 B、C 工作完成后进行 E 工作	
9	A、B 工作完成后进行 D 工作 B、C 工作完成后进行 E 工作	

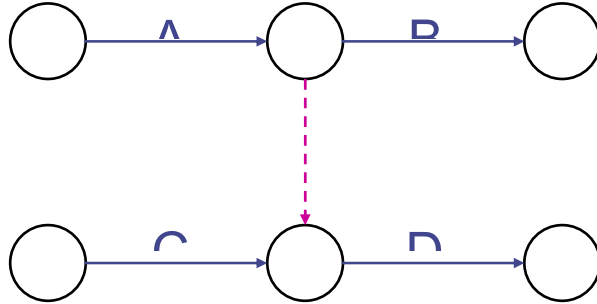
## ②双代号网络图绘制基本规则

- 一个网络图中，应只有一个起点节点和一个终点节点
- 网络图中不允许出现循环回路
- 网络图中的箭线（包括虚箭线）应保持自左向右的方向，不应出现箭头指向左方的水平箭线网络图中严禁出现双向箭头和无箭头的连张。
- 在网络图中不允许出现**没有箭尾节点**和**没有箭头节点**的箭线。
- 网络图中的节点都必须编号，其编号严禁重复，并使每一条箭线上箭尾节点标号小于箭头节点的编号。
- 严禁在箭线上引出或引入箭线应尽量避免箭线交叉。当交叉不可避免时，可采用**过桥法**、**指向法**等方法表示。

### ③虚箭线在网络图绘制中的应用

虚箭线有助于正确表达各工作的关系，避免逻辑错误。虚箭线在网络图的绘制中主要有以下应用：

- 虚箭线在工作的逻辑连接方面的应用

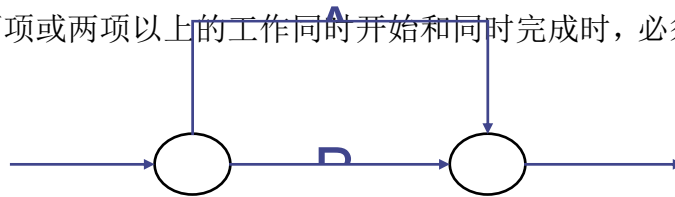


A 工作结束后可同时进行 B、D 工作，C 工作结束后可进行 D 工作，为了把 A、D 两项工作紧前紧后的关系表达出来，这时就需要引入虚箭线。虚箭线在工

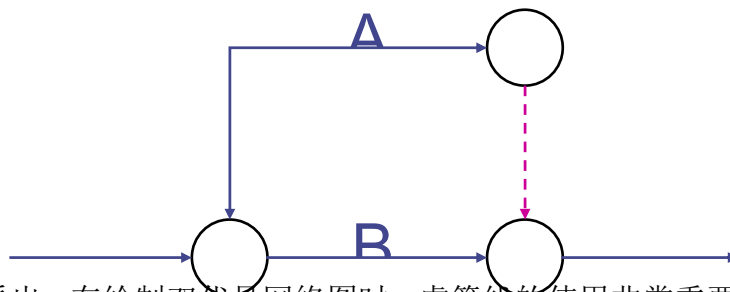
#### 作的逻辑“断路”方面的应用

绘制双代号网络图时最容易产生的错误是把本来没有逻辑关系的工作联系起来，使网络图发生逻辑上的错误。这时就必须使用箭线在图上加以处理，以隔断不应有的工作联系。用虚箭线隔断网络图中无逻辑关系的各项工作的方法称为“断路法”。虚箭线在两项或两项以上的工作同时开始和同时完成时的应用

两项或两项以上的工作同时开始和同时完成时，必须引入虚箭线，以免造成混乱



A、B 具有同一个紧前工作和同一个紧后工作，两项工作的箭线共用 1、2 两个节点，代号 1-2 既表示 A 工作又表示 B 工作，错误。引入虚箭线就可以清楚地表达他们的逻辑关系，并且消除了错误地表示。



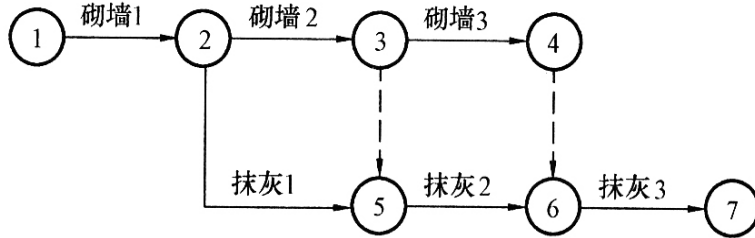
可以看出，在绘制双代号网络图时，虚箭线的使用非常重要，但使用又要恰如其分，不得滥用，因为每增加一条虚箭线，就要相应增加节点。使得图面复杂，而且还要增加时间参数的计算量。而且，加入虚箭线后应注意保持又有关工作地逻辑关系正确。



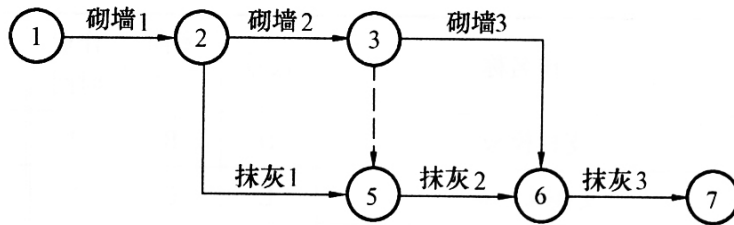
#### ④网络图的结构

网络计划是用来指导工作的，除了要符合逻辑关系外，图面必须清晰。应先绘制草图，再加之整理，使得箭线整齐，调理清楚、布局合理，且没有多余的虚工作。

减少网络图中不必要的虚箭线和节点。



有多余虚工作和节点



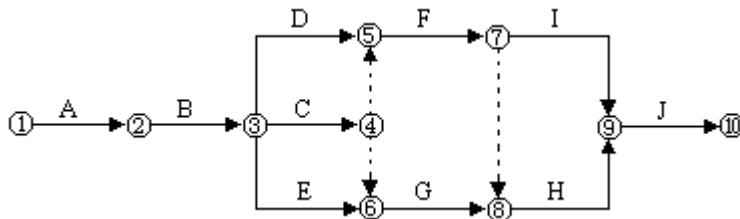
去掉多余虚工序后的网络图

#### ⑤双代号网络图的绘制举例

例如，通过分析，某建设工程项目计划涉及的各项工作的先后顺序与逻辑关系如表所示。则网络图的绘制过程可由图所示。

表 工作逻辑关系表

工作	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
紧前工作	-	A	B	B	B	C D	C E	F G	F	H I



#### 3) 双代号网络图的时间参数计算

绘制好网络图后，可以知道工作实施的先后逻辑关系，但是在实际工程中还必须知道每一项工作什么时间开始，什么时间结束。也就是确定时间参数。

##### ①网络计划的时间参数

### a) 工作持续时间和工期

持续时间是对一项工作规定的从开始到完成的时间，它的长短与该工作的工作量及进行该工作的资源（人工、设备、费用）投入量有关，优势与该工作的工艺或技术要求等其它因素也有关。所以，工作持续时间的确定是非常重要的。他关系到整个进度计划及其它的计划。

工作持续时间的计算方法通常有两种：一是“定额算法”，二是“三时估算法”。

“定额算法”根据劳动定额、预算定额、操作方法、工作工程量、投入的资源量（工人数、机械台数和材料量等）按下列公式计算。

$$D = \frac{Q}{R \cdot S \cdot n}$$

式中： $D_{i-j}$ —— $i-j$  工作的持续时间；

$Q_{i-j}$ —— $i-j$  工作的工程量；

$R$ ——投入  $i-j$  工作的资源量（人数或机械台班数）；

$S$ ——产量定额；

$n$ ——工作的班次（一天三班，二班还是一班）。

当工作持续时间不能用定额算法计算时，便采用“三时估算法”其计算公式为：

$$D_{i-j} = (a + 4c + b) / 6$$

式中： $D_{i-j}$ —— $i-j$  工作的持续时间；

$a$ ——工作的乐观（最短）持续时间估算值；

$b$ ——工作的悲观（最长）持续时间估计值；

$c$ ——工作的最可能持续时间估算值。

虚工作必须视同工作进行计算，其持续时间为零。

工期：网络计划中，工期一般有以下三种

- 计算工期：是指根据网络计划时间参数计算得出的工期，用  $T_c$  表示。
- 要求工期：是指任务委托人所提出的指令性工期，用  $T_r$  表示。
- 计划工期：是指根据要求工期和计算工期所确定的作为实施目标的工期，用  $T_p$  表示。

b) 工作的时间参数。网络计划中有 6 个重要的时间参数

- 工作最早可能开始时间（简称工作最早开始时间）

工作的最早开始时间  $ES_{i,j}$ ：指工作的各紧前工作全部完成后，本工作有可能开始的最早时刻。计算应符合下列规定：

(1) 工作  $i-j$  的最早开始时间  $ES_{i,j}$  应从网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向依次逐项计算；

(2)以起点节点*i*为箭尾节点的工作*i-j*,当未规定其最早开始时间 $ES_{i-j}$ 时,其值应等于零,即:

$$ES_{i-j}=0(i=1)$$

(3)当工作*i-j*只有一项紧前工作*h-i*时,其最早开始时间 $ES_{i-j}$ 应为:

$$ES_{i-j}=ES_{h-i}+D_{h-i}$$

式中 $ES_{i-j}$ ——工作*i-j*的紧前工作的最早开始时间;

$D_{h-i}$ ——工作*i-j*的紧前工作*h-i*的持续时间。

(4)当工作*i-j*有多个紧前工作时,其最早开始时间 $ES_{i-j}$ 应为:

$$ES_{i-j}=\max\{ES_{h-i}+D_{h-i}\}$$

● 工作最早可能完成时间(简称工作最早完成时间)

工作最早完成时间 $EF_{i-j}$ 指各紧前工作完成后,本工作有可能完成的最早时刻。工作*i-j*的最早完成时间 $EF_{i-j}$ ,应按下式进行计算:

$$EF_{i-j}=ES_{i-j}+D_{i-j}$$

在得到工作最早完成时间按后可得到网络计划的计算工期 $T_c$ 。

$$T_c=\max\{EF_{i-n}\}$$

式中 $EF_{i-n}$ ——以终点节点( $j=n$ )为箭头节点的工作*i-n*的最早完成时间

网络计划的计划工期的计算

网络计划的计划工期 $T_p$ ,指按要求工期和计算工期确定的作为实施目标的工期。其计算应按下述规定:

(1)当已规定了要求工期 $T_r$

$$T_p \leq T_r$$

(2)当未规定要求工期时

$$T_p = T_c$$

● 工作最迟完成时间

工作最迟完成时间指在不影响整个任务按期完成的前提下,工作必须完成的最迟时刻。

(1)工作*i-j*的最迟完成时间 $LF_{i-j}$ 应从网络计划的终点节点开始,逆着箭线方向依次逐项计算。

(2)以终点节点( $j=n$ )为箭头节点的工作的最迟完成时间 $LF_{i-n}$ ,应按网络计划的计划工期 $T_p$ 确定,即:

$$LF_{i-n}=T_p$$

(3)其他工作*i-j*的最迟完成时间 $LF_{i-j}$ ;应按下式计算:

$$LF_{i-j}=\min\{LF_{j-k}-D_{j-k}\}$$

式中 $LF_{j-k}$ ——工作*i-j*的各项紧后工作*j-k*的最迟完成时间;

$D_{j-k}$ ——工作  $i-j$  的各项紧后工作 (紧排在本工作之后的工作) 的持续时间。

● 工作最迟开始时间

工作的最迟开始时间  $LS_{i-j}$  指在不影响整个任务按期完成的前提下, 工作必须开始的最迟时刻。

工作  $i-j$  的最迟开始时间应按下式计算:

$$LS_{i-j} = LF_{i-j} - D_{i-j}$$

● 工作总时差

工作总时差  $TF_{i-j}$  是指在不影响总工期的前提下, 本工作可以利用的机动时间。若工作的拖延时间超过这个时差, 计划的工期要受到影响。该时间应按下式计算:

$$TF_{i-j} = LS_{i-j} - ES_{i-j}$$

或

$$TF_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j}$$

● 工作自由差

工作自由时差  $FF_{i-j}$  是指在不影响其紧后工作最早开始时间的前提下, 本工作可以利用的机动时间, 若该工作的移动时间超过这一时间, 其紧后工作的开始时间就会受到影响。工作  $i-j$  的自由时差  $FF_{i-j}$  的计算应符合下列规定:

(1) 当工作  $i-j$  有紧后工作  $j-k$  时, 其自由时差应为:

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - ES_{i-j} - D_{i-j}$$

或

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j}$$

式中  $ES_{j-k}$ ——工作  $i-j$  的紧后工作  $j-k$  的最早开始时间。

(2) 当工作  $i-j$  有多个紧后工作时, 其自由时差应为:

$$FF_{i-j} = \min \{ES_{j-k}\} - ES_{i-j} - D_{i-j}$$

(3) 终点节点 ( $j=n$ ) 为箭头节点的工作, 其自由时差  $FF_{i-j}$ ; 应按网络计划的计划工期  $T_p$  确定, 即:

$$FF_{i-n} = T_p - ES_{i-n} - D_{i-n}$$

或

$$FF_{i-n} = T_p - EF_{i-n}$$

虚箭线中的自由时差归其紧前工作所有。

② 双代号网络计划图上作业法

$ES_{i-j}$	$EF_{i-j}$	$TF_{i-j}$
$LS_{i-j}$	$LF_{i-j}$	$FF_{i-j}$

步骤: a) 计算工作的最早开始时间与最早完成时间

- 计算顺序从左向右
- 如果没有特殊说明, 以起始节点为开始节点的工作 (即网络计划最早开始的工作) 的最早开始时间为 0;

- 其他各项工作的最早开始时间取紧前工作的最早完成时间的最大值。

网络计划的计算工期为这些工作最早可能结束时间的最大值。

b) 计算工作的最迟开始时间与最迟完成时间

- 其计算顺序从右向左，即从网络计划的终结点向起始节点进行计算。
- 如果没有特殊说明，以终点节点为结束节点的工作（即网络计划结束性工作）的最迟完成时间为计划工期  $T_p$ ，如果没有特殊说明，取计划工期  $T_p$  等于计算工期  $T_c$ 。
- 其他各项工作的最迟完成时间取紧后工作的最早可能开始时间的最小值。

c) 计算各项工作的总时差

各项工作的最迟时间与最早时间之差

d) 计算各项工作的自由差

工作的自由时差即为紧后工作的最早开始时间的最小值减去本工作的最早完成时间。

e) 关键活动和关键线路：当计划工期和计算工期相等时，总时差为 0 的活动为关键活动；关键活动依次相连即得关键线路。当计划工期和计算工期之差为一值时，则总时差为该值的活动为关键活动。

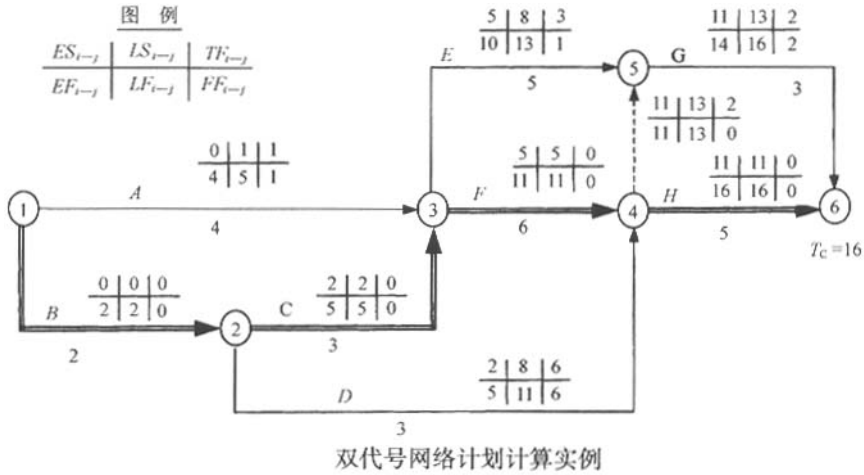
- 关键路线上的各工序持续时间之和就是工程的计算工期，也是项目能够最短完成的工期。
- 关键线路上的工作没有机动时间，但是非关键线路上工作的最早开始时间和最迟开始时间之间有时间差(机动时间)，工作可以在机动时间内推迟而不会影响项目的总工期(但有可能影响其紧后工作的最早可能开始时间)。
- 如果资源不足，如劳动力短缺或周转资金不足，则可利用工作的时差调整非关键工作的进度但并不影响项目的总工期。这就是资源均衡优化的基本原理

【例】已知网络计划的资料如表所示，试绘制双代号网络计划；若计划工期等于计算工期，试计算各项工作的六个时间参数并确定关键线路，标注在网络计划上。

网络计划资料表

工作名称	A	B	C	D	E	F	H	G
紧前工作	/	/	B	B	A. C	A. C	D. F	D. E. F
持续时间(天)	4	2	3	3	5	6	5	3

【解】(1) 根据上表中网络计划的有关资料, 按照网络图的绘图规则, 绘制双代号网络图如图所示。



(2) 计算各项工作的时间参数, 并将计算结果标注在箭线上方相应的位置。

1) 计算各项工作的最早开始时间和最早完成时间

从起点节点(①节点)开始顺着箭线方向依次逐项计算到终点节点(⑥节点)。

(a) 以网络计划起点节点为开始节点的各工作的最早开始时间为零:

$$ES_{1-2} = ES_{1-3} = 0$$

(b) 计算各项工作的最早开始和最早完成时间:

$$EF_{1-2} = ES_{1-2} + D_{1-2} = 0 + 2 = 2$$

$$EF_{1-3} = ES_{1-3} + D_{1-3} = 0 + 4 = 4$$

$$ES_{2-3} = ES_{2-4} = EF_{1-2} = 2$$

$$EF_{2-3} = ES_{2-3} + D_{2-3} = 2 + 3 = 5$$

$$EF_{2-4} = ES_{2-4} + D_{2-4} = 2 + 3 = 5$$

$$ES_{3-4} = ES_{3-5} = \text{Max} [EF_{1-3}, EF_{2-3}] = \text{Max} [4, 5] = 5$$

$$EF_{3-4} = ES_{3-4} + D_{3-4} = 5 + 6 = 11$$

$$EF_{3-5} = ES_{3-5} + D_{3-5} = 5 + 5 = 10$$

$$ES_{4-6} = ES_{4-5} = \text{Max} [EF_{3-4}, EF_{2-4}] = \text{Max} [11, 5] = 11$$

$$EF_{4-6} = ES_{4-6} + D_{4-6} = 11 + 5 = 16$$

$$EF_{4-5} = 11 + 0 = 11$$

$$ES_{5-6} = \text{Max} [EF_{3-5}, EF_{4-5}] = \text{Max} [10, 11] = 11$$

$$ES_{5-6} = 11 + 3 = 14$$

2) 确定计算工期 $T_C$ 及计划工期 $T_P$

计算工期:  $T_C = \text{Max} [EF_{5-6}, EF_{4-6}] = \text{Max} [14, 16] = 16$

已知计划工期等于计算工期, 即:

$$\text{计划工期: } T_P = T_C = 16$$

3) 计算各项工作的最迟开始时间和最迟完成时间

从终点节点(⑥节点)开始逆着箭线方向依次逐项计算到起点节点(①节点)。

(a) 以网络计划终点节点为箭头节点的工作的最迟完成时间等于计划工期:

$$LF_{4-6} = LF_{5-6} = 16$$

(b) 计算各项工作的最迟开始和最迟完成时间:

$$LS_{4-6} = LF_{4-6} - D_{4-6} = 16 - 5 = 11$$

$$LS_{5-6} = LF_{5-6} - D_{5-6} = 16 - 3 = 13$$

$$LF_{3-5} = LF_{4-5} = LS_{5-6} = 13$$

$$LS_{3-5} = LF_{3-5} - D_{3-5} = 13 - 5 = 8$$

$$LS_{4-5} = LF_{4-5} - D_{4-5} = 13 - 0 = 13$$

$$LF_{2-4} = LF_{3-4} = \text{Min} [LS_{4-5}, LS_{4-6}] = \text{Min} [13, 11] = 11$$

$$LS_{2-4} = LF_{2-4} - D_{2-4} = 11 - 3 = 8$$

$$LS_{3-4} = LF_{3-4} - D_{3-4} = 11 - 6 = 5$$

$$LF_{1-3} = LF_{2-3} = \text{Min} [LS_{3-4}, LS_{3-5}] = \text{Min} [5, 8] = 5$$

$$LS_{1-3} = LF_{1-3} - D_{1-3} = 5 - 4 = 1$$

$$LS_{2-3} = LF_{2-3} - D_{2-3} = 5 - 3 = 2$$

$$LF_{1-2} = \text{Min} [LS_{2-3}, LS_{2-4}] = \text{Min} [2, 8] = 2$$

$$LS_{1-2} = LF_{1-2} - D_{1-2} = 2 - 2 = 0$$

4) 计算各项工作的总时差:  $TF_{i-j}$

可以用工作的最迟开始时间减去最早开始时间或用工作的最迟完成时间减去最早完成时间:

$$TF_{1-2} = LS_{1-2} - ES_{1-2} = 0 - 0 = 0$$

或  $TF_{1-2} = LF_{1-2} - EF_{1-2} = 2 - 2 = 0$

$$TF_{1-3} = LS_{1-3} - ES_{1-3} = 1 - 0 = 1$$

$$TF_{2-3} = LS_{2-3} - ES_{2-3} = 2 - 2 = 0$$

$$TF_{2-4} = LS_{2-4} - ES_{2-4} = 8 - 2 = 6$$

$$TF_{3-4} = LS_{3-4} - ES_{3-4} = 5 - 5 = 0$$

$$TF_{3-5} = LS_{3-5} - ES_{3-5} = 8 - 5 = 3$$

$$TF_{4-6} = LS_{4-6} - ES_{4-6} = 11 - 11 = 0$$

$$TF_{5-6} = LS_{5-6} - ES_{5-6} = 13 - 11 = 2$$

5) 计算各项工作的自由时差:  $TF_{i-j}$

等于紧后工作的最早开始时间减去本工作的最早完成时间:

$$FF_{1-2} = ES_{2-3} - EF_{1-2} = 2 - 2 = 0$$

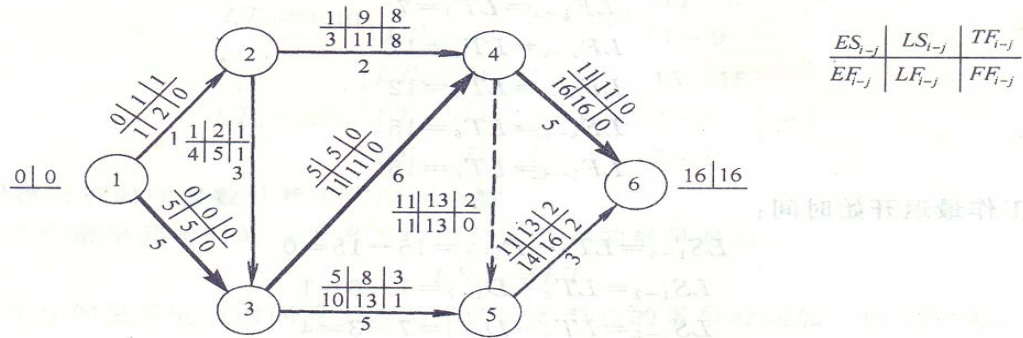
$$FF_{1-3} = ES_{3-4} - EF_{1-3} = 5 - 4 = 1$$

$$\begin{aligned}
 FF_{2-3} &= ES_{3-5} - EF_{2-3} = 5 - 5 = 0 \\
 FF_{2-4} &= ES_{4-6} - EF_{2-4} = 11 - 5 = 6 \\
 FF_{3-4} &= ES_{4-6} - EF_{3-4} = 11 - 11 = 0 \\
 FF_{3-5} &= ES_{5-6} - EF_{3-5} = 11 - 10 = 1 \\
 FF_{4-6} &= T_p - EF_{4-6} = 16 - 16 = 0 \\
 FF_{5-6} &= T_p - EF_{5-6} = 16 - 14 = 2
 \end{aligned}$$

(3) 确定关键工作及关键线路。

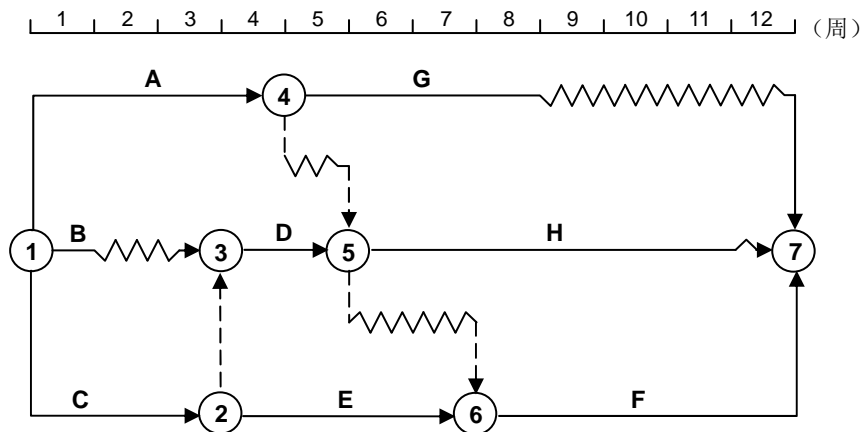
在下图中，最小的总时差是0，所以，凡是总时差为0的工作均为关键工作。该例中的关键工作是：①—②，②—③，③—④，④—⑥（或关键工作是：B、C、F、H）。

练习：



### 3) 双代号时标网络计划

双代号时标网络简称时标网络，其是以时间坐标为尺度表示活动的进度网络，如图所示：



1、双代号时标网络计划的特点：

(1) 时标网络计划兼有网络计划与横道计划的优点，它能够清楚地表明计划的时间进程，使用方便；

(2) 时标网络计划能在图上直接显示出各项工作的开始与完成时间，工作



的自由时差及关键线路；

(3) 在时标网络计划中可以统计每一个单位时间对资源的需要量，以便进行资源优化和调整；

(4) 由于箭线受到时间坐标的限制，当情况发生变化时，对网络计划的修改比较麻烦，往往要重新绘图。但在使用计算机以后，这一问题已较容易解决。

## 2、双代号时标网络计划的一般规定

(1) 时间坐标的时间单位应根据需要在编制网络计划之前确定，可为：季、月、周、天等；

(2) 时标网络计划应以实箭线表示工作，以虚箭线表示虚工作，以波形线表示工作的自由时差；

(3) 时标网络计划中所有符号在时间坐标上的水平投影位置，都必须与其时间参数相对应。节点中心必须对准相应的时标位置；

## 3. 时标网络计划的编制

**时标网络计划宜按各个工作的最早开始时间编制。**绘制步骤如下：

1) 画出具有活动时间参数的双代号网络图；

2) 将起点节点定位在时标表的起始刻度线上。

3) 按工作持续时间在时标计划表上绘制起点节点的外向箭线。

4) 其他工作的开始节点必须在其所有紧前工作都绘出以后，定位在这些紧前工作最早完成时间最大值的时间刻度上，某些工作的箭线长度不足以到达该节点时，用波形线补足，箭头画在波形线与节点连接处。

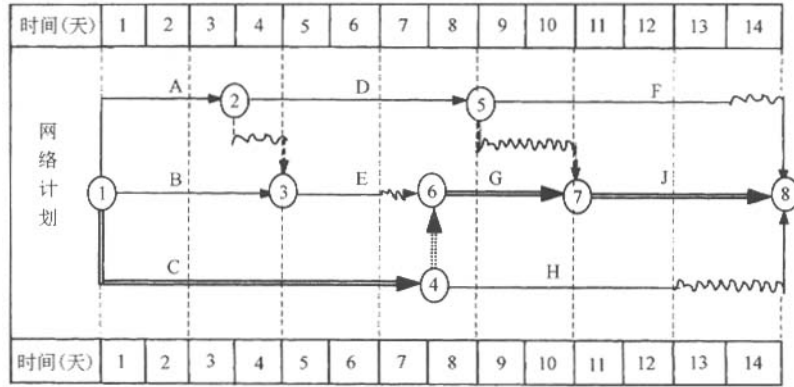
5) 用上述方法从左至右依次确定其他节点位置，直至网络计划终点节点定位，绘图完成。

**【例】**已知网络计划的资料如表所示，试绘制双代号时标网络计划。

网络计划资料表

工作名称	A	B	C	D	E	F	G	H	J
紧前工作	/	/	/	A	A、B	D	C、E	C	D、G
持续时间(天)	3	4	7	5	2	5	3	5	4

**【解】**(1) 将网络计划的起点节点定位在时标表的起始刻度线上位置上，起点节点的编号为1，如图所示。



双代号时标网络计划

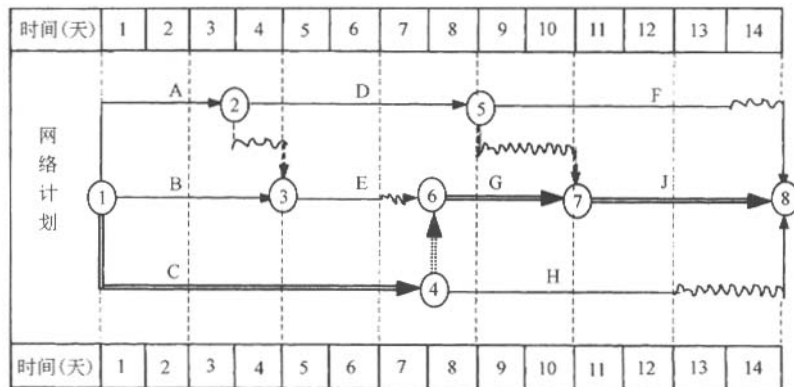
(2) 画节点①的外向箭线，即按各工作的持续时间，画出无紧前工作的 A、B、C 工作，并确定节点②、③、④的位置，如图所示。

(3) 依次画出节点②、③、④的外向箭线工作 D、E、H，并确定节点⑤、⑥的位置。节点⑥的位置定位在其两条内向箭线的最早完成时间的最大值处，即定位在时标值 7 的位置，工作 E 的箭线长度达不到⑥节点，则用波形线补足。

(4) 按上述步骤，直到画出全部工作，确定出终点节点⑧的位置，时标网络计划绘制完毕。

#### 4. 关键线路和计算工期的确定

(1) 时标网络计划关键线路的确定，应自终点节点逆箭线方向朝起点节点逐次进行判定：从终点到起点不出现波形线的线路即为关键线路。如图中，关键线路是：①—④—⑥—⑦—⑧，用双箭线表示，如图所示。



双代号时标网络计划

(2) 时标网络计划的计算工期，应是终点节点与起点节点所在位置之差。如图中，计算工期  $T_c = 14 - 0 = 14$  (天)。

#### 5. 时标网络计划时间参数的确定

在时标网络计划中，六个工作时间参数的确定步骤如下：

##### (1) 最早时间参数的确定

按最早开始时间绘制时标网络计划，最早时间参数可以从图上直接确定：

1) 最早开始时间  $ES_{i-j}$

每条实箭线左端箭尾节点 ( $i$  节点) 中心所对应的时标值, 即为该工作的最早开始时间。

2) 最早完成时间  $EF_{i-j}$

如箭线右端无波形线, 则该箭线右端节点 ( $j$  节点) 中心所对应的时标值为该工作的最早完成时间; 如箭线右端有波形线, 则实箭线右端末所对应的时标值即为该工作的最早完成时间。

如图中可知:  $ES_{1-3} = 0$ ,  $EF_{1-3} = 4$ ;  $ES_{3-6} = 4$ ,  $EF_{3-6} = 6$ 。以此类推确定。

(2) 自由时差的确定

时标网络计划中各工作的自由时差值应为表示该工作的箭线中波形线部分在坐标轴上的水平投影长度。

如图中可知: 工作 E、H、F 的自由时差分别为:  $FF_{3-6} = 1$ ;  $FF_{4-8} = 2$ ;  $FF_{5-8} = 1$ 。

(3) 总时差的确定

时标网络计划中工作的总时差的计算应自右向左进行, 且符合下列规定:

1) 以终点节点 ( $j = n$ ) 为箭头节点的工作的总时差  $TF_{i-n}$  应按网络计划的计划工期  $T_p$  计算确定, 即:

$$TF_{i-n} = T_p - EF_{i-n}$$

如图中可知, 工作 F、J、H、的总时差分别为:

$$TF_{5-8} = T_p - EF_{5-8} = 14 - 13 = 1$$

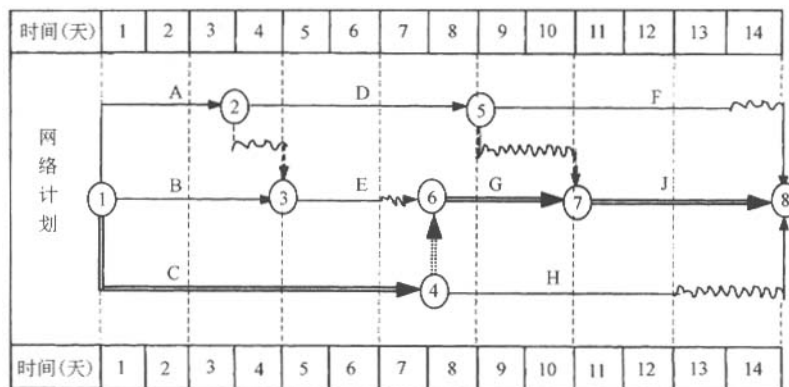
$$TF_{7-8} = T_p - EF_{7-8} = 14 - 14 = 0$$

$$TF_{4-8} = T_p - EF_{4-8} = 14 - 12 = 2$$

2) 其他工作的总时差等于其紧后工作  $j-k$  总时差的最小值与本工作的自由时差之和, 即:

$$TF_{i-j} = \text{Min} [TF_{j-k}] + FF_{i-j}$$

下图中, 各项工作的总时差计算如下:



双代号时标网络计划

$$TF_{6-7} = TF_{7-8} + FF_{6-7} = 0 + 0 = 0$$

$$TF_{3-6} = TF_{6-7} + FF_{3-6} = 0 + 1 = 1$$

$$TF_{2-5} = \min [TF_{5-7}, TF_{5-8}] + FF_{2-5} = \min [2, 1] + 0 = 1 + 0 = 1$$

$$TF_{1-4} = \min [TF_{4-6}, TF_{4-8}] + FF_{1-4} = \min [0, 2] + 0 = 0 + 0 = 0$$

$$TF_{1-3} = TF_{3-6} + FF_{1-3} = 1 + 0 = 1$$

$$TF_{1-2} = \min [TF_{2-3}, TF_{2-5}] + FF_{1-2} = \min [2, 1] + 0 = 1 + 0 = 1$$

#### (4) 最迟时间参数的确定

时标网络计划中工作的最迟开始时间和最迟完成时间可按下式计算：

$$LS_{i-j} = ES_{i-j} + TF_{i-j} \quad (5-19)$$

$$LF_{i-j} = EF_{i-j} + TF_{i-j} \quad (5-20)$$

如图中，工作的最迟开始时间和最迟完成时间为：

$$LS_{1-2} = ES_{1-2} + TF_{1-2} = 0 + 1 = 1$$

$$LF_{1-2} = EF_{1-2} + TF_{1-2} = 3 + 1 = 4$$

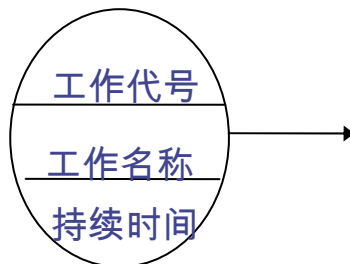
$$LS_{1-3} = ES_{1-3} + TF_{1-3} = 0 + 1 = 1$$

$$LF_{1-3} = EF_{1-3} + TF_{1-3} = 4 + 1 = 5$$

由此类推，可计算出各项工作的最迟开始时间和最迟完成时间。由于所有工作的最早开始时间、最早完成时间和总时差均为已知，故计算容易，此处不再一一列举。

#### (4) 单代号网络技术

单代号绘图法用圆圈或方框表示活动，并在圆圈或方框内可以写上活动的编号、名称和持续时间；活动之间的逻辑关系用箭线表示。



单代号网络技术的绘制方法和时间参数计算与双代号网络图类似，甚至更容易。目前单代号网络图被大部分项目管理软件所采用。

## 第2节 工程项目进度计划的编制

### 一、工程项目进度计划编制依据

#### 1、工程项目进度计划编制依据

- 项目管理目标责任
- 施工总进度计划

- 项目管理人员的素质及劳动效率
- 工程项目现场条件、气候条件和环境条件
- 已建成的同类工程实际进度及经济指标

## 2、施工总进度计划编制依据

- 施工合同
- 施工进度目标
- 施工方案
- 主要材料和设备的供应能力
- 有关技术经验资料
- 其他资料

## 二、工程项目进度计划编制程序

### 1、调查研究

- 1) 工程任务情况、实施条件、设计资料
- 2) 有关标准、定额、规程和制度
- 3) 资源需求与供应情况
- 4) 资金需求与供应情况
- 5) 有关统计资料、经验总结及历史资料

### 2、确定网络计划目标

- 1) 时间目标
- 2) 时间-资源目标
- 3) 时间-成本目标

### 3、进行项目分解

### 4、逻辑关系分析

### 5、绘制网络图

### 6、计算工作持续时间

### 7、计算网络计划时间参数

### 8、确定关键路线和关键工作

### 9、网络计划优化

## 三、工程项目网络进度计划的优化

网络计划的优化是指在一定约束条件下,按既定的目标对网络计划进行不断地改进,以寻求满意方案的过程。网络计划的优化目标应按计划任务的需要和条件选定,包括工期目标、费用目标和资源目标。根据优化目标的不同,网络计划的优化可分为工期优化、费用优化和资源优化。

### 1、工期优化

工期优化是指网络计划的计算工期不满足要求工期时，通过压缩计算工期以达到要求工期目标的过程。 工期优化的基本方法：压缩关键线路中关键工作的持续时间。

进行工期优化的步骤如下：

- (1) 确定初始网络计划的计算工期和关键线路；
- (2) 按规定工期要求确定应压缩的时间；

$$\Delta T = T_c - T_r$$

(3) 确定应压缩的关键工作。**选择压缩时间的关键工作应考虑以下因素：**

- 压缩时间对质量和安全影响较小；有充足的备用资源；**压缩时间所需增加的费用较少**

将所有工作考虑上述三方面，确定优选系数。优选系数小的工作较适宜压缩。

(4) 将所选定的关键工作的持续时间压缩至最短，并重新确定计算工期和关键线路。若被压缩的工作变为非关键工作时，应延长其持续时间，使之成为关键工作。

(5) 当计算工期仍大于规定工期时，则重复上述步骤，直到满足工期要求或工期不能再压缩为止。

当所有关键活动的持续时间均压缩到极限，仍不满足工期要求时，应对计划的原技术、组织方案进行调整，或对规定工期重新审定。

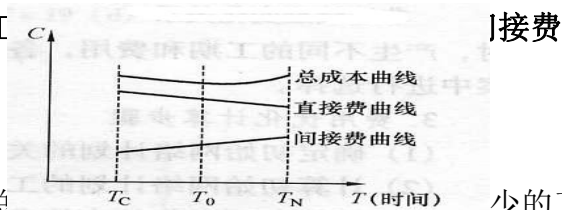
在这过程中，要注意到：

- (1) 不能将关键活动压缩为非关键活动；
- (2) 当出现多条关键线路时，要将各条关键线路作相同程度的压缩，否则，不能进行有效压缩。
- (3) 当需要同时压缩多个关键工作的持续时间时，则优选系数之和最小者应优先选择。

## 2、费用优化

**费用优化又称工期成本优化。是指寻求工程总成本最低时的工期或按要求工期寻求最低成本的计划安排过程。**

费用和工



在总成本最低的工期，这就是费用优化所寻求的目标。

将工作持续时间每缩短单位时间而增加的直接费称为直接费用率。工作的直

接费用率越大,说明将该工作的持续时间缩短一个时间单位所增加的直接费就越多,反之就越少。

寻求最低费用和最优工期的基本思路:不断地在网络计划中找出直接费率(或组合直接费率)最小的关键工作,缩短其持续时间,同时考虑间接费用随工期缩短而减少的数值,最后求得工程总成本最低的最优工期安排或按要求工期求得最低成本的计划安排。

费用优化的基本思路:

- (1) 按工作的正常持续时间确定计算工期和关键线路
- (2) 计算各项工作的直接费用率
- (3) 当有一条关键线路时,应找出直接费用率最小的一项关键工作,作为缩短持续时间的对象;当有多条关键线路时,应找出组合直接费用率最小的一组关键工作,作为缩短持续时间的对象。
- (4) 对于选定的压缩对象(一项关键工作或一组关键工作),首先比较其直接费用率或组合直接费用率与间接费用率的大小:
  - 1) 如果被压缩对象的直接费用率或组合费用率大于工程的间接费用率,说明压缩关键工作的持续时间会使工程总费用增加,此时应停止压缩关键工作的持续时间,在此之前的方案即为优化方案。
  - 2) 如果被压缩对象的直接费用率或组合费用率等于工程的间接费用率,说明压缩关键工作的持续时间不会使工程总费用增加,故应压缩关键工作的持续时间。
  - 3) 如果被压缩对象的直接费用率或组合费用率小于工程的间接费用率,说明压缩关键工作的持续时间会使工程总费用减少,故应压缩关键工作的持续时间。
- (5) 当需要缩短关键工作的持续时间时,其缩短值的确定必须符合下列两条原则:
  - 1) 缩短持续时间的工作不能变为非关键工作
  - 2) 缩短后工作的持续时间不能小于其最短持续时间
- (6) 计算关键工作持续时间缩短后相应增加的总费用。
- (7) 重复上述 3-6,直至计算工期满足要求工期或被压缩对象的直接费用组合直接费用率大于工程间接费用为止。
- (8) 计算优化后的工程总费用

### 3、资源优化

资源是指为完成一项计划任务所需投入的人力、材料、设备工具和资金。完成一项工程活动所需要的资源量基本上是不变的,不可能通过资源优化将其减

少。资源优化的目的是通过改变工作的开始时间和完成时间,使资源的分布平衡。资源优化包括:“资源有限—工期最短”和“工期固定—资源均衡”两种。

(1)资源有限—工期最短优化。其是通过调整计划安排以满足资源限制条件,并使工期延长最少。

(2)工期固定—资源均衡。其是通过调整计划安排,在工期保持不变的条件下,使资源尽可能均衡的过程。

### 第3节 工程项目进度计划的实施与控制

工程项目进度控制是指在经确认的进度计划的基础上实施各项具体工作,在一定控制期内检查实际进度完成情况,并将其与进度计划相比较,若出现偏差,分析产生的原因和对工期的影响程度,找出必要的调整措施,修改原计划,不断如此循环,直至工程竣工验收。

#### 一、工程项目进度控制的方法和措施

##### 1、控制方法

计划——控制——协调

##### 2、控制措施

###### ● 组织措施

落实项目管理班子中“进度控制者(部门)”的人员、任务和管理职能分工进行项目分解,建立编码体系

确定进度协调工作制度分析进度目标实现的组织方面的风险技术措施

选择有利于加快进度的设计方案

选择有利于加快进度施工方案选择有利于对实现进度目标的设计技术和施工技术

###### ● 合同措施

分别发包,提前施工合同期与进度计划相协调

###### ● 经济措施

保证资金供应工期奖励资金需求计划资金供应条件

###### ● 信息管理工作措施

#### 二、工程项目进度的检查与分析

##### 1、工程项目实际进度与计划进度的比较方法

###### (1) 横道图比较法

横道图比较法是指将项目实施过程中检查实际进度收集到的信息,经整理后直接用横道线并排地画于原计划的横道线处,以供进行直观比较的方法。

例如某工程项目基础工程的计划进度和截止到第9周末的实际进度如图5-4所示,其中双线表示计划进度,粗实线表示实际进度。



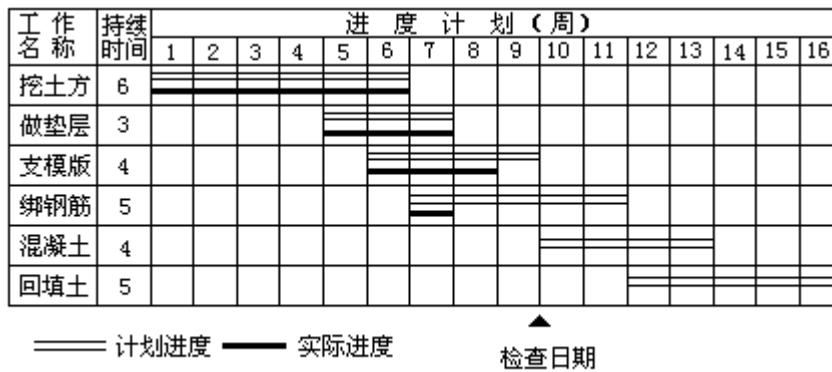


图5-4 某基础工程实际进度与计划进度比较图

实际进度可用持续时间或任务完成量（实物工程量、劳动消耗量、已完工程价值量）的累积百分比表示。但一般进度横道线一般只表示工作的开始时间、持续天数和完成时间，并不表示计划完成量和实际完成量。所以应分别考虑。

工作进展有两种情况：一是工作任务是匀速进行的，即每项工作任务在单位时间内完成的任务量都是相等的；二是工作任务的进展速度是变化的。

#### 1) 匀速进展横道图比较法

收集各项工作任务的实际进度数据，按照时间比例用涂黑粗线标在计划进度线下方，分析比较实际进度与计划进度：

- 涂黑的粗线右端与检查日期相重合，表明实际进度与计划进度相一致；
- 涂黑的粗线右端与检查日期左侧，表明实际进度比计划进度拖后；
- 涂黑的粗线右端与检查日期右侧，表明实际进度比计划进度超前；

#### 2) 双比例单侧横道图

适用于工作进度按变速进展的状况。用涂黑粗线表示工作任务实际进度的同时，标出其对应时候完成任务的累积百分比，将该百分比与其同时刻计划完成任务的累积百分比相比较，判断工作的实际进度与计划进度之间的关系：

- 同一时刻上下两个累积百分比相等，表明实际进度与计划进度一致；
- 同一时刻上方的累积百分比大于下方累积百分比，表明该时刻实际进度拖后，拖后的量为二者之差；
- 同一时刻上方的累积百分比小于下方累积百分比，表明该时刻实际进度超前，超前的量为二者之差；

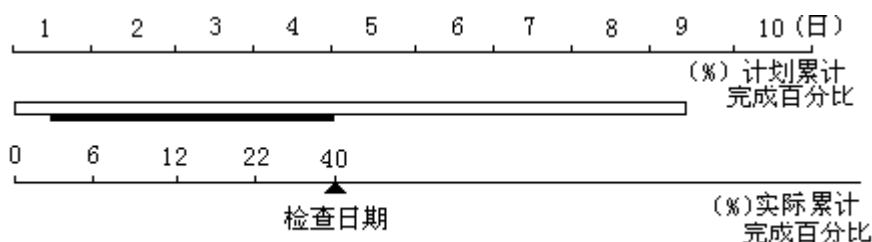
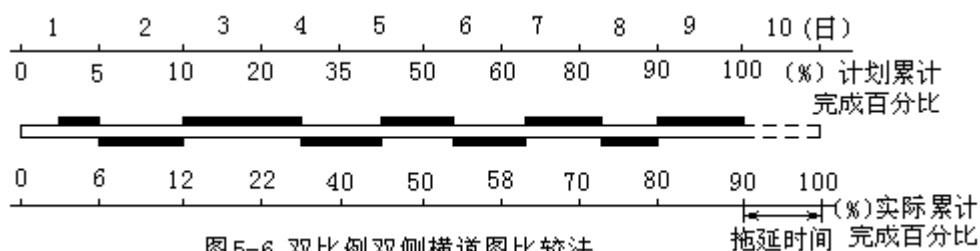


图5-5 双比例单侧横道图比较法

### 3) 双比例双侧横道图



#### (2) 前锋线比较法

前锋线比较法主要适用于时标网络计划。该方法是从检查时刻出发，用点划线自上而下依次连接将各项工作的实际进度点，最后到计划检查是的坐标点为止，形成前锋线，按照前锋线与工作箭线的交点的位置判定工程项目实际进度与计划进度偏差。如：

实际进度前锋线的功能包括两个方面：分析当前进度和预测未来的进度。

##### 1) 分析当前进度。

对某项工作来说，其实际进度与计划进度之间的关系可能存在以下三种情况：

- 工作实际进展位置点落在检查日期的左侧，表明该工作实际进度拖后，拖后的时间为二者之差；
- 工作实际进展位置点与检查日期重合，表明该工作实际进度与计划进度一致；
- 工作实际进展位置点落在检查日期的右侧，表明该工作实际进度超前，超前的时间为二者之差。

2) 测未来进度。通过对当前时刻和过去时刻两条前锋线的分析比较，可根据过去和目前情况，在一定范围对工程未来的进度变化趋势作出预测。可引进**进度比**概念进行定量预测。

前后两条前锋线间某线路上截取的线段长度  $\Delta X$  与这两条前锋线之间的时间间隔  $\Delta T$  之比叫进度比，用  $B$  表示。进度比  $B$  的数学计算式为：

$$B = \frac{\Delta X}{\Delta T}$$

$B$  的大小反映了该线路的实际进展速度的大小。某线路的实际进展速度与原计划相比是快、是慢或相等时， $B$  相应地大于 1、小于 1 或等于 1。根据  $B$  的大小，就有可能对该线路未来的进度作出定量的分析。

#### (3) S 曲线比较法

S 曲线是以横座标表示进度时间，纵座标表示累计完成工作任务量完成量而分别绘制成曲线。

S 曲线比较法是在项目实施过程中，按规定时间将检查的实际情况绘制在计

划 S 曲线同一张图上。

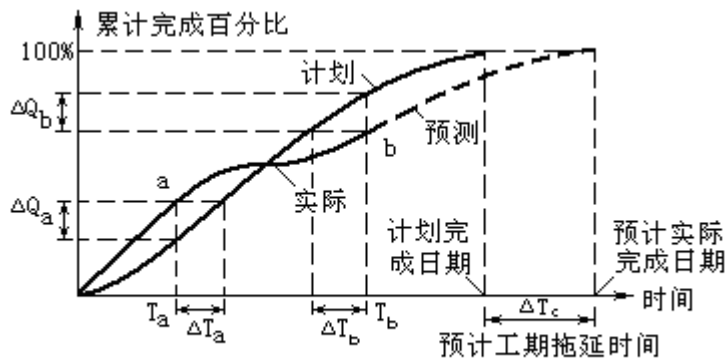


图5-7 S曲线比较法

呈 S 型是因为在工程项目的实施过程中，开始和结尾阶段，单位时间投入的资源量较少，中间阶段单位时间投入资源量较多，则单位时间完成的任务量也是同样变化，所以随时间进展累计完成的任务量呈 S 型变化。

通过比较，可得如下信息：

① 实际工程进度速度；

当实际工程进度点落在计划 S 型曲线左侧，则表示此时实际进度比计划进度超前；若落在右侧，则表示拖后；若刚好落在一起，则表示两者一致；

② 进度超前或延迟时间；

$\Delta T_a$  表示 T 时刻实际进度超前的时刻； $\Delta T_b$  表示实际进度拖后的时间；

③ 工程量的完成情况；

$\Delta Q_a$  表示  $T_a$  时刻实际超额完成的任务量； $\Delta T_b$  表示  $T_b$  时刻实际拖欠的任务量；

④ 后续工程进度预测。

后期工程按原计划速度进行，则工期拖延预测值为  $\Delta T_c$ 。

(4) 香蕉形曲线比较法

香蕉形曲线是两种 S 形曲线组合成的闭合曲线，其一是以网络计划中各工作任务的最早开始时间安排进度而绘制的 S 形曲线，称为 ES 曲线；其二是以网络计划中各工作任务的最迟开始时间安排进度而绘制的 S 形曲线，称为 LS 曲线；由于两条 S 形曲线都是同一项目的，其计划开始时刻和完成时刻相同，因此 ES 曲线与 LS 曲线是闭合的。

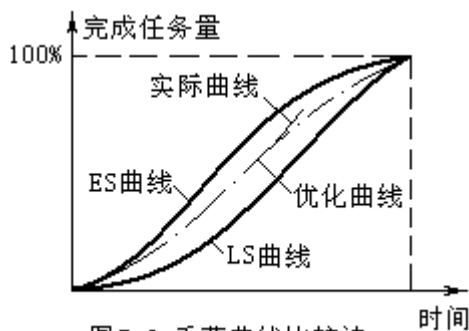


图5-8 香蕉曲线比较法

### 三、工程项目进度控制调整

#### 1、进度拖延原因分析

通过施工进度检查，仅能发现进度的偏差，了解到实际进度比计划进度是提前还是落后，但不能从中发现产生这种偏差的原因和对后续活动施工进度影响。因此，在发现偏差的基础上，必须进一步对进度作分析，为进度的调整提供依据。

引起进度偏差的原因是多方面的。通常有以下四个方面：

- (1) 工期及相关计划的失误
- (2) 环境条件的变化
- (3) 实施过程中管理失误
- (4) 其他原因

#### 2、对后续活动及工期影响的分析

当出现进度偏差时，除要分析产生的原因外，还需要分析此种偏差对后续活动产生的影响。偏差的大小以及此偏差所处位置，对后续活动及工期的影响程度是不相同的：

##### 1) 当进度偏差体现为某项工作的实际进度超前

非关键工作提前非但不能缩短工期，可能还会导致资源使用发生变化，管理稍有疏忽甚至能打乱整个原定计划，给管理者的协调工作带来麻烦。

对关键工作而言，进度提前可以缩短计划工期，但由于上述原因实际效果不一定好。因此，当进度计划执行中有偏差体现为进度超前，若幅度不大不必调整，当超前幅度过大必须调整。

##### 2) 当进度偏差体现为某项工作的实际进度滞后

此种情况下是否调整原定计划通常应视进度偏差和相应工作总时差及自由时差的比较结果而定。根据网络计划原理定义的工作时差概念可知，当实际进度滞后，是否对进度计划作出调整的具体情形分述如下：

- ①若出现进度偏差的工作为关键工作，势必影响后续工作和工期，必须调整。
- ②若出现进度偏差的工作为非关键工作，且滞后工作天数超过其总时差，会

使后续工作和工期延误，必须调整。

③若出现进度偏差的工作为非关键工作，且滞后工作天数超过其自由时差而未超过总时差，不会影响工期，只有在后续工作最早开工不宜推后情况下才进行调整。

④若出现进度偏差的工作为非关键工作，且滞后工作天数未超过其自由时差，对后续工作和工期无影响，不必调整。

### 3、施工进度的调整

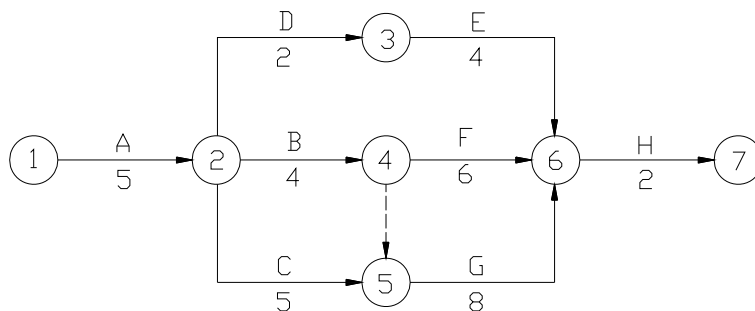
#### (1) 基本策略

- 赶工
- 在目前的进度基础上仍然按照原计划安排后继工作

#### (2) 赶工措施

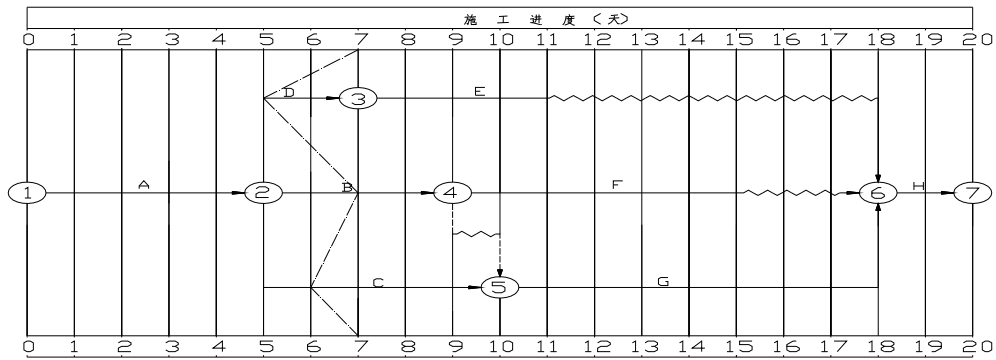
- 增加资源投入
- 重新分配资源
- 减少工作范围。
- 改善设工具以及提高劳动效率
- 通过辅助措施和合理的工作过程提高劳动效率
- 分包
- 改变活动的逻辑关系
- 修改施工方案

【例】已知双代号时标网络计划计划，如图所示，在第七天检查网络计划执行情况时，发现 A 已完成，B 已工作 2 天，C 已工作 1 天，D 尚未开始。据此绘出实际进度前锋线，并填写网络计划检查结果分析表。



【解】(1) 按工作最早时间绘制早时标网络计划。

(2) 在早时标网络计划中，根据检查情况，用点划线将各过程的实际进度自上而下连接，绘出实际进度前锋线，如图所示



(3) 实际进度与计划进度进行比较，分析预测偏差后续工作及总工期的影响

- 1) B工作与原进度计划相一致，既无提前，也无拖后；
- 2) C工作实际进度拖后1天，而C工作位于关键线路上，不存在机动时间，总时差为0，因此，C工作的拖延将直接引起工期拖延1天；
- 3) D工作实际进度拖后2天，而D工作位于非关键线路上，存在7天总时差，因此D工作实际进度拖后并不影响总工期，只是导致紧后工作E退后开工时间，但仍还有5天机动时间可利用。

综上所述，目前实际进度拖延一天，若不采取措施，将使总工期较原计划推后1天。