

# 网络计划

## 第七章

# 时间参数的计算

## 第2节

# 网络计划图的时间参数计算

- 时间参数计算的目的
  - **关键路线法(CPM)**: 计算网络图中的时间参数, 主要目的是找出关键路线, 为网络计划的优化、调整和执行提供明确的时间概念。
    - 网络计划图时间参数包括工作持续时间、节点(事项)最早/最迟时间、工作最早/最迟开始和完成时间、工作时差等。
- 时间参数计算的类型
  - 双代号网络计划
    - 节点计算法
    - 工作计算法
  - 单代号网络计划
    - 节点计算法

# 网络计划图的时间参数计算

- 双代号网络计划图的时间参数的节点计算法
  - 工作持续时间 (Duration,  $D$ )
  - 节点的最早时间 (Earliest event time,  $E$ )
  - 节点的最迟时间 (Latest event time,  $L$ )

# 网络计划图的时间参数计算

- 双代号网络计划图时间参数的工作计算法
  - 工作持续时间 (Duration, **D**)
  - 工作最早开始时间 (Earliest Start, **ES**)
  - 工作最早完成时间 (Earliest Finish, **EF**)
  - 工作最迟开始时间 (Latest Start, **LS**)
  - 工作最迟完成时间 (Latest Finish, **LF**)
  - 工作总时差 (Total Float, **TF**)
  - 工作自由时差 (Free Float, **FF**)

# 工作的持续时间

- 工作持续时间(D)

- 计算**工作持续时间（工时）**是一项基础性的工作，关系到关键路线的确定以及网络计划是否能得到正确实施。
- 工作(i, j)的工作持续时间 $D_{i-j}$ 的两种计算方法：
  - 单时估计法(定额法)
    - 每项工作只估计或规定一个确定的持续时间值的方法。
    - 当具备劳动定额资料时，或有类似工作持续时间的历史统计资料时，可根据这些资料，采用分析对比的方法确定该工作的持续时间。
  - 三时估计法
    - 当不具备劳动定额资料和类似工作持续时间统计资料时，可采用“三时估计法”估算工作的持续时间(见本章后续内容)。

# 节点的时间参数

- 节点的最早时间

- 节点 $j$ 的最早（发生）时间，记作 $E_j$ ，它表示以 $j$ 为始点的各工作的最早可能开始时间，也表示以 $j$ 为终点的全部工作的最早可能完成时间；它等于从起始节点到该节点的最长路线上所有工作的工时总和。
- 节点的最早（发生）时间可用下列递推公式，按照节点编号从小到大的顺序逐个计算：

$$\begin{cases} E_1 = 0 \\ E_j = \max_i \{E_i + D_{i-j}\} \end{cases}$$

- 其中项目起始节点编号设为1。如无特殊要求，通常可假定起始节点(起始事项)在零时刻实现。
- 设项目终止节点编号为 $n$ ，则 $E_n$ 就是整个项目的最早完工时间。

# 节点的时间参数

- 节点的最迟时间

- 节点*i*的最迟（发生）时间，记作 $L_i$ ，它表示在不影响项目总工期条件下，以*i*为终点的各工作的最迟必须完成时间，也表示以*i*为始点的工作的最迟必须开始时间。
- 节点的最迟（发生）时间可用下列递推公式，按照节点编号从大到小的顺序逐个计算：

$$\begin{cases} L_n = \text{总工期（或 } E_n \text{）} \\ L_i = \min_j \{L_j - D_{i-j}\} \end{cases}$$

- 设项目终止节点编号为*n*。通常把项目的最早完工时间 $E_n$ 作为项目的总工期。



# 节点的时间参数

## • 备注

- 对于工作 $(i, j)$ ,  $E_i$ 表示其最早可能开始时间,  $L_j$ 表示其最迟必须完成时间, 故时间区间 $(E_i, L_j)$ 表示在不影响整个项目工期的条件下工作 $(i, j)$ 可以安排的最大跨度区间, 即限定(计划)的持续时间。
- 由上述计算结果, 若满足下面的三个条件, 则工作 $(i, j)$ 为关键工作:

$$(1) \quad L_i = E_i$$

$$(2) \quad L_j = E_j$$

$$(3) \quad L_j - E_i = D_{i-j}$$

所有不满足这三个条件的工作都是非关键工作。

# 工作的时间参数

- 工作最早开始时间( $ES_{i-j}$ )
  - 是该工作的各紧前工作的最早可能完成时间中的最大值:

$$ES_{i-j} = \max_k \{EF_{k-i}\}$$

- 如无特殊要求, 可假定项目起始节点在零时刻实现, 即第一项工作的最早可能开始时间 $ES_{1-j}=0$ .

- 工作最早完成时间( $EF_{i-j}$ )
  - 是该工作最早开始时间加上该工作持续时间:

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

- 项目的**计算工期**为关键路线所花的时间, 即网络计划完成工作最早完成时间中的最大值, 即**计算工期** $= \max_i \{EF_{i-n}\}$

(ES和EF的计算: 从网络计划图的起始节点开始, 沿箭线方向逐项计算)

# 工作的时间参数

- 工作最迟完成时间( $LF_{i-j}$ )
  - 是该工作的各紧后工作最迟开始时间中的最小值(各项工作的紧后工作的开始时间以不延误整个工期为原则):

$$LF_{i-j} = \min_k \{LS_{j-k}\}$$

- 网络计划完成工作的最迟完成时间应由工程的计划工期确定; 当计划工期未给定时, 通常取网络计划完成工作的最迟完成时间为计算工期.
- 工作最迟开始时间( $LS_{i-j}$ )
  - 是该工作最迟完成时间减去该作业持续时间:

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

- 是指在不影响计划工期前提下该工作最迟必须开始的时刻.
- (LS和LF的计算: 从网络计划图的终止节点开始, 采用逆序逐项计算)

# 工作的时间参数

由工作和事项的关系，有关工作的时间参数也可通过节点(事项)的时间参数来计算：

$$ES_{i-j} = E_i$$

$$LF_{i-j} = L_j$$

- 工作总时差( $TF_{i-j}$ )

是指在不影响工期的前提下，工作所具有的机动时间(往往是网络上若干个工作共同拥有的机动时间)：

$$\begin{aligned} TF_{i-j} &= LF_{i-j} - ES_{i-j} - D_{i-j} \\ &= LS_{i-j} - ES_{i-j} \\ &= LF_{i-j} - EF_{i-j} \end{aligned}$$

- 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，工作所具有的机动时间(是该工作单独拥有的机动时间，其大小不受其他工作机动时间的影响)：

$$\begin{aligned} FF_{i-j} &= ES_{j-k} - ES_{i-j} - D_{i-j} \\ &= ES_{j-k} - EF_{i-j} \end{aligned}$$

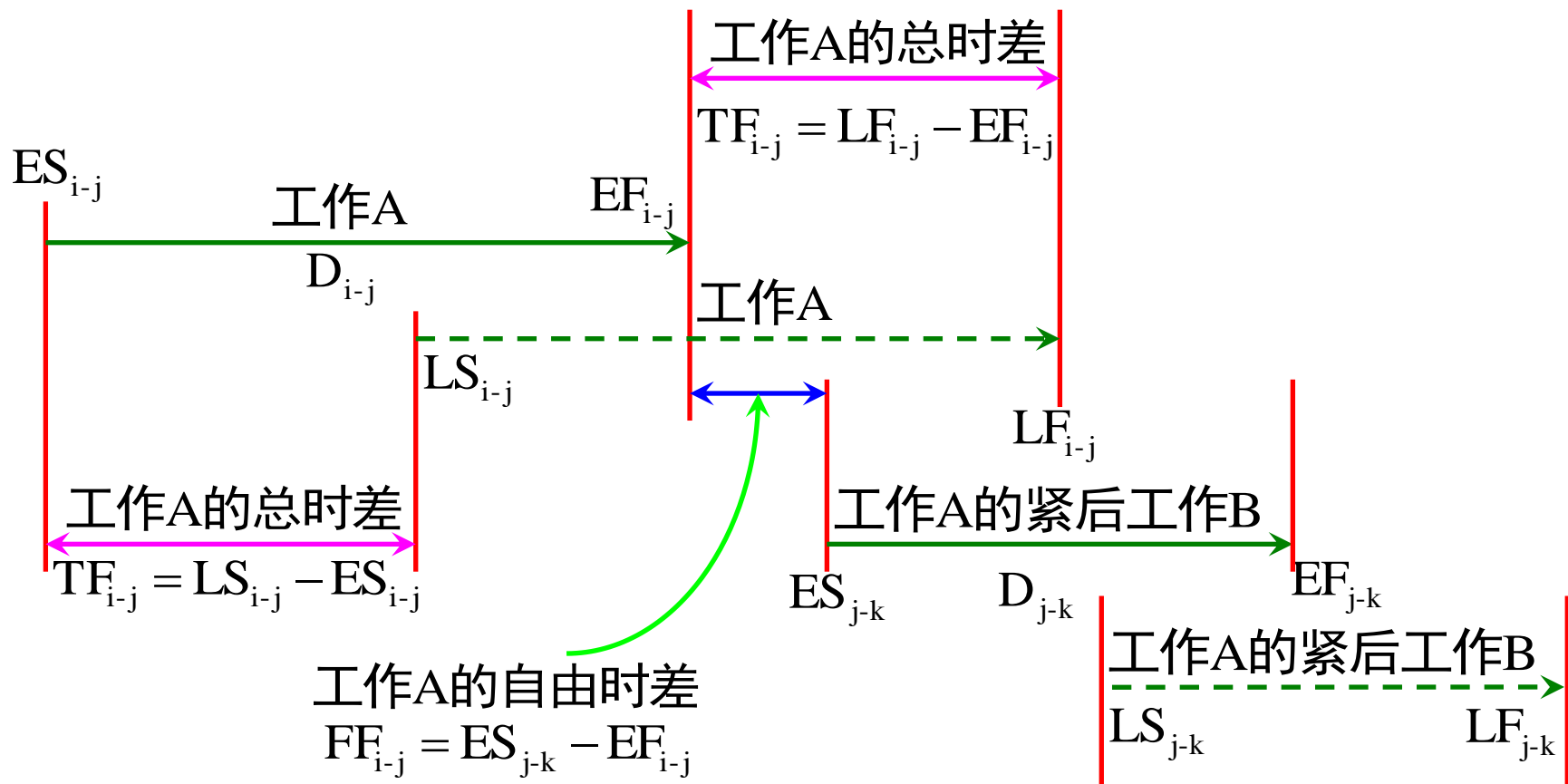
# 工作的时间参数

在计划工期等于计算工期的前提下

- 关键路线和关键工作

- 总时差为零的工作(关键工作)，其开始和完成的时间没有一点机动的余地，由这些工作组成的从起始节点到终止节点的路线就是网络计划图的**关键路线**。
  - 在**确定型**网络计划中，关键路线是指线路中工作总持续时间最长的线路。
  - 在**非确定型**网络中，关键路线是指估计工期完成可能性最小的线路。
- 通常可**通过计算工作总时差**的方法来确定关键路线和关键工作。

# 工作的时间参数之间的关系

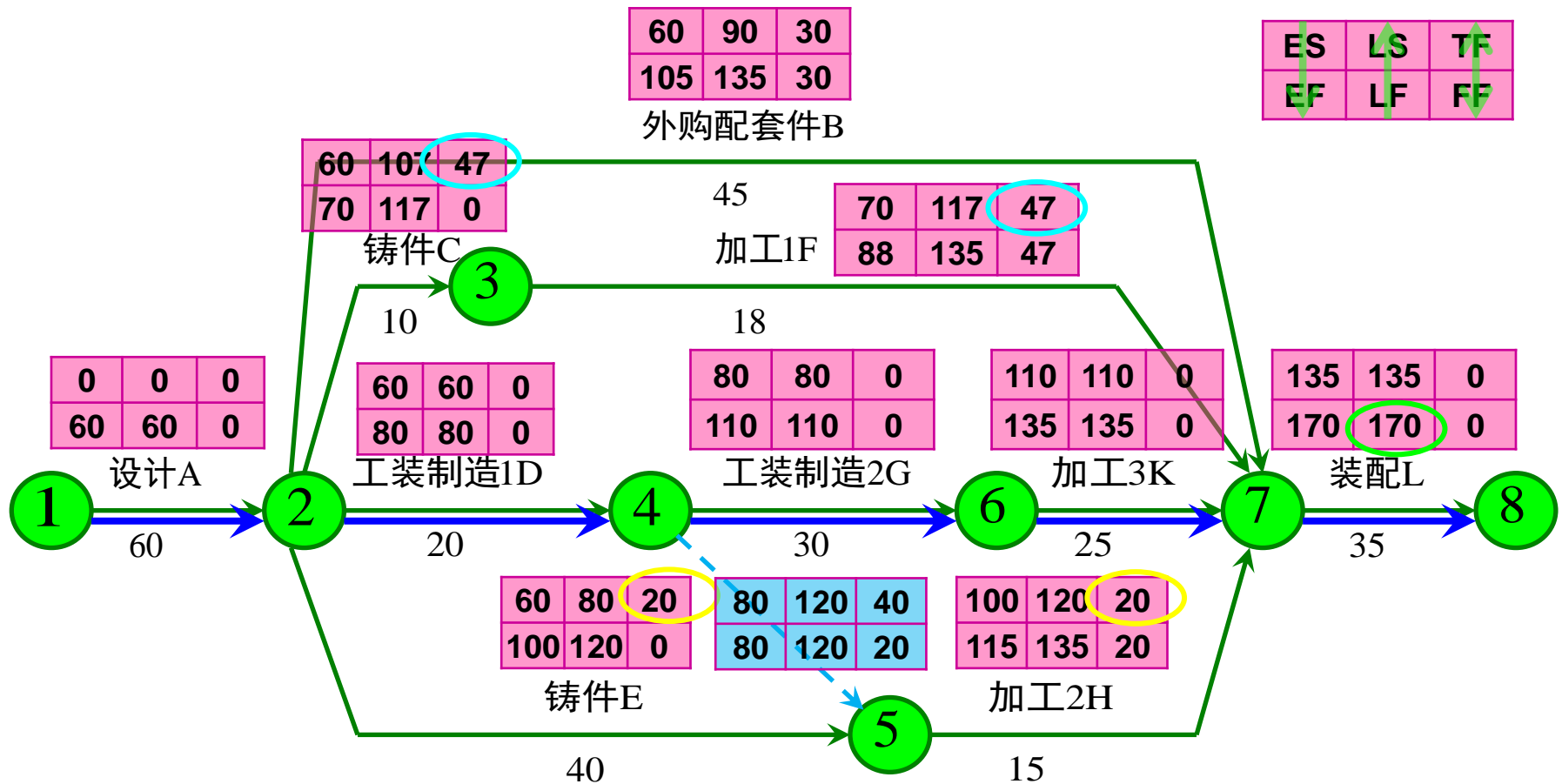


# 工作时间参数计算实例

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

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

- (例1)解(续): 根据网络计划图及数据, 在图上计算时间参数如下:



# 工作时间参数计算实例

- (例1)解(续):** 根据网络计划图及数据, 也可列表计算时间参数如下:

| 工作<br>$i-j$ | 持续时间<br>$D_{i-j}$ | 最早开始时间<br>$ES_{i-j}$<br>$=\max_k \{EF_{k-i}\}$ | 最早完成时间<br>$EF_{i-j}$ | 最迟完成时间<br>$LF_{i-j}$<br>$=\min_k \{LS_{j-k}\}$ | 最迟开始时间<br>$LS_{i-j}$ | 总时差<br>$TF_{i-j}$<br>$=LS_{i-j} - ES_{i-j}$ | 自由时差<br>$FF_{i-j}$<br>$=ES_{j-k} - EF_{i-j}$ |
|-------------|-------------------|--|----------------------|--|----------------------|---|--|
| ①           | ②                 | ③  | ④=③+②                | ⑤  | ⑥=⑤-②                | ⑦=⑥-③                                       | ⑧  |
| A(1-2)      | 60                | 0  | 60                   | 60   | 0                    | 0   | 0  |
| B(2-7)      | 45                | 60   | 105                  | 135  | 90                   | 30  | 30   |
| C(2-3)      | 10                | 60   | 70                   | 117  | 107                  | 47  | 0  |
| D(2-4)      | 20                | 60   | 80                   | 80   | 60                   | 0   | 0  |
| E(2-5)      | 40                | 60   | 100                  | 120  | 80                   | 20  | 0  |
| E'(4-5)     | 0                 | 80   | 80                   | 120  | 120                  | 40  | 20   |
| F(3-7)      | 18                | 70   | 88                   | 135  | 117                  | 47  | 47   |
| G(4-6)      | 30                | 80   | 110                  | 110  | 80                   | 0   | 0  |
| H(5-7)      | 15                | 100  | 115                  | 135  | 120                  | 20  | 20   |
| K(6-7)      | 25                | 110  | 135                  | 135  | 110                  | 0   | 0  |
| L(7-8)      | 35                | 135  | 170                  | 170  | 135                  | 0   | 0  |



# 工作时间参数计算实例

- **(例1)解(续):**

通过上述参数计算, 可知工作(1,2), (2,4), (4,6), (6,7), (7,8)的**总时差均为零**, 这些工作构成了网络计划图从起始节点到终止节点的一条路线, 该路线即为**关键路线**, 该关键路线上的工作均为**关键工作**。

- **说明:**

网络计划图时间参数的**图上算法**具有方便、直观的优点, 其缺点是图上数字标注过多, 不够清晰, 且当图形复杂时, 容易出现遗漏和出错。这时可采用**表格算法**进行计算。

# 课堂练习

## • 判断题

(1) 工序的总时差越大，表明该工序在整个网络中的机动时间就越大。 **对**

(2) 网络中关键路线上的所有作业，其总时差和自由时差均为零。 **对**

(3) 任何虚工作不可能包含在关键路线中。 **错**

(4) 若一项工作的总时差为零，则其自由时差也必为零。 **对**

(5) 若一项作业的总时差为8天，说明任何情况下该作业从开始到结束之间总有8天的机动时间。 **错**

Thank you!

谢谢!