



第三单元 / Part 3

# 工程进度控制的 网络计划技术

《工程师职业素养》课程组

# Part 3 工程进度的网络计划

## 内容

3.1 网络计划图

3.2 网络计划时间参数

3.3 时标网络计划

3.4 网络计划优化方法

3.5 工程项目进度控制案例



## 3.1 网络计划图

### 网络计划原理

- 首先把所要做的工作，哪项工作先做，哪项工作后做，各占用多少时间，以及各项工作之间的相互关系等运用网络图的形式表达出来；
- 其次通过简单的计算，找出哪些工作是关键，哪些工作不是关键的，并在原来计划方案的基础上，进行计划的优化。
- 最后是组织计划的实施，并且根据变化了的情况，搜集有关资料，对计划及时进行调整，重新计算和优化，以保证计划执行过程中自始至终能够最合理地使用人力、物力，保证多快好省地完成任务。

## 3.1 网络计划图

### 网络计划图

- 基本思想是应用网络计划图来表示工程项目中计划要完成的各项工作，完成各项工作必然存在先后顺序及其相互依赖的逻辑关系；这些关系用节点和箭线来构成网络图。
- 网络图从左到右绘制，表示工作进程，并标注工作名称、代号和工作持续时间等必要信息。通过对网络计划图进行时间参数的计算，找出计划中的关键工作和关键路线；通过不断改进网络计划，寻求最优方案。

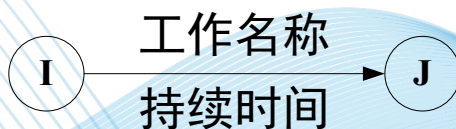


## 3.1 网络计划图

### 绘图符号和术语

- (1) 工作（活动、工序、作业）
- 任何一项计划，都包含许多项待完成的工作。在网络图中，工作用箭线(弧)表示。箭尾表示工作的开始，箭头表示工作的完成。箭头的方向表示工作的前进方向（从左向右）。工作的名称或内容写在箭线的上面，持续时间写在箭线的下面。

#### 双代号网络计划图



# 3.1 网络计划图

## 绘图符号和术语

### ➤ (2) 节点

- 节点表示工作之间的联结。在时间上它表示指向某节点的工作全部完成后，该节点后面的工作才能开始。
- 节点用圆圈表示，圆圈中编上整数号码。
- 对于某项工作来说，紧接在其箭尾节点前面的工作，是其**紧前工作**，紧接在其箭头节点后面的工作是其**紧后工作**；和它同时进行的工作称为**平行工作**。

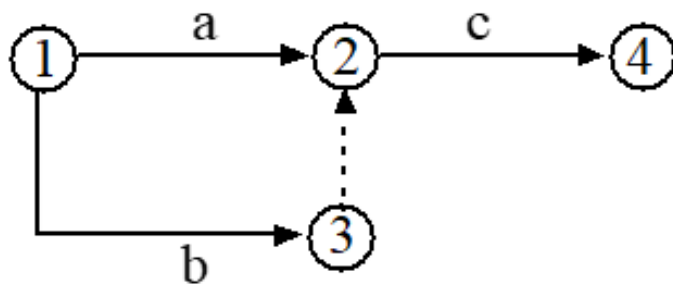


## 3.1 网络计划图

### 绘图符号和术语

#### ➤ (3) 虚工作

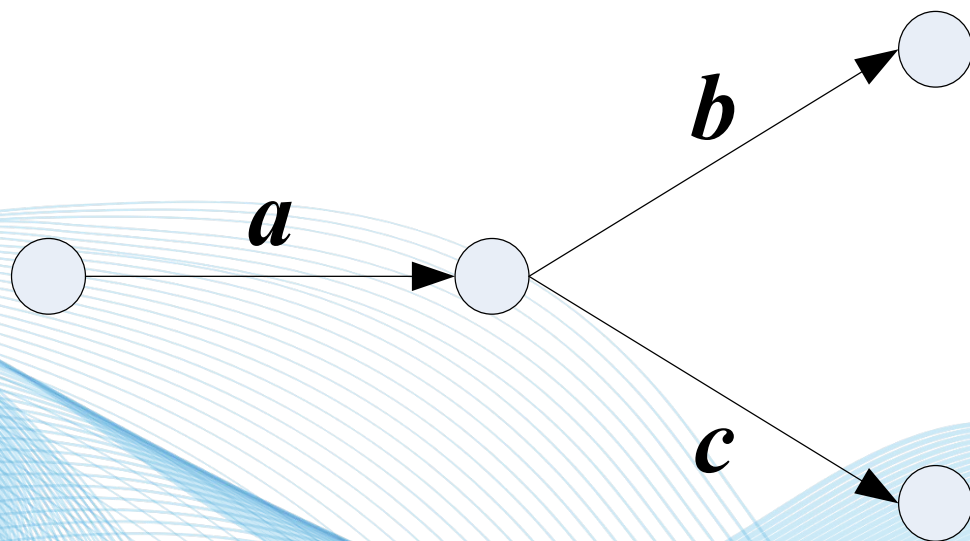
➤ 虚工作仅仅表示工作之间的先后顺序，用虚线箭线表示，它的持续时间0。



## 3.1 网络计划图

### 网络图表达方式

- (1) 工作a 结束后才可以开始b 和c。

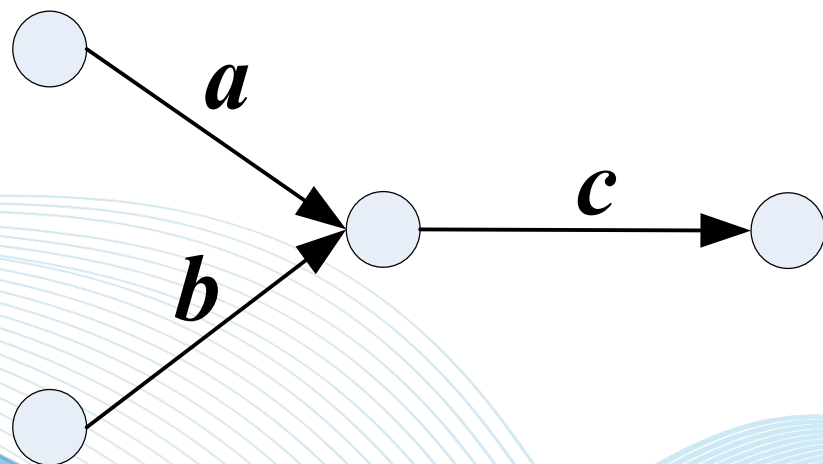




## 3.1 网络计划图

### 网络图表达方式

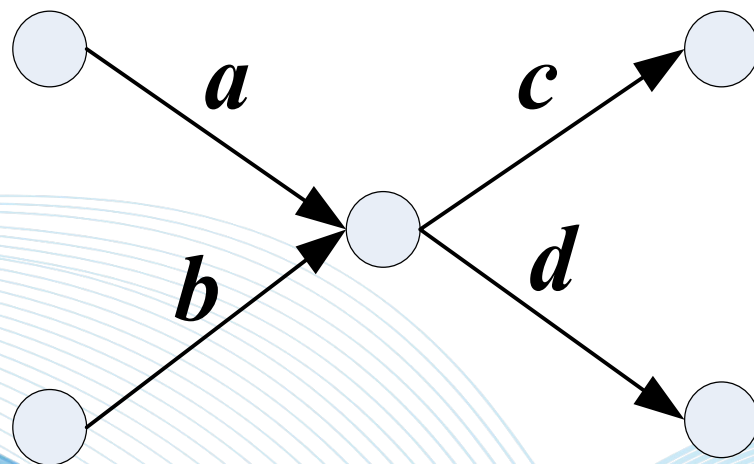
➤ (2) 工作c在a和b均结束后才能开始。



## 3.1 网络计划图

### 网络图表达方式

- (3) a和b 两作工序均结束后才可以开始c 和d。

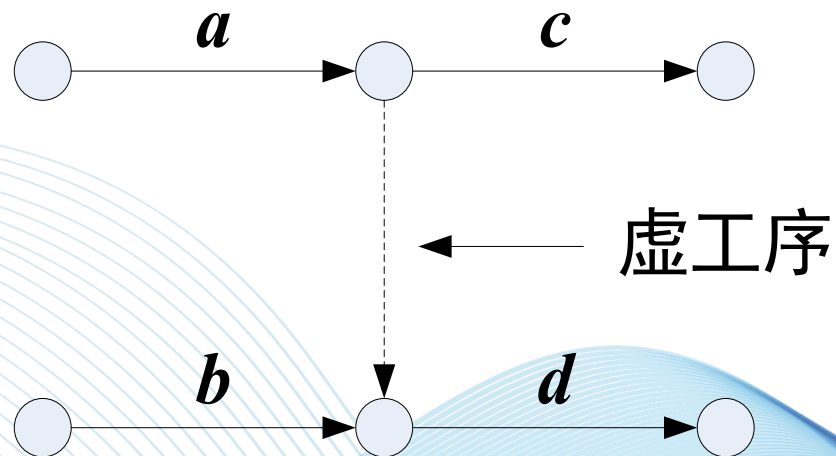




## 3.1 网络计划图

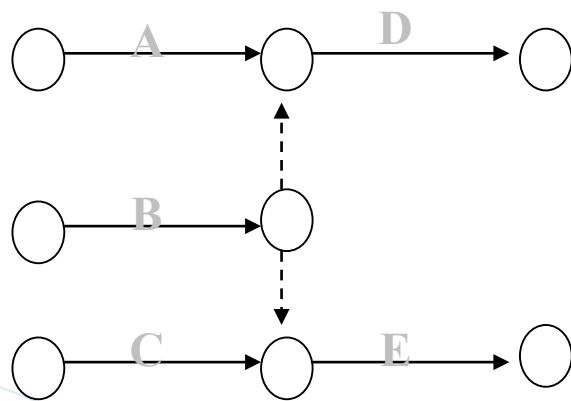
### 网络图表达方式

- (4) 工作c在a结束后即可进行，但工作d必须同时在a和b结束后才能开始。



## 3.1 网络计划图

网络图表  
达方式



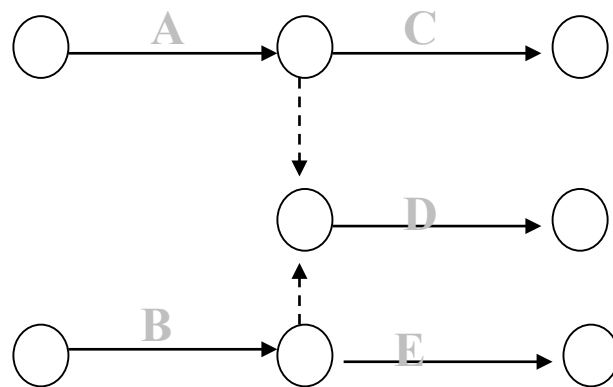
A、B都完成→D

B、C都完成→E



## 3.1 网络计划图

网络图表  
达方式

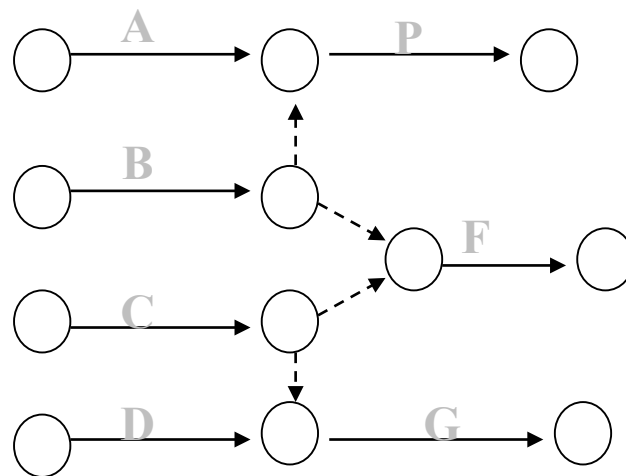


A完成→C  
B完成→E  
A、B都完成→D

## 3.1 网络计划图

### 网络图表达方式

- 1) P的紧前工作为A、B
- F的紧前工作为B、C
- G的紧前工作为C、D

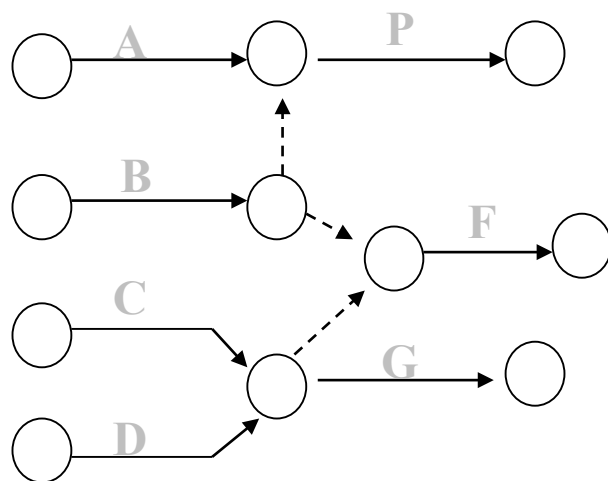




## 3.1 网络计划图

### 网络图表达方式

- 2) P的紧前工作为A、B
- F的紧前工作为B、C、D
- G的紧前工作为C、D



## 3.1 网络计划图

### 绘图规则

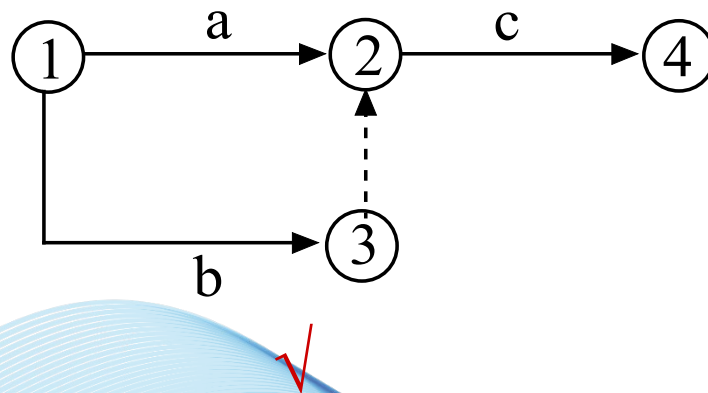
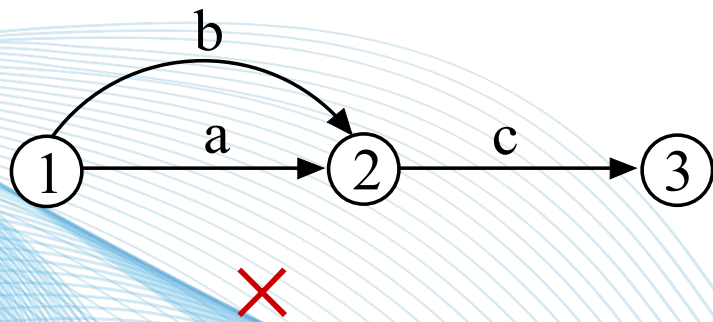
- (1) 起点和终点 为了表示工程的开始和结束，网络图只能有一个起点和一个终点。
- (2) 方向与节点 网络图是有向图，按照工艺流程的顺序，规定工作从左向右排列。
- (3) 虚工作 虚工作，用虚线箭线表示。它表示工时为零，不消耗任何资源的虚构工作。其作用只是为了正确表示工作间的先后次序关系。



## 3.1 网络计划图

### 绘图规则

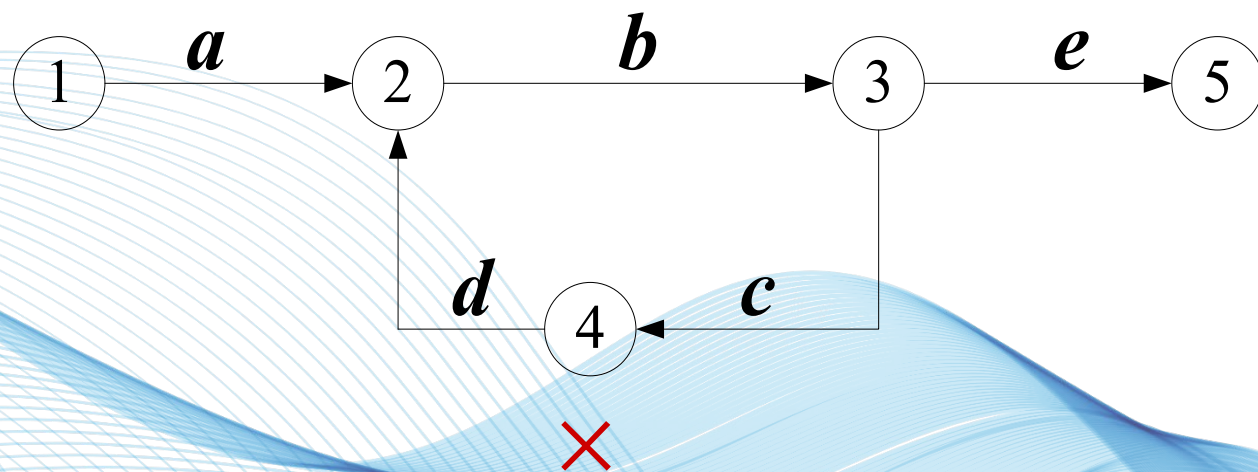
- (4) 两个节点之间不能有两道或两道以上的工作。即两个节点只能表示一道工序，否则将造成逻辑上的混乱。



## 3.1 网络计划图

### 绘图规则

- (5) 网络图中不能有缺口和回路。有缺口，将使某些工作失去与其紧前或紧后工作应有的联系；有回路，将使组成回路的工作永远不能结束，工程永远不能完工。

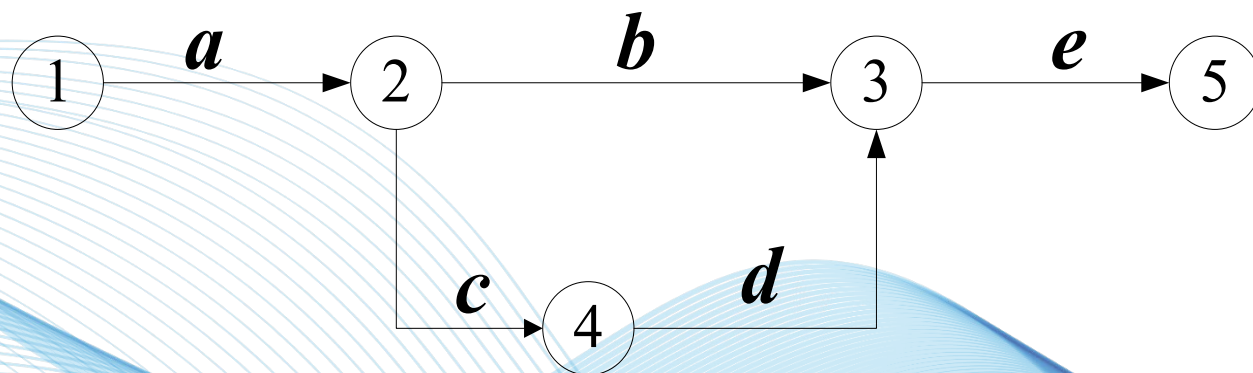




## 3.1 网络计划图

### 绘图规则

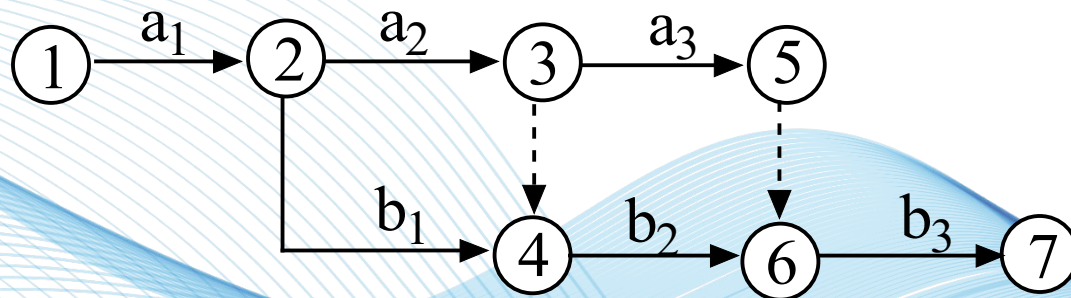
- (6) 平行作业 为缩短工程的完工时间，在条件允许的情况下，某些工作可以同时进行，即可采用平行作业的方式。如下图中的工作b,c,d。



## 3.1 网络计划图

### 绘图规则

- (7) 交叉作业 对需要较长时间才能完成的一些工作，在工艺流程与生产组织条件允许的情况下，可以不必等待该工作全部结束后再转入其紧后工序，而是分期分批的转入。这种方式称为交叉作业。交叉作业可以缩短工程的完工时间。如工作A与工作B分别为挖沟和埋水管，可以挖一段埋一段，不必等沟全部挖好后再埋。这种关系可以用交叉作业来表示，如果把这两项工作各分为三段，则  $A=a_1+a_2+a_3$ ， $B=b_1+b_2+b_3$ ，如下图所示。





## 3.1 网络计划图

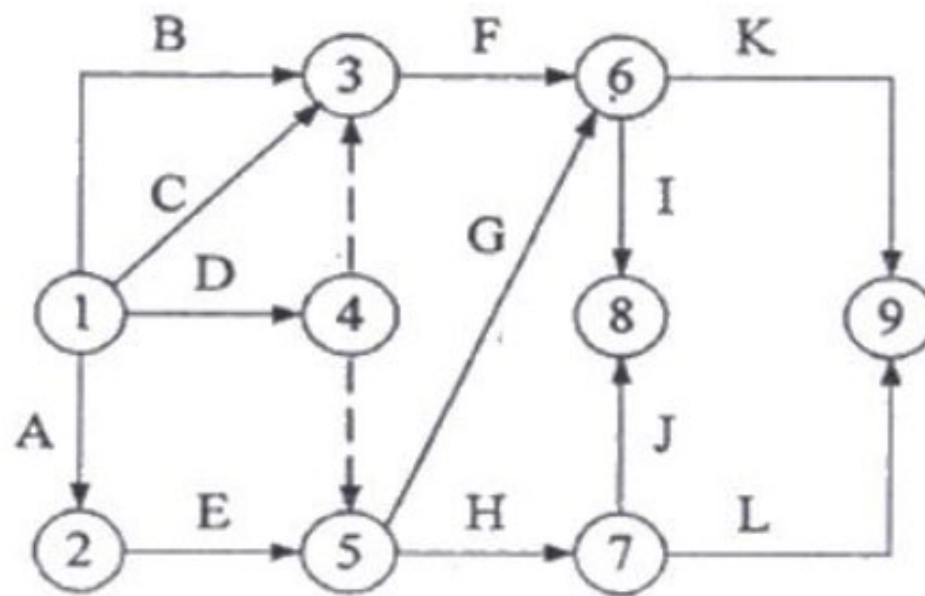
### 绘图规则

- (8) 网络图布局 网络图中尽可能将关键路线布置在中心位置(什么是关键路线? 后面介绍), 将联系紧密的工作布置在相近的位置。为了使网络图清楚和便于在图上填写有关数据, 箭线尽量用水平线或具有一段水平线的折线。

## 3.1 网络计划图

### 网络图错误

- (1) 8、9两个终点节点，故错误；
- (2) 错在一对节点（1和3）表示了两项工作（B、C工作）
- (3) 节点3、4编号顺序错误。

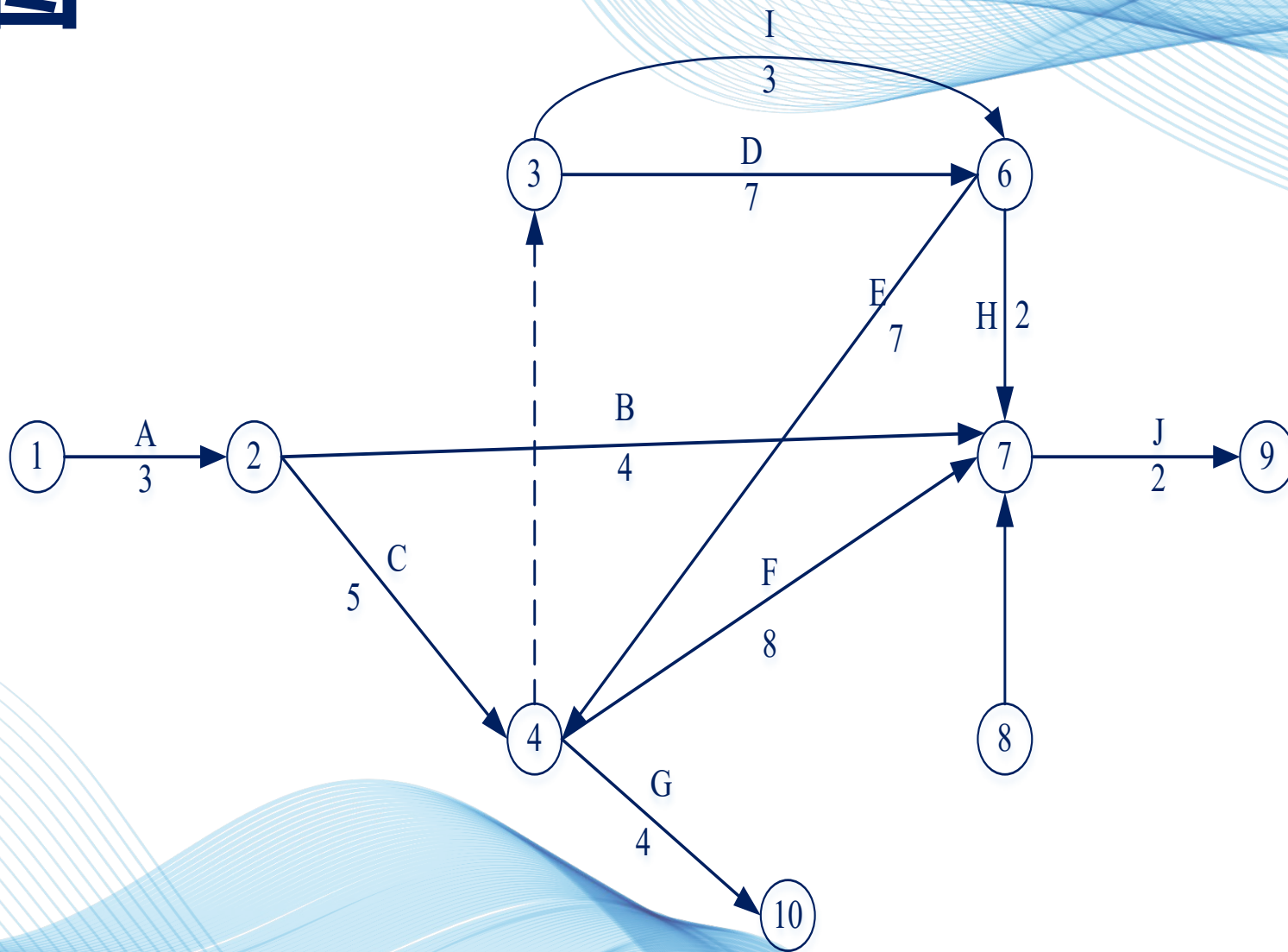




## 3.1 网络计划图

### 网络图错误

- (1) 两个起始节点1、8
- (2) 两个终止节点9、10
- (3) 3、6两个节点之间不止一项工作
- (4) 3、6、4节点之间工作有环形
- (5) 6、4、7节点之间工作有环形
- (6) 4、3节点间的虚工作是多余的



## 3.1 网络计划图

### 绘图步骤

- (1) 将一个任务分解成若干个工作（工序）；
- (2) 分析这些工作之间的关系；
- (3) 在前两步的基础上，遵循前边的绘图规则作出网络图。



## 3.1 网络计划图

### 实例

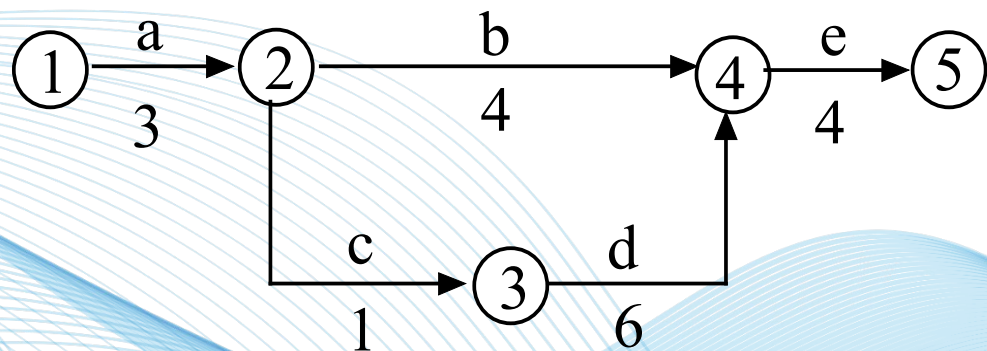
➤例1 某项建筑工程的部分工作与所需时间以及它们之间的关系如下表所示。

工 作	工作代号	所需时间（周）	紧前工作
详细设计	a	3	/
材料采购	b	4	a
招聘工人	c	1	a
主体工程	d	6	c
上 顶	e	4	b,d

## 3.1 网络计划图

### 实例

- 步骤1、2可用上表表示。
- 根据表所示的工作及它们之间的关系可作出网络图。





## 3.1 网络计划图

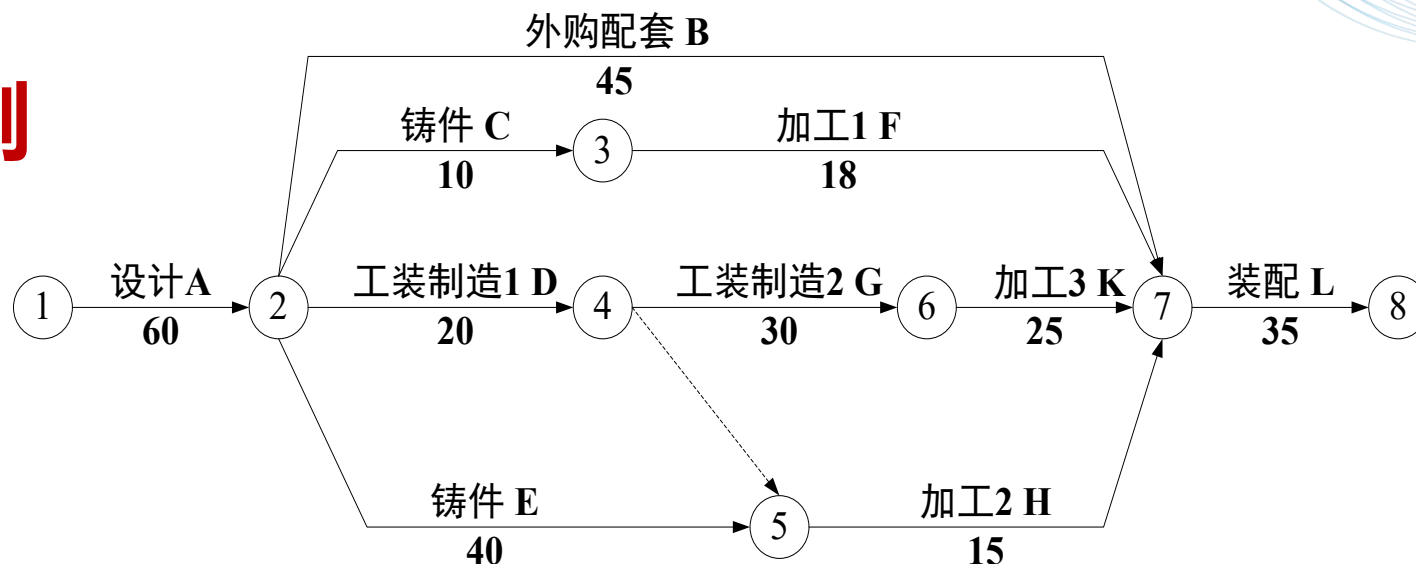
### 实例

- 例2 某项研制新产品工程的各个工作与所需时间及它们之间的相互关系见下表。作出该项工程的网络计划图。

工 作	代号	时间	紧后	工 作	代号	时间	紧后
产品设计	A	60	BCDE	机械加工1	F	18	L
外购配套件	B	45	L	工装制造2	G	30	K
下料、锻件	C	3	F	机械加工2	H	15	L
工装制造1	D	20	GH	机械加工3	K	25	L
木模、铸件	E	40	H	装配调试	L	35	/

## 3.1 网络计划图

### 实例



网络图中的虚工作④⑤表示在D工作结束后H工作才能开始。

工 作	代号	时间	紧后	工 作	代号	时间	紧后
产品设计	A	60	BCDE	机械加工1	F	18	L
外购配套件	B	45	L	工装制造2	G	30	K
下料、锻件	C	3	F	机械加工2	H	15	L
工装制造1	D	20	GH	机械加工3	K	25	L
木模、铸件	E	40	H	装配调试	L	35	/



## 3.1 网络计划图

画出下列表对应的网络计划图

工作	A	B	C	D	E	F
紧前工作	——	——	A	A、B	D	C、D

工 作	代号	时间	紧后	工 作	代号	时间	紧后
产品设计	A	60	BCDE	机械加工1	F	18	L
外购配套件	B	45	G	工装制造2	G	30	K
下料、锻件	C	3	F	机械加工2	H	15	L
工装制造1	D	20	GH	机械加工3	K	25	L
木模、铸件	E	40	HK	装配调试	L	35	/

# Part 3 工程进度的网络计划

## 内容

3.1 网络计划图

3.2 网络计划时间参数

3.3 时标网络计划

3.4 网络计划优化方法

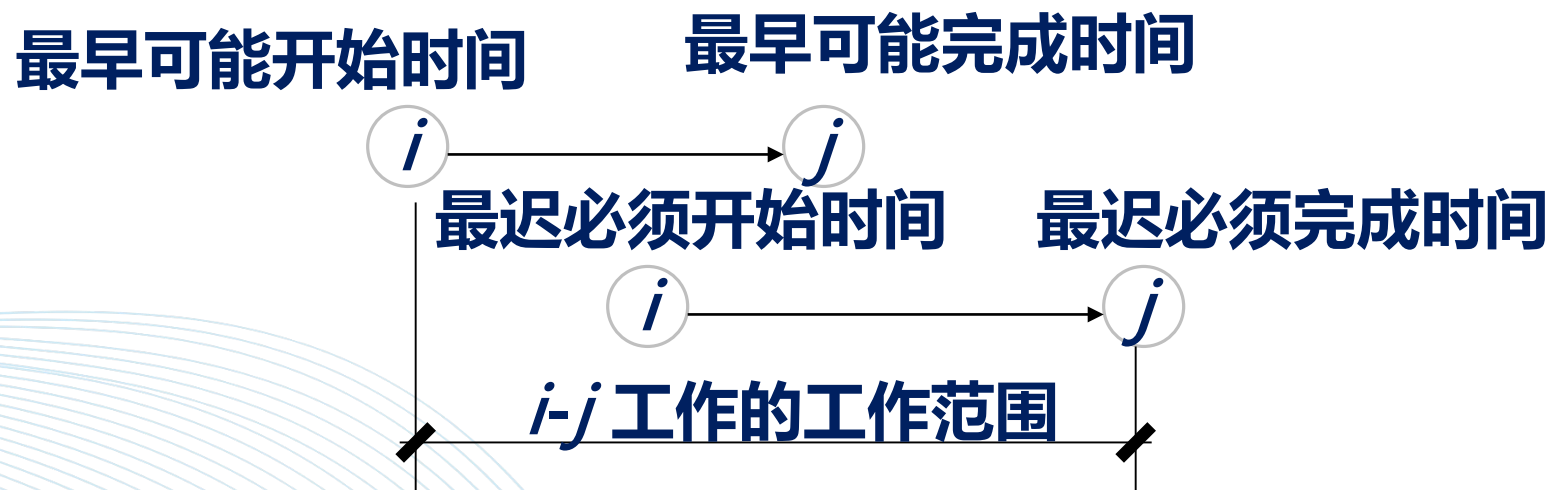
3.5 工程项目进度控制案例



## 3.2 网络时间参数

- **定义：**在网络图中，从始点开始，按照各个工序的顺序，连续不断地到达终点的一条路称为**路线**。而这样的路线往往有多条，称其中时间最长的路线为**关键路线**（CP），关键路线上的工作称为**关键工作**。
- **整个工程所需的最短时间就等于关键路线所需的时间，因此关键工序完工时间的提前或拖延就直接影响了整个工程的完工时间。**

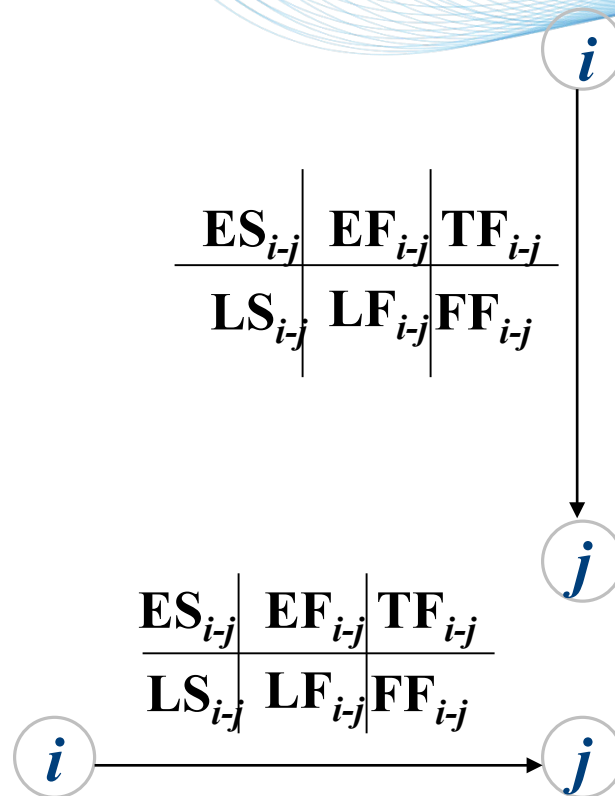
## 3.2 网络时间参数





## 3.2 网络时间参数

- 第一类、最早时间参数：
  - ——是限制紧后工作提前的时间参数。
- 第二类、最迟时间参数：
  - ——是限制紧前工作推迟的时间参数。
  - 1) 最早可能开始时间:  $ES_{i-j}$
  - 2) 最早可能完成时间:  $EF_{i-j}$
  - 3) 最迟必须开始时间:  $LS_{i-j}$
  - 4) 最迟必须完成时间:  $LF_{i-j}$
  - 5) 总时差:  $TF_{i-j}$
  - 6) 自由时差:  $FF_{i-j}$



## 3.2 网络时间参数

- (1)、工作最早开始时间ES和工作最早完成时间EF
- 由于任一工作只能在其所有的紧前工作结束之后开始，如果某项工作有多项紧前工作，则只有在这些紧前工作都完成后，本项工作才能开始。因此本项工作的最早开始时间是：
  - $ES = \max(\text{紧前工作的} EF)$ 。
  - 其中， $EF = ES + \text{工作持续时间} D$ 。表示为：
    - $ES_{i-j} = \max h(EF_{h-j}) = \max h(ES_{h-j} + D_{h-j})$
- 任一工作的最早开始时间等于其所有的紧前工作最早完成时间中的最大值。



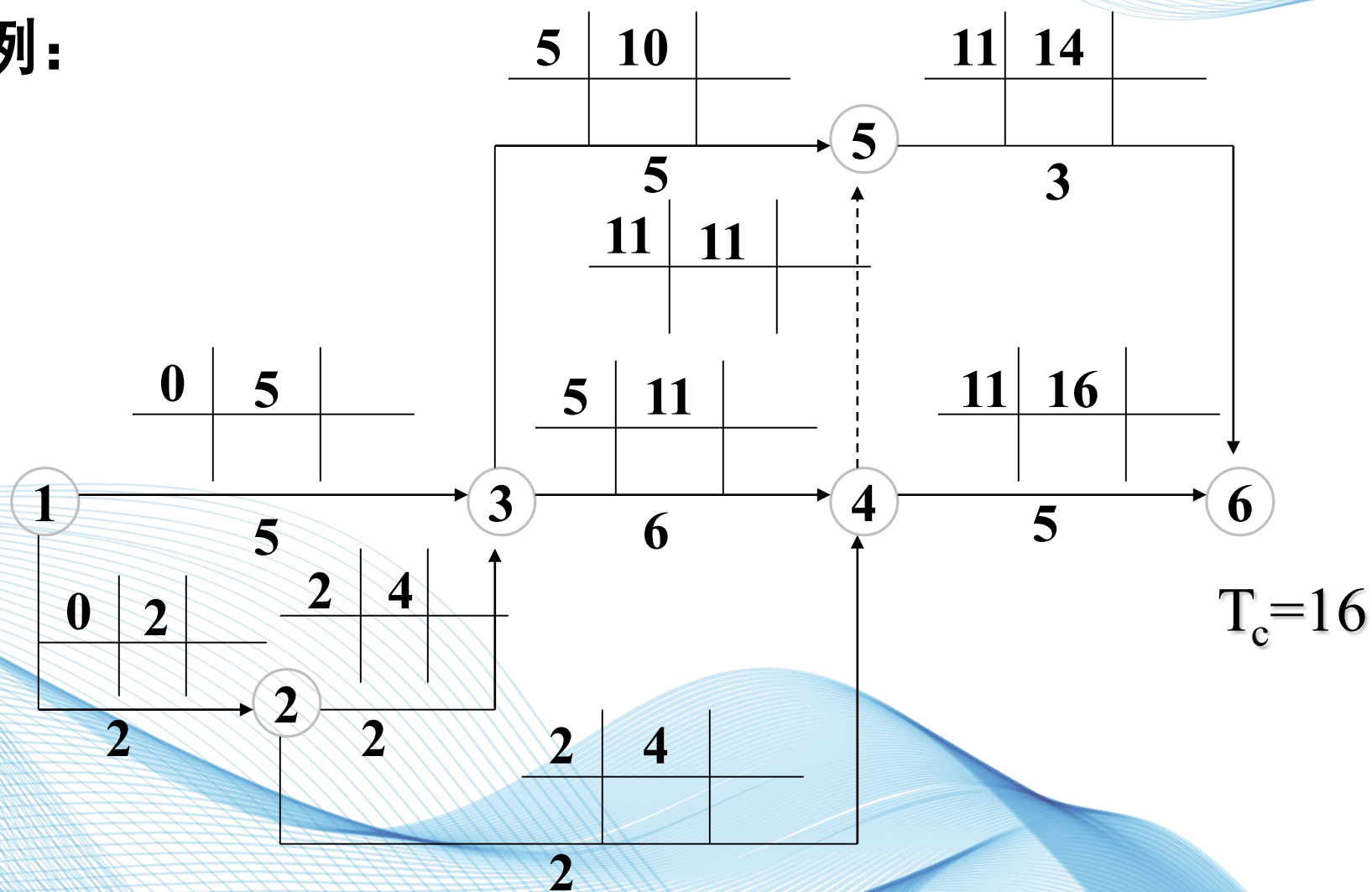
## 3.2 网络时间参数

- 最早开始时间的计算应从网络的始点开始，按网络图箭头的方向，计算各工作的 $ES$ 和 $EF$ 。
- 第一项工作的最早开始时间为0，记为 $ES_{i-j}=0$ （起始点 $i=1$ ）。第一项工作的最早完成时间为 $EF_{1-j}=ES_{1-j}+D_{1-j}$ 。第一项工作完成后，其紧后工作才能开始。
- 前一项工作的最早完成时间 $EF$ 就是其紧后工作最早开始时间 $ES$ 。本工作的持续时间为 $D$ 。表示为：

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

## 3.2 网络时间参数

例：





## 3.2 网络时间参数

### (2)、工作最迟开始时间 $LS$ 和工作最迟完成时间 $LF$

- 最迟完成时间的计算从网络的终点开始，从右向左反向进行。
- 网络图中最后一项工作 $(i-j)(j=n)$ 的最迟完成时间应由工程的计划工期确定。如果没有给定，则可以令其等于最早完成时间，即 $LF_{i-n}=EF_{i-n}$ 。若 $EF_{i-n}$ 的结果已经出来了，并且应当小于或等于计划工期规定的时间 $T_r$ 。
- 最迟开始时间是它的最迟完成时间减去该工作的持续时间之差。 $LS=LF-$ 工作持续时间 $D$

## 3.2 网络时间参数

当有多个紧前工作时，在不影响整个工程的最早完工时间的条件下，任一工作的最迟完成时间等于其所有紧后工作的最迟开始时间中的最早时间。

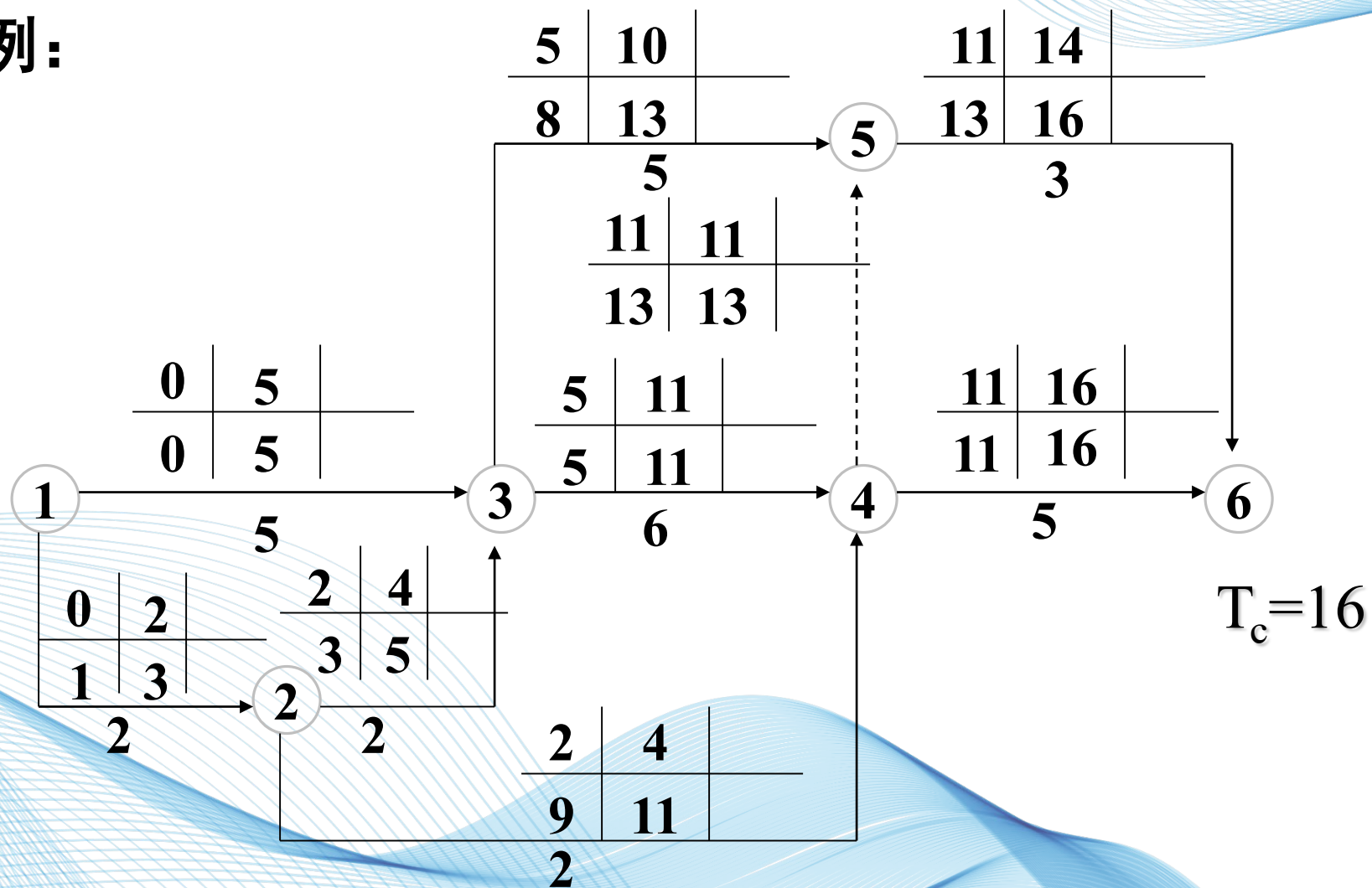
$LF = \min(\text{紧后工作的} LS)$ ，或表示为：

$$LF_{i-j} = \min_k (LF_{j-k} - D_{j-k})$$



## 3.2 网络时间参数

例：



## 3.2 网络时间参数

### (3)、工作时差

工作时差是指工作有机动时间。常用的有两种时差：工作总时差和工作自由时差。

#### (A) 工作总时差 $TF_{i-j}$

$TF_{i-j}$ 是指在不影响工期的前提下，工作所具有的机动时间，按工作计算法计算。

$$TF_{i-j} = EF_{i-j} - ES_{i-j} - D_{i-j} = LS_{i-j} - ES_{i-j}; \text{或 } TF_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j}$$

**注意：**工作总时差往往为若干项工作共同拥有的机动时间。



## 3.2 网络时间参数

### (B) 工作自由时差 $FF$

工作自由时差是指：在不影响其紧后工作最早开始的前提下，工作所具有的机动时间。

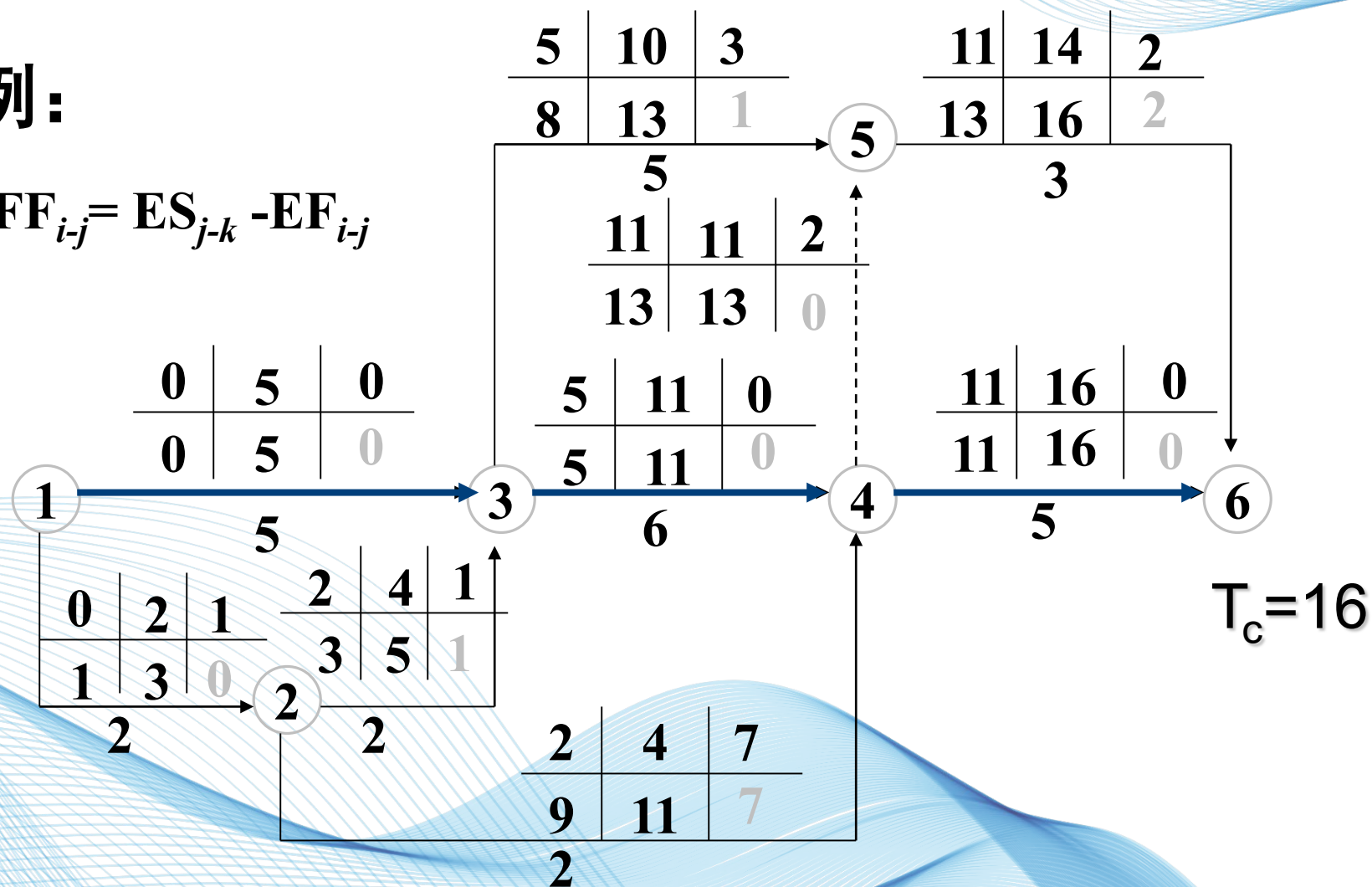
工作自由时差是某项工作单独拥有的机动时间，其大小不受其它工作机动时间的影响。

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - ES_{i-j} - D_{i-j}; \text{或 } FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j}$$

## 3.2 网络时间参数

例：

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



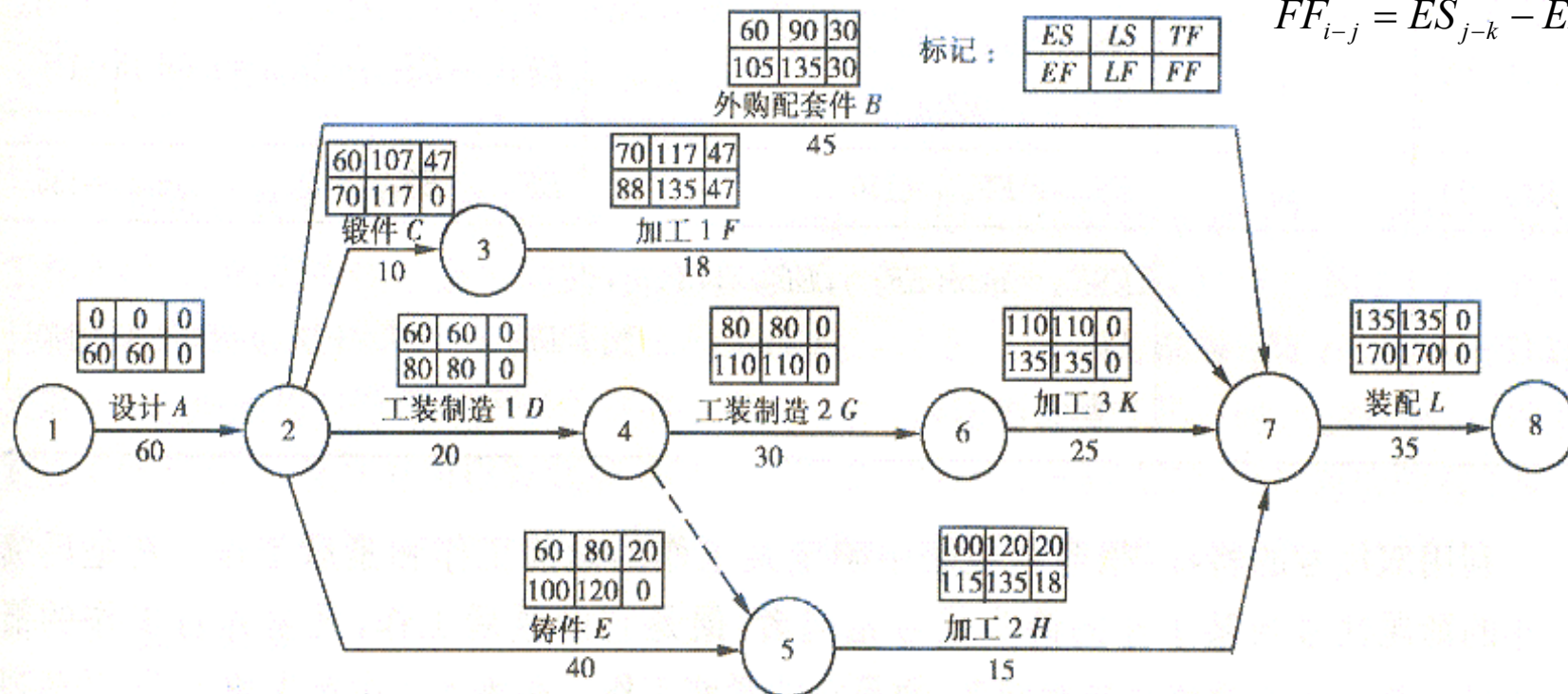


## 3.2 网络时间参数

例2的计算结果。

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

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



## 3.2 网络时间参数

**关键路线的特征：在线路上从起点到终点都是由关键工作组成。**

**在确定型网络计划中是指线路中工作总持续时间最长的线路。  
在关键线路上无机动时间，工作的总时差为零。**

**在非确定网络计划中是指估计工期完成可能性最小的线路。**



# Part 3 工程进度的网络计划

## 内容

3.1 网络计划图

3.2 网络计划时间参数

3.3 时标网络计划

3.4 网络计划优化方法

3.5 工程项目进度控制案例

## 3.3 时标网络计划

### 概念

以时间坐标为尺度绘制的网络计划。

### 特点

- (1)、具有横道图的优点，便于按天统计资源。
- (2)、具有网络计划的优点，能分清关键工作和非关键工作。

### 绘制方法

- (1)、计算节点的最早时间参数，绘制时标网络计划的方法。
- (2)、不经任何计算，直接绘制时标网络计划的方法。



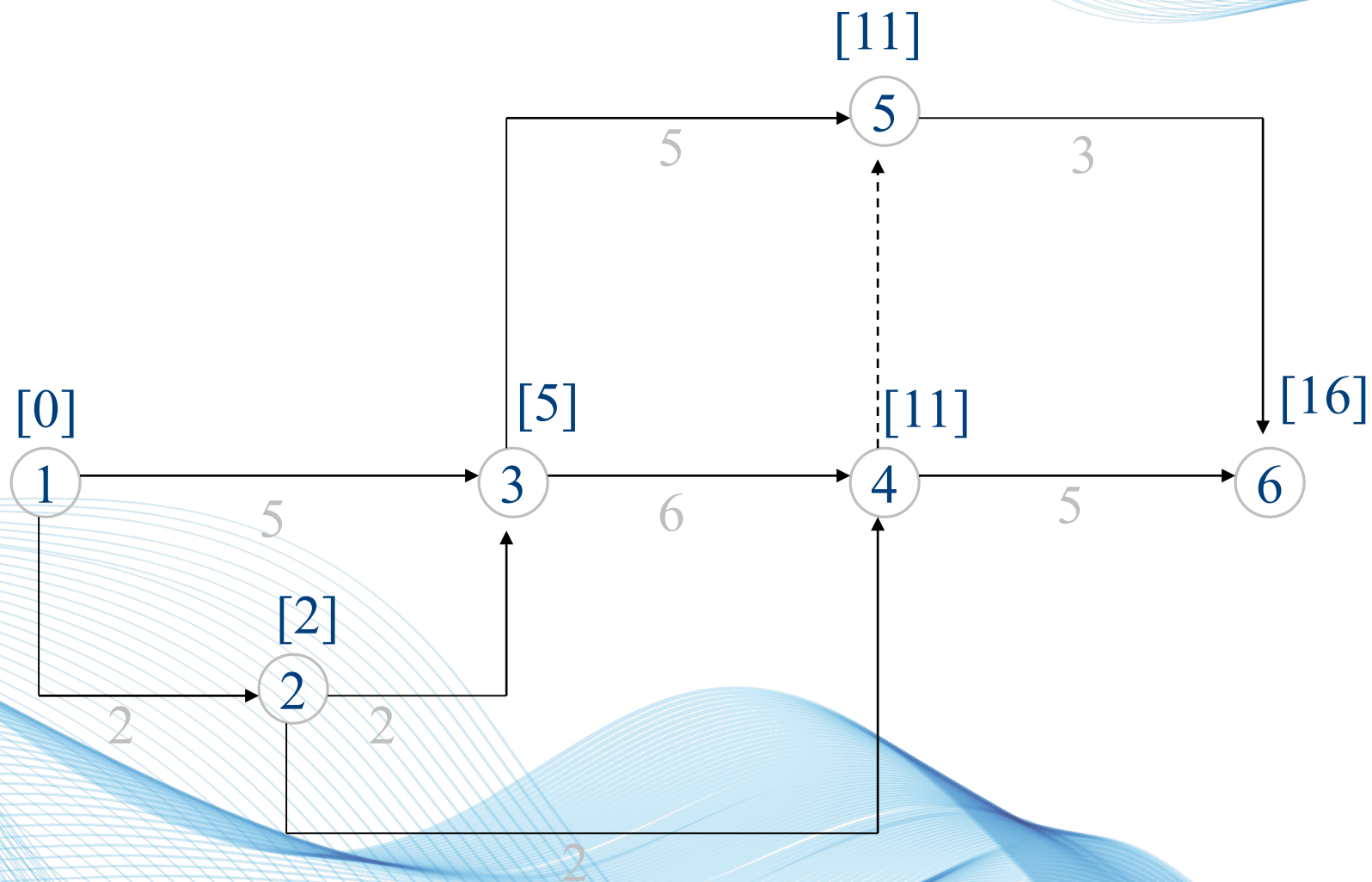
## 3.3 时标网络计划

### 计算最早时间参数绘制时标网络计划

- (1) 计算网络计划节点的最早时间参数;
  - (2) 根据节点的最早时间参数, 在进度计划表中, 定节点的位置。
  - (3) 根据工作的具体时间, 连接节点间的箭线, 如果箭线长度小于节点间的距离, 则补波形线, 波线的长度即为该工作的自由时差。
  - (4) 确定网络计划的关键线路。
- 条件: 从终节点逆着箭线到起点节点的连线; 且 $FF=0$ 的工作。

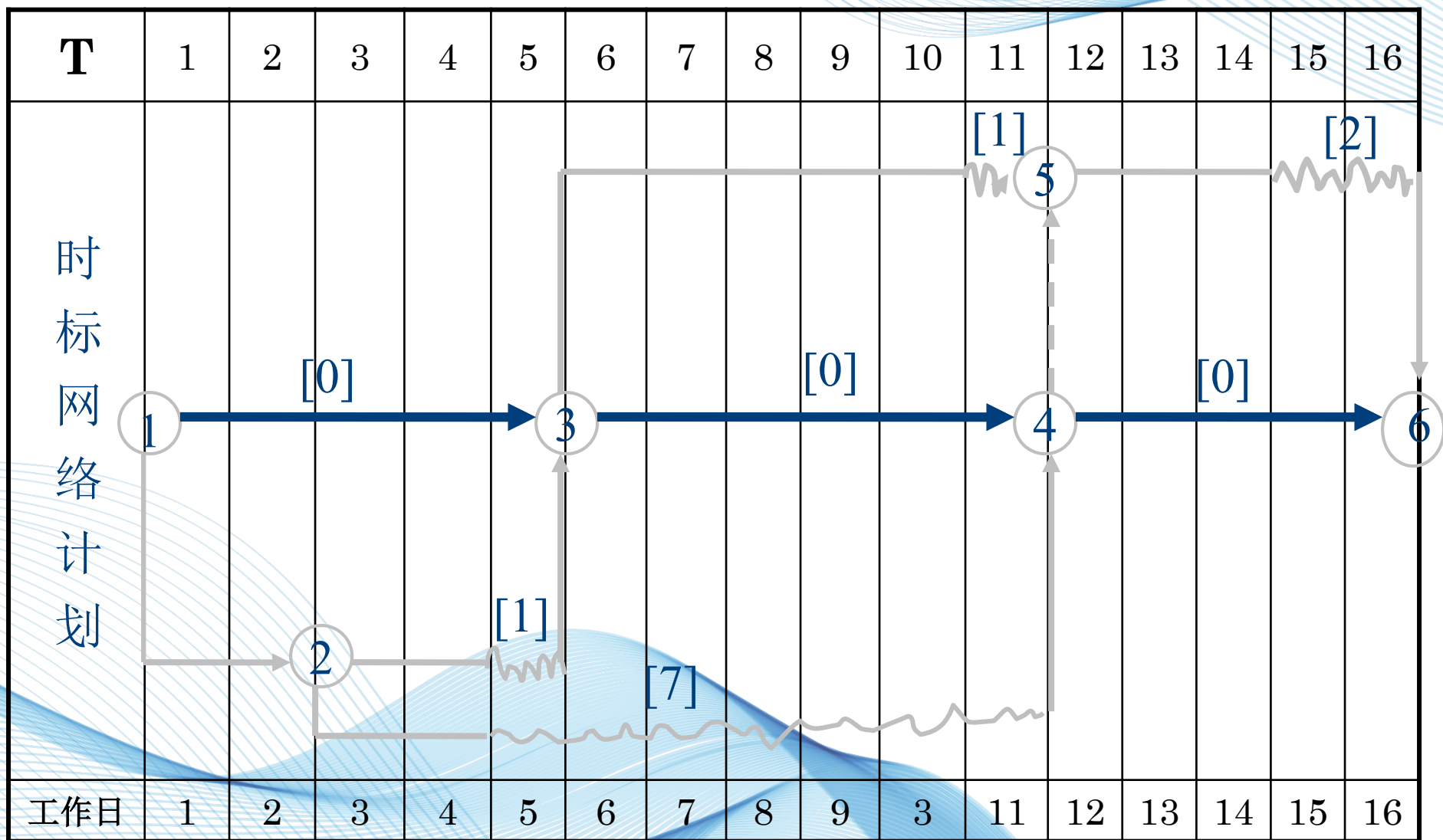
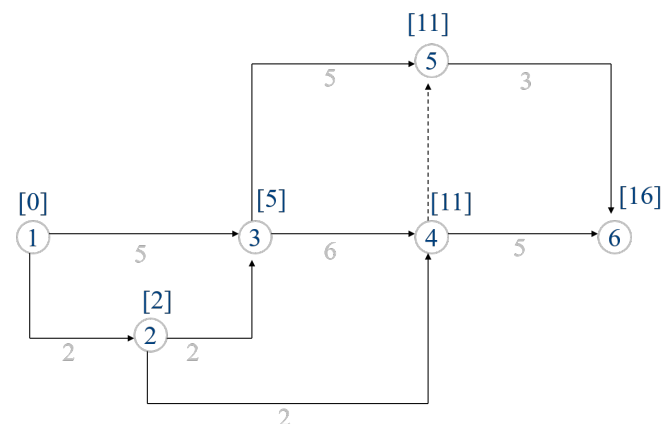
## 3.3 时标网络计划

• 例:





## 3.3 时标网络计划



## 3.3 时标网络计划

### 时标网络计划的识读

- (1) 最早时间参数:  $ES_{i-j}=ET_i$ ——开始节点所在位置
- $EF_{i-j}=ES_{i-j}+D_{i-j}$ ——实线长
- (2) 计算工期:
- $T_C=ET_n$ ——终节点所在位置
- (3) 自由时差:
- $FF_{i-j}$ ——波形线的长度
- (4) 总时差:
- $TF_{i-j}=FF_{i-j}+\min[TF_{j-k}]$
- (5) 最迟时间参数:
- $LS_{i-j}=ES_{i-j}+TF_{i-j}$
- $LF_{i-j}=EF_{i-j}+TF_{i-j}$



# Part 3 工程进度的网络计划

## 内容

3.1 网络计划图

3.2 网络计划时间参数

3.3 时标网络计划

3.4 网络计划优化方法

3.5 工程项目进度控制案例

## 3.4 网络计划优化方法

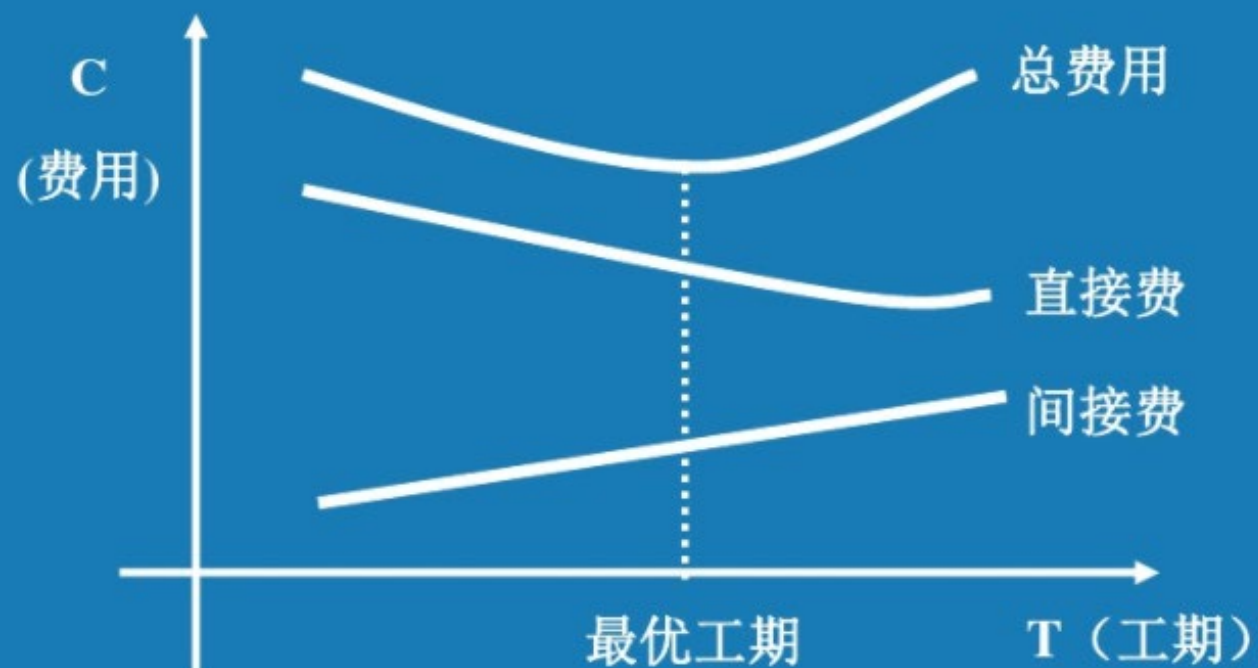
### 工程总费用分类

- **直接费用：**指直接用于完成某项工程任务的费用（如直接人工、材料、能源等费用）。
- **间接费用：**指间接用于某项工程的服务费用（如管理费、固定资产折旧等）。



## 3.4 网络计划优化方法

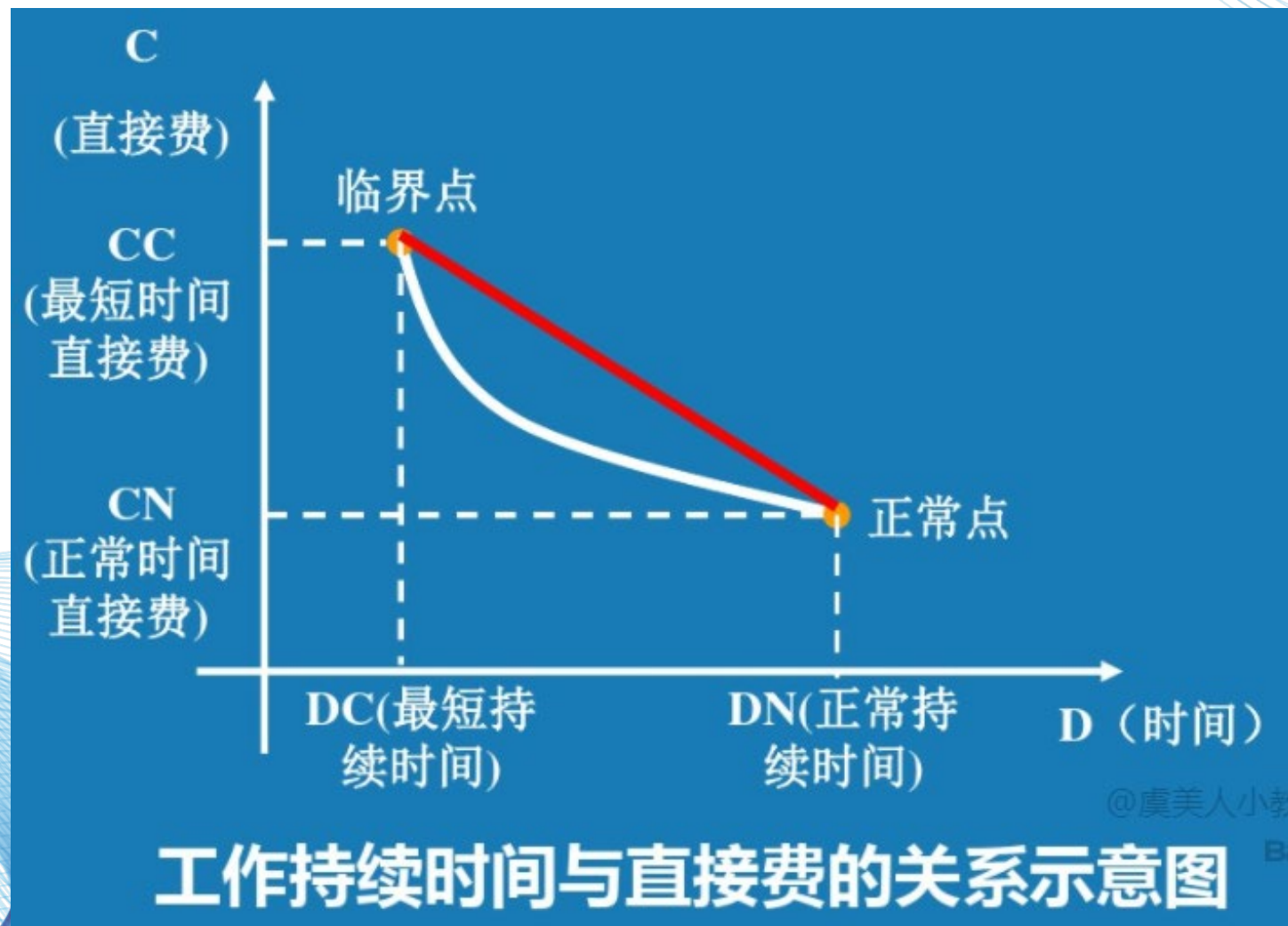
工程总费用 = 直接费 + 间接费



@虞美人

工期 - 费用关系示意图

## 3.4 网络计划优化方法





## 3.4 网络计划优化方法

### 最低成本日程

- 直接费用是随着各**工序时间**的变化而变化的；间接费用则与各工序没有直接关系，在一定条件下只和**工程时间**长短有关，工程时间越长，总的间接费用越大。
- 缩短工程时间要采取一定的组织和技术措施，因而要增加直接费用，而间接费用减少。
- 计算最低成本日程，就是考察在缩短工程周期时，**间接费用的节约量是否大于直接费用的增加量**，当缩短工程完工期一个单位时间时，如果直接费用增加量小于间接费用节约量则继续缩短工期，**而当上述二量相等时达到最大（满意），即取得最低成本日程。**

## 3.4 网络计划优化方法

### 赶工费用

- 总成本由直接费用与间接费用相加得到，通过计算网络计划的不同完工期相应的总费用，以求得**成本最低的日程安排就是时间费用优化**。
- 通常把直接费用与工序时间的关系假定为直线关系。
- 赶工时间是指将某工序的时间从正常状态慢慢加以缩短直至无法再缩短时的工作时间，在赶工时间内工序所需直接费用为赶工费用。工序的直接费用增长率可以用公式表示为：

$$\text{费用增长率} = \frac{\text{赶工费用} - \text{正常直接费用}}{\text{正常时间} - \text{赶工时间}}$$

- 如果间接费用已经确定则工程总费用完全决定于如何确定直接费用与工期的最优关系。



## 3.4 网络计划优化方法

### 时间—费用优化

在全部工序都取正常工序时间并计算出网络图的关键路线、工程周期和相应的直接费用增长率以后，**逐次压缩费用增长率较小的关键工序的延续时间（不超过赶工时间）**，达到以增加最少的费用来缩短工期的目的。

## 3.4 网络计划优化方法

### 时间—费用优化

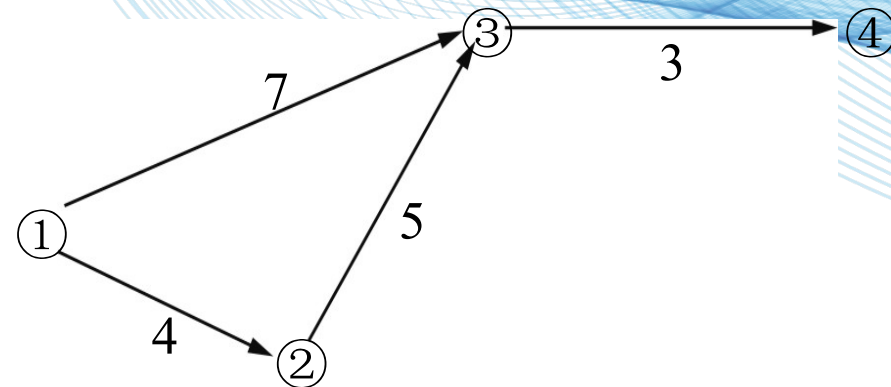
在压缩网络图时，应按照以下原则进行：

- ① 压缩**关键路线**上**费用增长率最小**的工序时间，达到以增加最少的费用来缩短工期。
- ② 在选择压缩某项工序的作业时间时，既要满足工序费用—时间的变化限制，又要考虑网络中和该工序并列各工序时差数的限制，而取这两个限制的最小值。
- ③ 当网络图由于不断压缩而出现数条关键路线时，继续压缩工期，**需要同时缩短这数条线路**，仅缩短一条不会达到缩短工期的目的。



## 3.4 网络计划优化方法

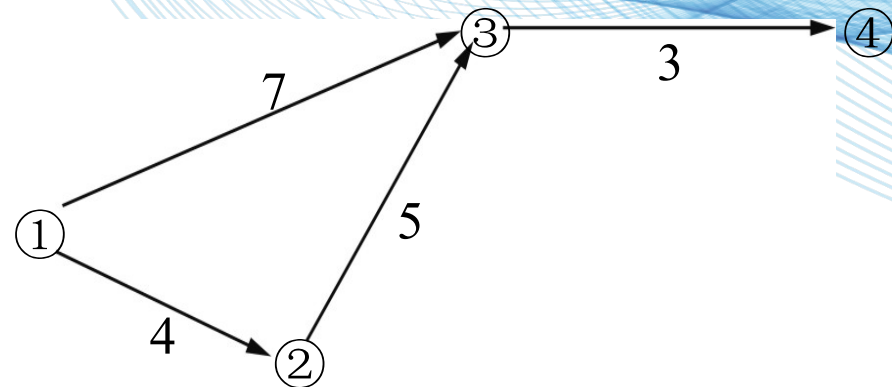
例：已知某工程的网络图及有关资料如下，已知该工程间接费用为300元/天，试求该工程的最低成本工期。



工 序	正常耗时/天	赶工耗时/天	正常直接费用/ $10^2$ 元	赶工费用/ $10^2$ 元	费用增长率/ $(10^2\text{元/天})$
①→②	4	2	12	20	4
①→③	7	3	15	19	1
②→③	5	2	8	14	2
③→④	3	1	10	18	4

## 3.4 网络计划优化方法

工 序	正常/赶工耗时	正常直接费用	赶工费用	费用增长率
①→②	4/2	1200	2000	400
①→③	7/3	1500	1900	100
②→③	5/2	800	1400	200
③→④	3/1	1000	1800	400

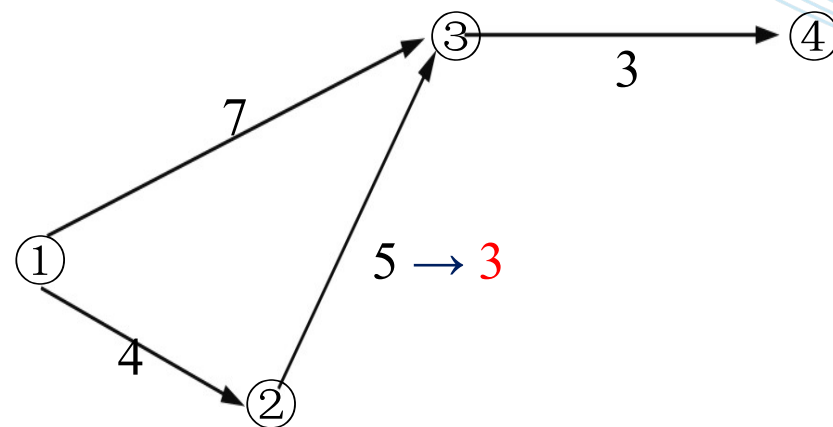


(1) 工程正常作业工期为12天, 所需费用为 $C = \text{正常直接费用} + \text{赶工增加的费用} + \text{间接费用} = 4\,500 + 0 + 300 \times 12 = 8100$  (元)



## 3.4 网络计划优化方法

工 序	正常/赶工耗时	正常直接费用	赶工费用	费用增长率
①→②	4/2	1200	2000	400
①→③	7/3	1500	1900	100
②→③	5/2	800	1400	200
③→④	3/1	1000	1800	400

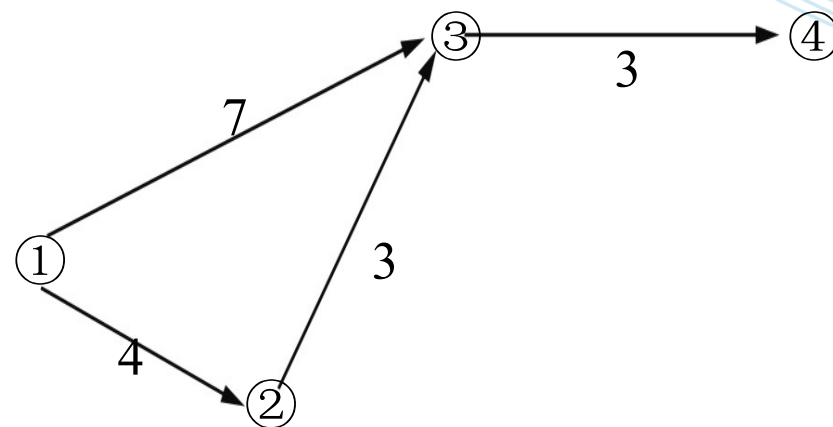


(2) 分析关键路线①→②→③→④可知，以②→③的费用增长率最低，每赶工一天增加200元，故先缩短②→③的工序时间。

该方案所需总费用： $4500+200\times 2+300\times 10=7900$ （元）

## 3.4 网络计划优化方法

工 序	正常/赶工耗时	正常直接费用	赶工费用	费用增长率
①→②	4/2	1200	2000	400
①→③	7/3	1500	1900	100
②→③	5/2	800	1400	200
③→④	3/1	1000	1800	400



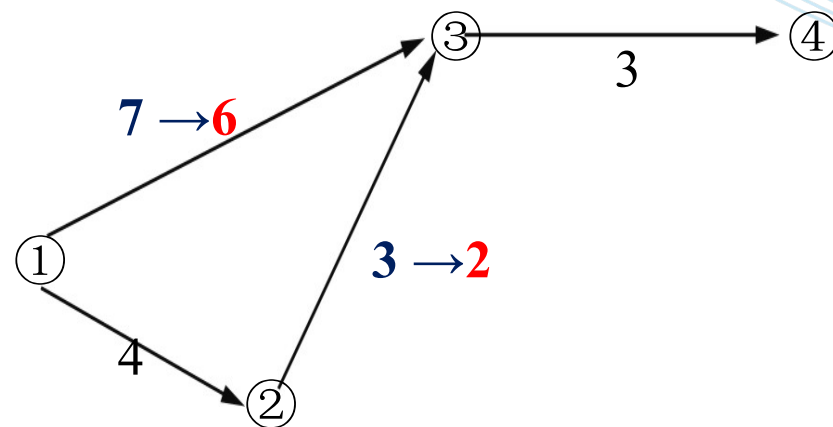
接下来有两条关键路线，如要缩短工期则有三种方式可供选择，即

- ① 缩短工序③→④，1天花费400
- ② 缩短工序①→③和工序①→②，1天花费500；
- ③ 缩短工序①→③和工序②→③，1天花费300。



## 3.4 网络计划优化方法

工 序	正常/赶工耗时	正常直接费用	赶工费用	费用增长率
①→②	4/2	1200	2000	400
①→③	7/3	1500	1900	100
②→③	5/2	800	1400	200
③→④	3/1	300	1800	400



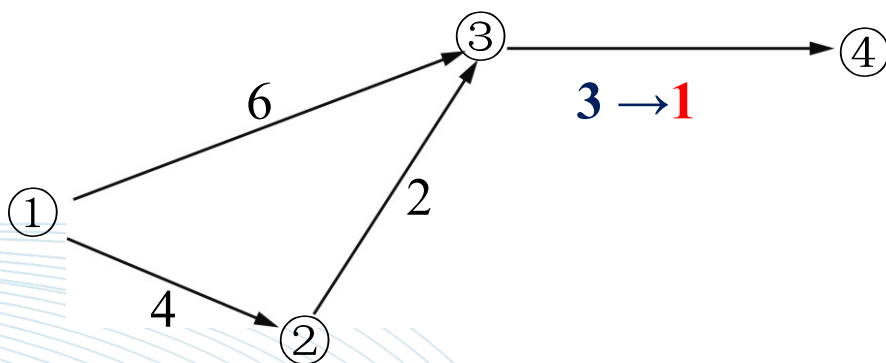
可见，以赶工①→③和②→③所需费用最低，而②→③仅有1天可赶，如图所示。

该方案工程总费用=4 500+(100+200×3)+300×9=7900（元）

## 3.4 网络计划优化方法

经以上改善后，以工序③→④赶工较经济，且还可赶工2天，如图所示。该方案所需费用=  $4500+(100+200\times 3+400\times 2) + 300\times 7=8100$

此时费用增大了，故该工程应以工期9天完成为最优。



由以上例子可知，随着工程完工时间的缩短，直接费用增加，间接费用降低，工程总费用是这两项费用的总和。在不同的赶工方案中，最低工程费用所对应的工程完工期就是最优计划方案。



# Part 3 工程进度的网络计划

## 内容

3.1 网络计划图

3.2 网络计划时间参数

3.3 时标网络计划

3.4 网络计划优化方法

3.5 工程项目进度控制案例

## 3.5 工程项目进度控制案例

# 缆索机器人项目进度计划与控制

刘韶华. 缆索机器人项目进度计划与控制研究[D]. 哈尔滨工程大学.



# 缆索机器人进度管理

## 项目概况

国内外对斜拉桥缆索进行检测主要采用两种方法：一种是针对小型斜拉桥使用液压升降平台进行缆索检测；一种是利用预先装好的塔顶的吊点,用钢丝托动吊篮搭载工作人员沿缆索进行检测。

前一种方法的工作范围十分有限，后一种方法是许多斜拉桥采用的普遍方法。但采用人工方法进行高空作业不仅效率低、成本高，而且危险性大,尤其是在风雨天就更加危险。到目前为止，缆索检测、修复和涂装等维护作业很少全面开展，关键是采用吊篮等维护工具不仅效率低，而且安全性差、成本高，迫切需要缆索维护自动化。缆索机器人属于特种机器人研究范畴，与管外机器人具有一定程度的共性。但是到目前为止缆索机器人的应用还很少，主要原因就是缆索机器人产品的工程化水平还有待进一步提高。技术进步的步伐是任何人也阻挡不了的,可以预见随着缆索机器人的推广应用，可以极大地提高生产率、促进技术进步。随着理论研究的进一步深入以及经验的积累，缆索机器人的应用领域将更加宽广。

缆索机器人项目产品性能良好，其优势在于在吸收和借鉴国内外研究成果的基础上，采用一通讯,搭建以为核心的主从式监控系统，便于操作，同时在技术层面上保证了机器人的作业质量和作业安全性机器人本体与地面控制器间的通讯电缆数量只有两根，降低了设备的故障率整个机器人采用模块化设计方法，更换作业装置便可执行不同的作业任务，提高了机器人的性能价格比在夹紧机构的设计上采用了变刚度机械导向装置，可靠地保障了作业质量采用了同步机械式夹紧机构，机器人的操作精度高整体结构紧凑、布线合理美观,具有良好的竞争力和市场前景。

# 缆索机器人进度管理

## 项目内容及特点

**关键技术：**气动系统的组成，基于PLC的主从式监控系统，缆索机器人的本体设计。气动执行元件的顺序动作完全由程序自动控制。通过控制各电磁阀的得电失电改变气动回路的通断状态，从而控制各执行气缸，以实现缆索机器人的各种动作。

机器人本体控制系统和地面监控系统通过同轴视频电缆和一信号传输电缆进行信息交换，使缆索机器人本体控制系统和地面监控系统能保持协调工作。把可编程控制器用于机器人控制系统，利用PLC的通讯功能，搭建了监控式控制系统，在控制策略上保证了机器人本身具有很强的故障源自主判断和自主处理能力。

表3.1 国内外同类产品指标比较表

对比指标	电动缆索机器人	气动爬升式缆索机器人	气动蠕动式缆索机器人
姿态保持精度	缺少自动调整对心机构，对缆索适应性差，姿态保持精度低	采用分体独立气缸夹紧机构，对心精度难于保证。	既保证了机器人的缆径的适应性又极大地提高了机器人本体与缆径轴线的对中精度。
可靠性	无保护装置易滑落或故障时无法收回	通讯线缆多，气动回路复杂，故障点多，控制系统可靠性差；夹紧可靠性差	实现了远程监控，气动执行元件少，回路简单，总体可靠性高
爬升角度	0~60°	0~75°	0~90°
缆径适应性	差	较好	好
喷涂效果	有盲区	均匀性差	喷涂均匀，无盲区
探伤检测干扰	电机驱动的高频干扰影响探伤精度	无探伤干扰	无探伤干扰
整机成本	较低	较高	较高



# 缆索机器人进度管理

## 项目进度编制

根据缆索机器人项目的实际情况，利用网络计划技术来编制该项目的进度计划。

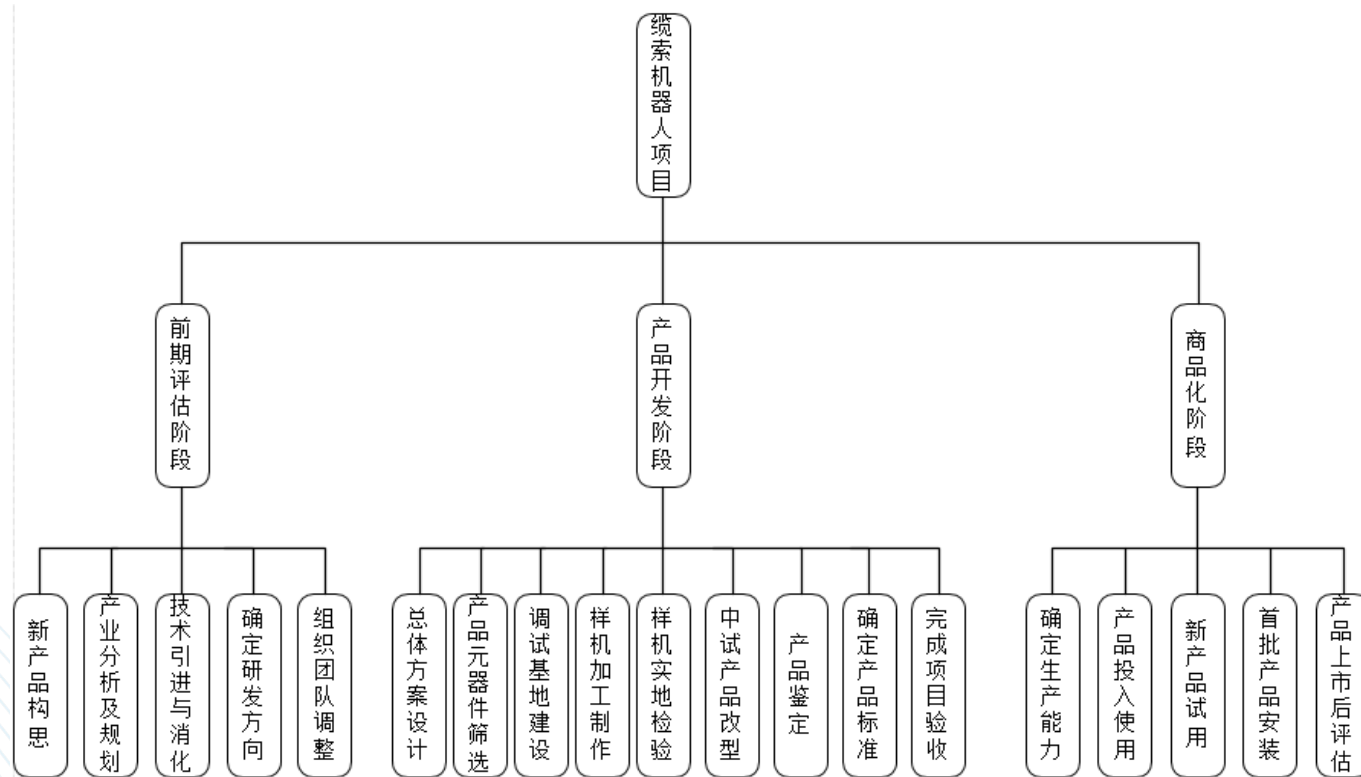
具体步骤为：

- (1) 进行项目工作结构
- (2) 分解制定缆索机器人项目作业关系表
- (3) 绘制项目甘特图
- (4) 绘制缆索机器人项目双代号网络图
- (5) 计算双代号网络图的六个时间参数
- (6) 确定关键路径
- (7) 根据单位时间应急成本压缩关键任务的工期
- (8) 制定优化后的项目作业关系表
- (9) 绘制优化后的缆索机器人项目双代号网络图
- (10) 确定优化后的关键路径
- (11) 绘制优化后的甘特图

# 缆索机器人进度管理

## 项目工作分解

**工作任务分解结构 (WBS)**是项目进度计划的基础，项目管理的所有方面都直接与相关。可用帮助项目经理从任务分解的角度，来验证项目的目标。所分解的最末端的任务,是项目所有工作的总和。



缆索机器人项目工作分解结构 (WBS) 图



# 缆索机器人进度管理

## 作业关系表

**1、分解工作任务。**将一个总的工作范围逐渐细分到合适的程度,以便对任务进行计划、执行和控制。

分解工作任务的基本原则：（1）根据项目的规模和复杂程度。（2）根据工作的详细程度。

**2、定义任务先后顺序。**确定了项目中要完成哪些任务以后，需要对这些任务之间的先后关系做出定义。

确定任务先后关系的原则是从逻辑关系到组织关系，具体为：

（1）确定逻辑关系：任务逻辑关系的确定相对比较容易，由于它是任务之间所存在的内在关系，通常是不可调整的，因此确定起来较为明确。

（2）确定组织关系：通常取决于项目管理人员的知识和经验，组织关系的确定对于项目的成功实施至关重要。

（3）外部制约关系的确定：在项目工作和非项目工作之间通常会存在一定的影响。因此，在项目任务计划的安排过程中也需要考虑到外部工作对项目工作的一些制约及影响。

在缆索机器人项目中,主要根据其技术特点确定各项任务关系。

**3、工期估算：**工期是指直接完成该任务所需时间与必要停歇时间之和。工期估算是指预计完成各任务所需时间长短，一般来说在项目团队中熟悉该活动特性的个人和小组可对工期所需时间做出估计。

工期估算的具体方法：

（1）专家判断：依赖于历史的经验和信息,当然其时间估计的结果也具有一定的不确定性和风险。

（2）类比估计：意味着以先前的实际项目的工作时间来推测估计当前项目各工作的实际时间，是最常用的方法。

# 缆索机器人进度管理

表3.2 缆索机器人项目作业关系表

代号	任务名称	工期	开始时间	完成时间	紧前任务
A	新产品构思与筛选	45	2007-11-12	2008-1-3	—
B	进行商业分析、营销战略规划、分析竞争情况及未来市场规划	34	2007-11-12	2007-12-27	—
C	技术引进与消化	57	2008-1-4	2008-3-24	A
D	确定研发方向与周期	23	2008-1-4	2008-2-5	A
E	组织团队调整	20	2007-12-28	2008-1-24	B
F	总体方案设计、模型优化设计、详细设计工作	33	2008-1-4	2008-2-19	A
G	原材料及新产品元器件的筛选	49	2008-2-20	2008-4-28	F
H	安装调试基地的建设	62	2008-3-25	2008-6-18	C

I	完成样机加工制作	85	2008-6-19	2008-10-2	D、E、H
J	样机调试与实地检验	37	2008-4-29	2008-6-18	G
K	中试产品改型设计	63	2008-6-19	2008-9-15	J
L	产品鉴定及资料归档	19	2008-10-3	2008-10-27	I、K
M	确定产品标准及规范	16	2008-10-3	2008-10-24	I、K
N	完成项目验收工作	22	2008-10-28	2008-11-21	L
O	确定生产能力	7	2008-10-3	2008-10-13	I、K
P	产品投入实际使用及用户反馈	30	2008-11-24	2009-1-2	M、N
Q	新产品试销和商品化	36	2008-11-24	2009-1-12	M、N
R	首批产品安装与调试	27	2009-1-5	2009-2-3	O、P
S	产品上市后评估	17	2009-2-4	2009-2-20	Q、R



# 缆索机器人进度管理

## 绘制双代号网络图

双代号网络图是一种用箭线表示工作、节点表示工作相互关系的网络图方法。在双代号网络图中，节点表示一个任务的开始或结束这样一个事件，而两个节点之间的箭线才表示一个任务，同时任务之间的逻辑关系通过节点来表示。调由于在双代号网络图中，两个节点对应一个任务，故称为双代号网络图。

双代号网络图绘制规则：

- (1)方向：从左到右排列。编号：号码不能重复，箭尾节点编号小于箭头结点编号。
- (2)紧前任务和紧后任务：表示任务之间的先后关系。
- (3)缺口与回路：不可中断，不可有缺口，不能有回路。
- (4)虚工作。只能说明工作之间的逻辑关系，虚工作用虚线表示。

# 缆索机器人进度管理

## 绘制双代号网络图

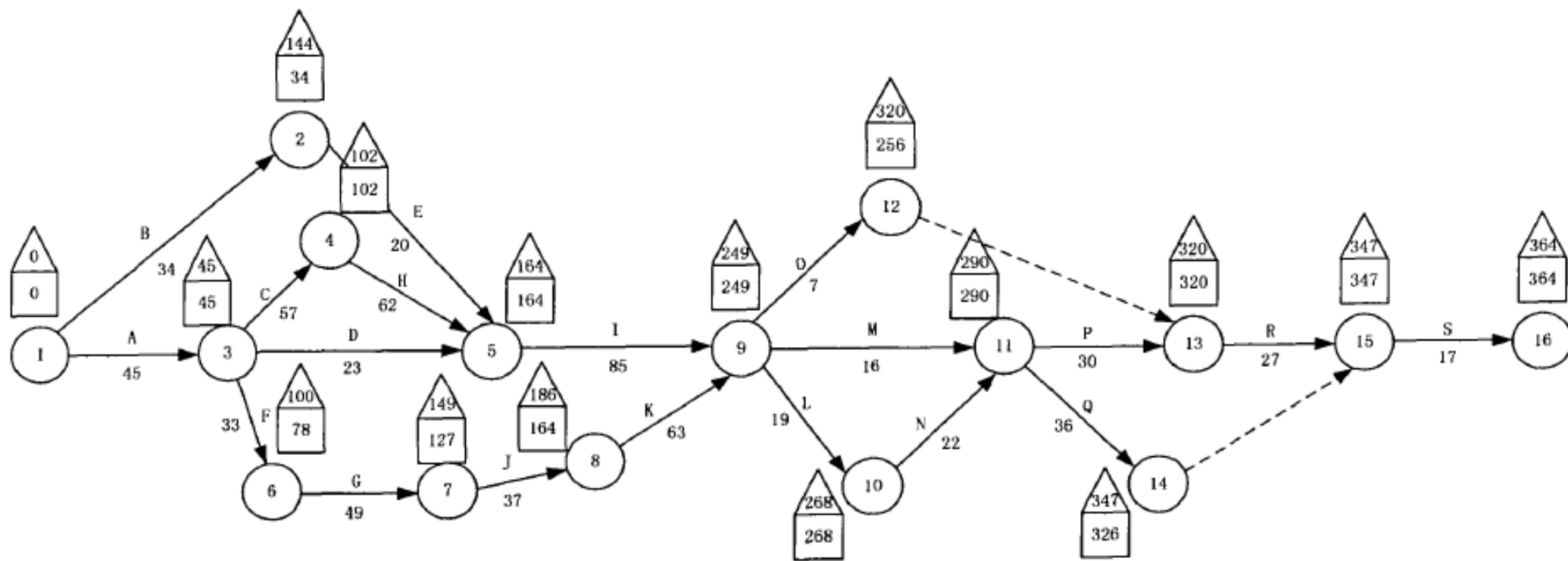


图3.3 缆索机器人项目双代号网络图



# 缆索机器人进度管理

## 确定关键路径

关键路径总时差为零的工作为关键任务，由关键任务构成的线路为关键路径。它是完成各个工序工作需要时间最长的线路，其完成的快慢直接决定整个项目的进度。在缆索机器人项目中,其关键路径为：A → C →H →I →L →N →P →R →S。

表3.3 缆索机器人项目双代号网络图时间参数表

代号	任务名称	工期	最早 开始 时间 ES	最早 结束 时间 EF	最迟 开始 时间 LS	最迟 结束 时间 LF	总时 差 TF	自由 时差 FF
A	新产品构思与筛选	45	0	45	0	45	0	0
B	进行商业分析、营销 战略计划、分析竞争 情况及未来市场规划	34	0	34	110	144	110	0
C	技术引进与消化	57	45	102	45	102	0	0
D	确定研发方向与周期	23	45	68	141	164	96	96
E	组织团队调整	20	34	54	144	164	110	110
F	总体方案设计、模型 优化设计、详细设计 工作	33	45	78	67	100	22	0
G	原材料及新产品元器 件的筛选	49	78	127	100	149	22	0
H	安装调试基地的建设	62	102	164	102	164	0	0
I	完成样机加工制作	85	164	249	164	249	0	0
J	样机实地检验	37	127	164	149	186	22	0
K	中试产品改型设计	63	164	227	186	249	22	22
L	产品鉴定及资料归档	19	249	268	249	268	0	0
M	确定产品标准及规范	16	249	265	274	290	25	25
N	完成项目验收工作	22	268	290	268	290	0	0
O	确定生产能力	7	249	256	313	320	44	64
P	产品投入实际使用及 用户反馈	30	290	320	290	320	0	0
Q	新产品试销和商品化	36	290	326	311	347	21	21
R	首批产品现场安装与 调试	27	320	347	320	347	0	0
S	产品上市后评估	17	347	364	347	364	0	0

# 缆索机器人进度管理

## 工期—成本优化

高新技术产品具有技术更新换代快、生命周期短的特点，企业只有不断地快速开发出新技术、新产品，才能在中市场中保持良好的竞争优势。从高新技术产品的价值构成看，其最大的特征是技术附加值高，但产品上市后价格将随着时间的增加而迅速降低。对于缆索机器人项目，在成本增长保持在可接受的范围以及确保产品质量的前提下，适当压缩工期，对于提高企业经济效益及产品竞争力具有重要意义。

工期—成本优化是综合考虑工期与成本两者的相互平衡关系，寻求以最低成本获得最短工期的过程，是一种用最低的成本增加来缩短项目工期的方法，即如何以可接受的最小成本的增加取得最大的工期时间的压缩。压缩工期通常导致成本的增加，而只有对关键路径的任务进行压缩才能缩短项目的工期。

工期—成本优化的目的，是寻求项目成本经济合理的最优工期，通过压缩那些使成本增加最少的任务工期，确定项目的最短完成时间。需要制定出最优网络计划方案，通过对项目工期与成本相互关系的定量分析，确定满足工期要求而成本最省的计划方案。为了实现这个目标，应该压缩关键路径上单位时间增加成本最低的工作。



# 缆索机器人进度管理

工期—  
成本优  
化

表 3.4 缆索机器人项目关键任务应急时间与应急成本

代号	任务名称	工期	应急时间 (天)	总成本(万 元)	应急成本 (万元)
A	新产品构思与筛选	45	39	2.7	3.37
C	技术引进与消化	57	51	52.3	55.6
H	安装调试基地的建设	62	57	78.6	85.2
I	完成样机加工制作	85	76	27.6	30.7
L	产品鉴定及资料归档	19	17	0.8	1.26
N	完成项目验收工作	22	19	2.1	2.65
P	产品投入实际使用及用户反馈	30	28	0.8	1.32
R	首批产品现场安装与调试	27	22	6.3	7.23
S	产品上市后评估	17	13	0.85	1.45

表 3.6 关键任务单位时间应急成本对应表

代号	工期	应急时间 (天)	时间差	总成本 (万元)	应急成本 (万元)	费用率 (万元/天)
A	45	39	6	2.7	3.37	0.11
S	17	13	4	0.85	1.45	0.15
R	27	22	5	6.3	7.23	0.17
N	22	19	3	2.1	2.65	0.18
L	19	17	2	0.8	1.26	0.23
I	85	76	9	27.6	30.7	0.35
C	57	51	6	52.3	55.6	0.55
P	30	28	2	0.8	1.32	0.83
H	62	57	5	78.6	85.2	1.32

表 3.5 关键任务单位时间应急成本对应表

代号	工期	应急时间(天)	时间差	总成本 (万元)	应急成本 (万元)	费用率 (万元/天)
A	45	39	6	2.7	3.37	0.11
C	57	51	6	52.3	55.6	0.55
H	62	57	5	78.6	85.2	1.32
I	85	76	9	27.6	30.7	0.35
L	19	17	2	0.8	1.26	0.23
N	22	19	3	2.1	2.65	0.18
P	30	28	2	0.8	1.32	0.83
R	27	22	5	6.3	7.23	0.17
S	17	13	4	0.85	1.45	0.15

拟压缩 29 天，确定压缩 A、S、R、N、L、I 线路，成本增加 6.31 万元

表 3.7 工期压缩与成本增加关系表

代号	压缩工期(天)	成本增加(万元)
A	6	0.67
S	4	0.6
R	5	0.93
N	3	0.55
L	2	0.46
I	9	3.1
合计	29	6.31

# 缆索机器人进度管理

## 工期—成本优化

表 3.8 优化后的缆索机器人项目作业关系表

代号	任务名称	工期	最早 开始 时间 ES	最早 结束 时间 EF	最迟 开始 时间 LS	最迟 结束 时间 LF	总时 差 TF	自由 时差 FF
A	新产品构思与筛选	39	0	39	0	39	0	0
B	进行商业分析、营销战略计划、分析竞争情况及未来市场规划	34	0	34	104	138	104	0
C	技术引进与消化	57	39	96	39	96	0	0
D	确定研发方向与周期	23	39	62	135	158	96	96
E	组织团队调整	20	34	54	138	158	104	104
F	总体方案设计、模型优化设计、详细设计工作	33	39	72	52	85	13	0
G	原材料及新产品元器件的筛选	49	72	121	85	134	13	0
H	安装调试基地的建设	62	96	158	96	158	0	0

I	完成样机加工制作	76	158	234	158	234	0	0
J	样机实地检验	37	121	158	134	171	13	0
K	中试产品改型设计	63	158	221	171	234	13	13
L	产品鉴定及资料归档	17	234	251	234	251	0	0
M	确定产品标准及规范	16	234	250	254	270	20	20
N	完成项目验收工作	19	251	270	251	270	0	0
O	确定生产能力	7	234	241	293	300	59	59
P	产品投入实际使用	30	270	300	270	300	0	0
Q	新产品试销和商品化	36	270	306	286	322	16	16
R	首批产品现场安装与调试	22	300	322	300	322	0	0
S	产品上市后评估	13	322	335	322	335	0	0



# 缆索机器人进度管理

## 工期—成本优化

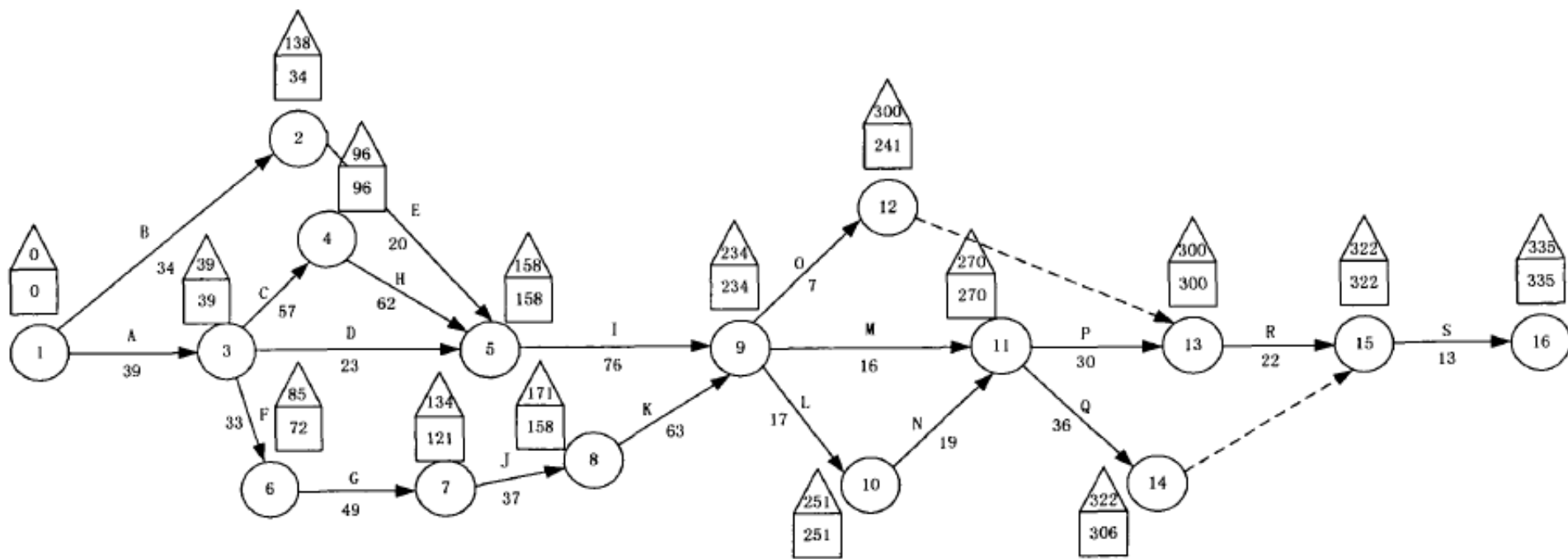


图 3.4 优化后的项目双代号网络图

# 缆索机器人进度管理

## 挣值分析法进度与成本控制

挣值分析是分析目标实施与目标期望之间差异的方法，又称为偏差分析法。挣值分析通过测量和计算已完成的工作的预算成本与已完成工作的实际成本和计划工作的预算成本得到有关计划实施的进度和成本偏差，达到判断项目预算和进度计划执行情况的目的。

挣值分析法在实际运用过程中，最理想的状态是ACWP（实际成本）、BCWS（预算成本）、BCWP（挣值）三条曲线靠得很近、平稳上升，表示项目按预定计划目标前进。如果三条曲线离散度不断增加，则预示可能发生关系到项目成败的重大问题。

经过对比分析，如果发现项目某一方面已经出现成本超支，或预计最终将会出现成本超支，则应将它提出并作进一步的原因分析。

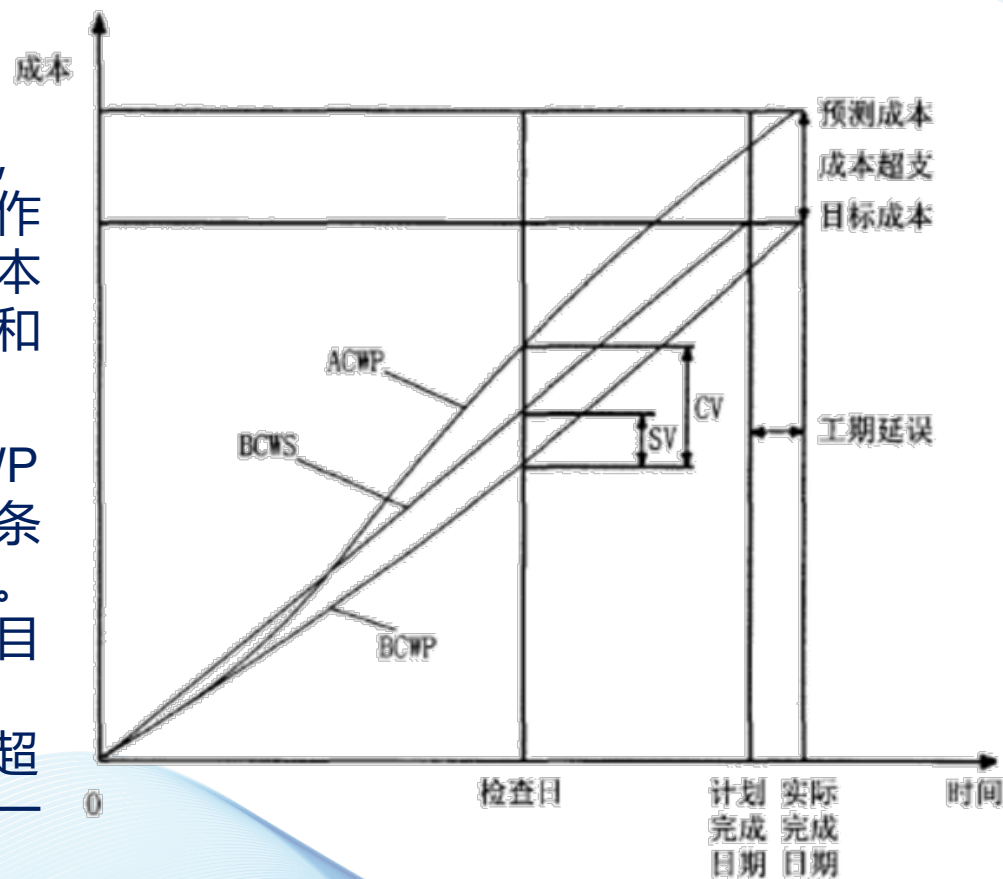


图3.6 挣值分析曲线图



# 缆索机器人进度管理

## 进度调整

项目进度计划的调整主要有以下几个方面。

1、调整关键任务。关键任务没有机动性时间，调整任何一个关键任务的工期都会对整个项目工期产生影响，因此调整关键任务是项目进度调整的重点。比如当关键任务的实际进度落后于计划进度时，就要缩短后续关键任务的持续时间，以弥补时间的损失，常用的方法是网络计划方法。

2、改变某些工作的逻辑关系。项目实施中的进度偏差若影响到项目工期时，而且有关任务的逻辑关系允许被更改，则可以改变关键任务和超过计划工期的非关键路径上的有关任务的逻辑关系。但其调整不能影响原定计划工期和其它任务之间的顺序，调整的结果不能形成对原计划的否定。

3、重新编制计划。可根据工期要求，将剩余工作重新编制进度计划，使之满足工期要求。为保证该项目顺利按时完工，应当在认真分析的基础上，重新编制网络计划，按照新计划实施项目。

4、非关键任务的调整。非关键任务在一定范围内工期延长不至于影响工期，但为充分地平衡地利用资源，有必要对非关键任务的工期进行调整。每次调整后都应重新计算工作时间参数，观察调整对计划的影响程度。

5、资源优化。资源供应的不平衡、不稳定也会影响项目的顺利进行，甚至会导致成本、质量的变化。如果资源供应发生异常，则应当调整资源，具体办法是进行资源优化调整。

# 本章结束

**欢迎沟通交流！**

- 陈金玉老师 职业安全与卫生管理
- 程森林老师 环境保护与可持续发展
- 谷振宇老师 工程管理
- 陈玲老师 经济决策