



第二节 双代号网络计划

（二）按工作计算法★★★★★

按工作计算法是以网络计划中的工作为对象，直接计算各项工作的时间参数。

为了简化计算，开始时间和完成时间都应以时间单位的终结时刻为标准。

下面以图5-2所示双代号网络计划为例，说明按工作计算法计算时间参数的过程。



第二节 双代号网络计划

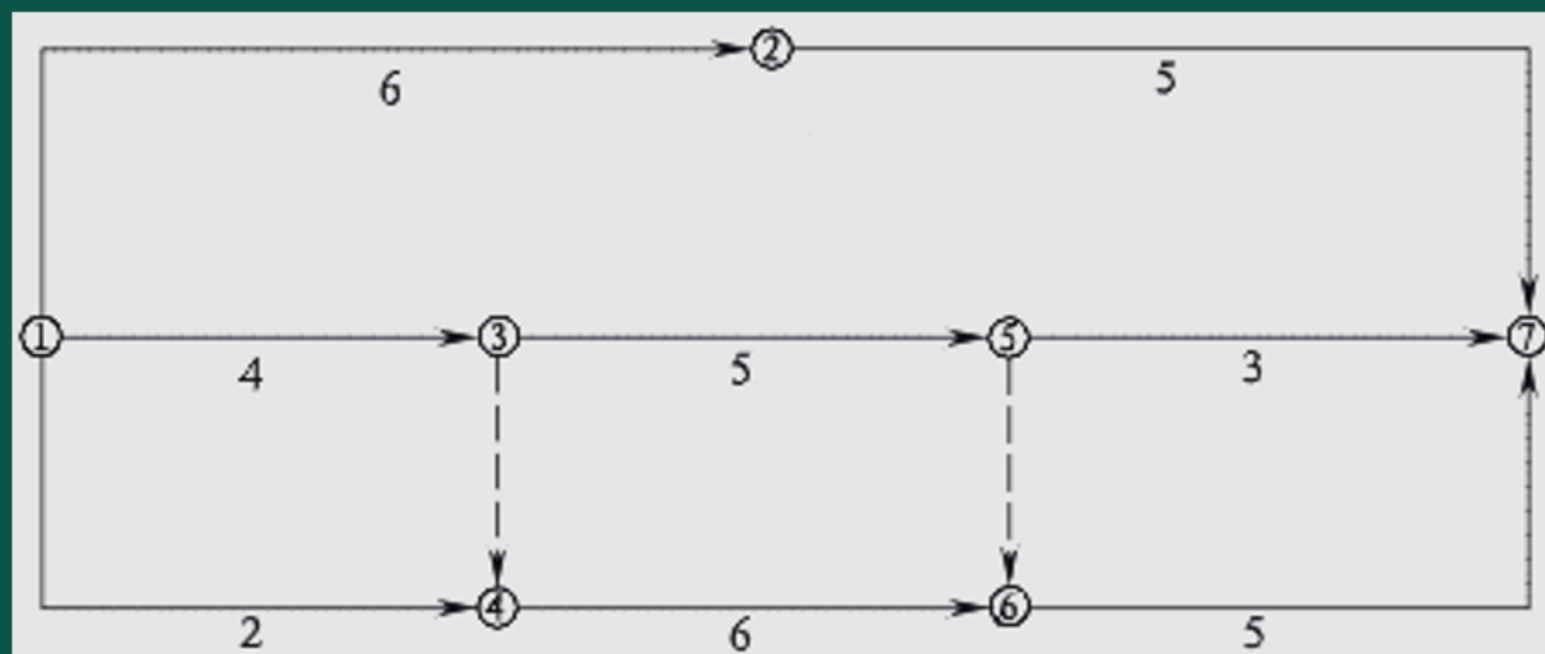


图 5-2 双代号网络计划



第二节 双代号网络计划

1. 计算工作的最早开始时间和最早完成时间

工作最早开始时间和最早完成时间的计算应从网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向依次进行，计算步骤如下。

(1) 以网络计划起点节点为开始节点的工作，当未规定最早开始时间时，其最早开始时间为0。

例如，在本例中，工作1—2、工作1—3和工作1—4的最早开始时间均为0,即

$$ES_{1-2}=ES_{1-3}=ES_{1-4}=0$$



第二节 双代号网络计划

(2) 工作的最早完成时间可利用以下公式进行计算：

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

式中： EF_{i-j} ——工作i-j的最早完成时间；

ES_{i-j} ——工作i-j的最早开始时间；

D_{i-j} ——工作i-j的持续时间。

例如，在本例中，工作1—2、工作1—3和工作1—4的最早完成时间分别为：

$$EF_{1-2}=ES_{1-2}+D_{1-2}=0+6=6$$

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

$$EF_{1-4}=ES_{1-4}+D_{1-4}=0+2=2$$



第二节 双代号网络计划

(3) 其他工作的最早开始时间等于其紧前工作最早完成时间的最大值，即

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

式中： EF_{h-i} ——工作*i-j*的紧前工作*h-i*（非虚工作）的最早完成时间；

ES_{h-i} ——工作*i-j*的紧前工作*h-i*（非虚工作）的最早开始时间；

D_{h-i} ——工作*i-j*的紧前工作*h-i*（非虚工作）的持续时间。

例如，在本例中，工作3—5和工作4—6的最早开始时间分别为：

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

$$ES_{4-6} = \max \{EF_{1-3}, EF_{1-4}\} = \max \{4, 2\} = 4$$



第二节 双代号网络计划

(4) 网络计划的计算工期等于以网络计划终点节点为完成节点的工作的最早完成时间的最大值，即

$$T_c = \max \{EF_{i-n}\} = \max \{ES_{i-n} + D_{i-n}\}$$

式中： EF_{i-n} ——以网络计划终点节点n为完成节点的工作的最早完成时间；

ES_{i-n} ——以网络计划终点节点n为完成节点的工作的最早开始时间；

D_{i-n} ——以网络计划终点节点n为完成节点的工作的持续时间。

例如，在本例中，网络计划的计算工期为：

$$T_c = \max \{EF_{2-7}, EF_{5-7}, EF_{6-7}\} = \max \{11, 12, 15\} = 15$$



第二节 双代号网络计划

2. 确定网络计划的计划工期

在本例中，假设未规定要求工期，则其计划工期就等于计算工期，即：

$$T_p = T_c = 15$$

计划工期应标注在网络计划终点节点的右上方。



第二节 双代号网络计划

3. 计算工作的最迟完成时间和最迟开始时间

工作最迟完成时间和最迟开始时间的计算应从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向依次进行，计算步骤如下。



第二节 双代号网络计划

(1) 以网络计划终点节点为完成节点的工作，其最迟完成时间等于网络计划的计划工期，即

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

式中： LF_{i-n} ——以网络计划终点节点n为完成节点的工作的最迟完成时间；

例如，在本例中，工作2—7、工作5—7和工作6—7的最迟完成时间为：

$$LF_{2-7}=LF_{5-7}=LF_{6-7}=T_p=15$$



第二节 双代号网络计划

(2) 工作的最迟开始时间可利用以下公式进行计算：

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

式中： LS_{i-j} ——工作 $i-j$ 的最迟开始时间；

LF_{i-j} ——工作 $i-j$ 的最迟完成时间；

例如，在本例中，工作 2—7、工作 5—7 和工作 6—7 的最迟开始时间分别为：

$$LS_{2-7} = LF_{2-7} - D_{2-7} = 15 - 5 = 10$$

$$LS_{5-7} = LF_{5-7} - D_{5-7} = 15 - 3 = 12$$

$$LS_{6-7} = LF_{6-7} - D_{6-7} = 15 - 5 = 10$$



第二节 双代号网络计划

(3) 其他工作的最迟完成时间应等于其所有紧后工作最迟开始时间的最小值，即

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

式中： LS_{j-k} ——工作*i-j*的紧后工作*j-k*（非虚工作）的最迟开始时间；

LF_{j-k} ——工作*i-j*的紧后工作*j-k*（非虚工作）的最迟完成时间；

D_{j-k} ——工作*i-j*的紧后工作*j-k*（非虚工作）的持续时间。

例如，在本例中，工作3—5和工作4—6的最迟完成时间分别为：

$$LF_{3-5} = \min \{LS_{5-7}, LS_{6-7}\} = \min \{12, 10\} = 10$$

$$LF_{4-6} = LS_{6-7} = 10$$



第二节 双代号网络计划

4. 计算工作的总时差

工作的总时差等于该工作最迟完成时间与最早完成时间之差，或该工作最迟开始时间与最早开始时间之差，即

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

式中： TF_{i-j} ——工作*i-j*的总时差。

例如，在本例中，工作3—5的总时差为：

$$TF_{3-5} = LF_{3-5} - EF_{3-5} = 10 - 9 = 1$$

或

$$TF_{3-5} = LS_{3-5} - ES_{3-5} = 5 - 4 = 1$$



第二节 双代号网络计划

5. 计算工作的自由时差

工作自由时差的计算应按以下两种情况分别考虑。

(1) 对于有紧后工作的情况，其自由时差等于紧后工作最早开始时间减去本工作最早完成时间所得差的最小值，即

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



第二节 双代号网络计划

式中： FF_{i-j} ——工作i-j的自由时差；

ES_{j-k} ——工作i-j的紧后工作j-k（非虚工作）的最早开始时间；

EF_{i-j} ——工作i-j的最早完成时间；

ES_{i-j} ——工作i-j的最早开始时间；

D_{i-j} ——工作i-j的持续时间。

例如，在本例中，工作1—4和工作3—5的自由时差分别为：

$$FF_{1-4} = ES_{4-6} - EF_{1-4} = 4 - 2 = 2$$

$$FF_{3-5} = \min \{ ES_{5-7} - EF_{3-5}, ES_{6-7} - EF_{3-5} \} = \min \{ 9 - 9, 10 - 9 \} = 0$$



第二节 双代号网络计划

(2) 对于无紧后工作的情况，也就是以网络计划终点节点为完成节点的工作，其自由时差等于计划工期与本工作最早完成时间之差，即

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

式中： FF_{i-n} ——以网络计划终点节点n为完成节点的工作i-n的自由时差；



第二节 双代号网络计划

例如，在本例中，工作2—7、工作5—7和工作6—7的自由时差分别为：

$$FF_{2-7} = T_p - EF_{2-7} = 15 - 11 = 4$$

$$FF_{5-7} = T_p - EF_{5-7} = 15 - 12 = 3$$

$$FF_{6-7} = T_p - EF_{6-7} = 15 - 15 = 0$$

需要指出的是，对于工程网络计划中以终点节点为完成节点的工作，其自由时差与总时差相等。当工作的总时差为0时，其自由时差必然为0，可不必进行专门计算。

例如，在本例中，工作1—3、工作4—6和工作6—7的总时差均为0，故其自由时差也均为0。



第二节 双代号网络计划

在上述计算过程中，将每项工作的六个时间参数均标注在图中，故称为六时标注法，如图5-3所示。

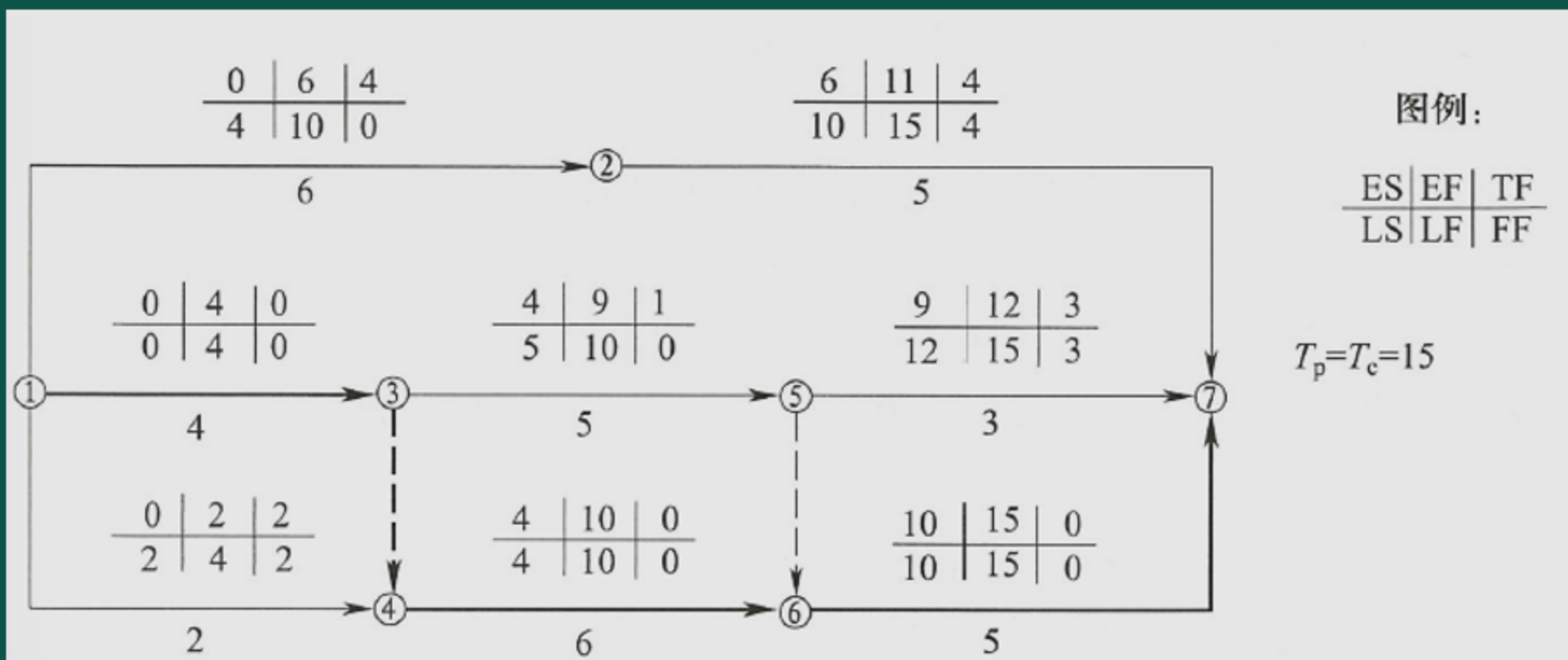


图 5-3 双代号网络计划(六时标注法)

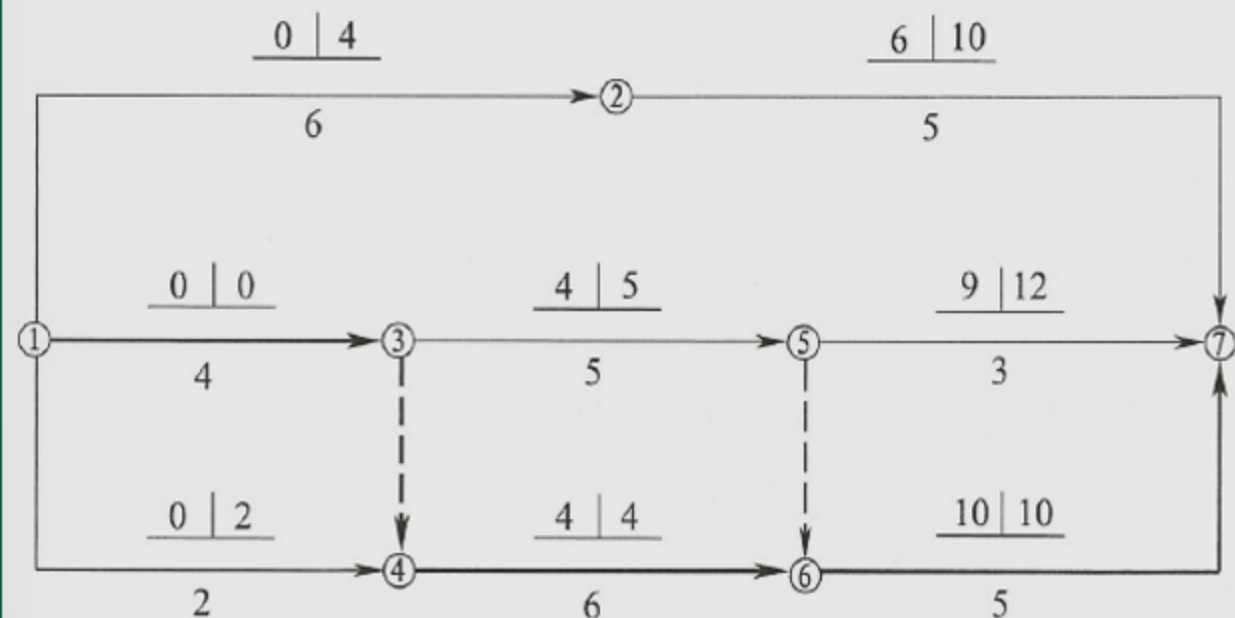


第二节 双代号网络计划

为简化双代号网络计划的图面表达，通常只需在工作箭线上标注最早开始时间和最迟开始时间，这种方法称为二时标注法，如图5-4所示。其余四个时间参数均可由这两个时间参数与持续时间推算得出。



第二节 双代号网络计划



图例:

ES | LS

$$T_p = T_c = 15$$

图 5-4 双代号网络计划(二时标注法)



第二节 双代号网络计划

（三）按节点计算法★★★

按节点计算法是先计算网络计划中各个节点的最早时间和最迟时间，然后再以此为依据计算各项工作的时间参数和网络计划的计算工期。

下面仍以图5-2所示双代号网络计划为例，说明按节点计算法的计算过程。计算结果如图5-5所示。



第二节 双代号网络计划

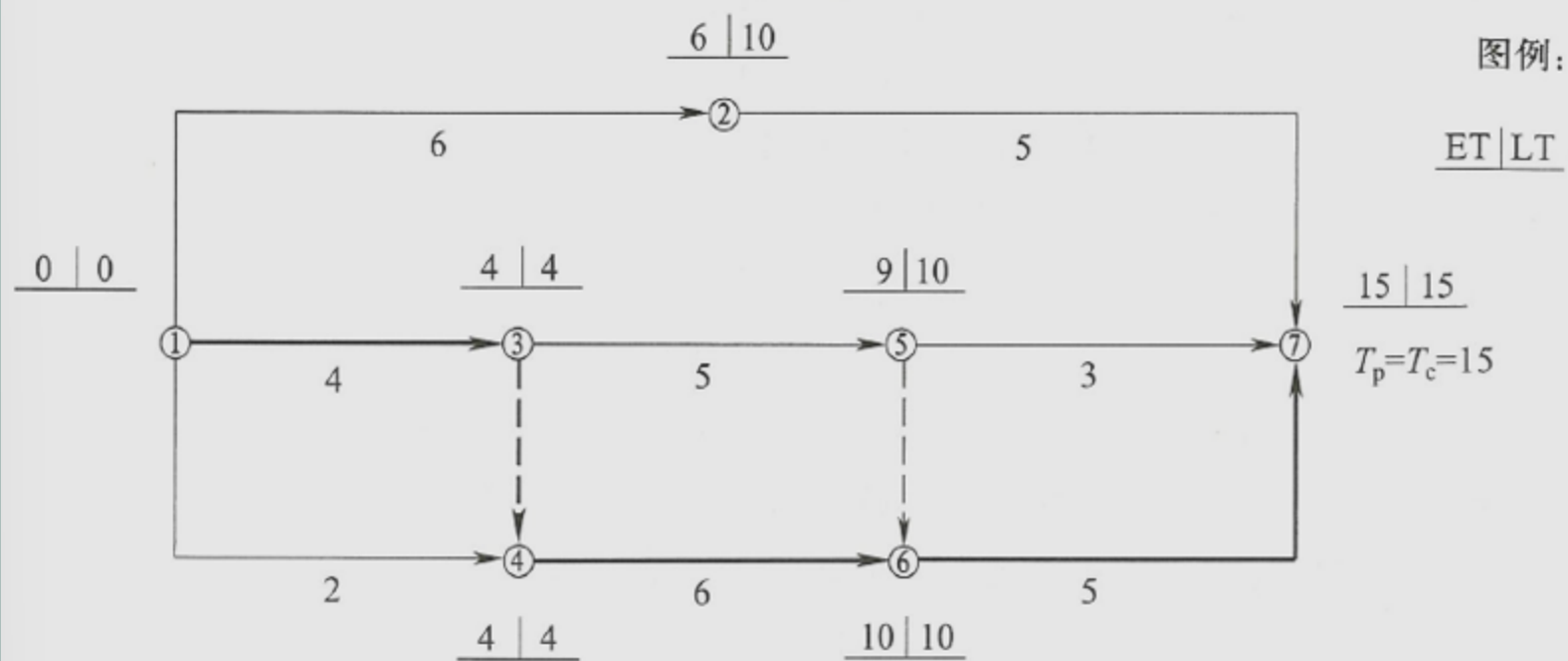


图 5-5 双代号网络计划 (按节点算法)



第二节 双代号网络计划

1. 计算节点的最早时间和最迟时间

(1) 计算节点的最早时间。同样从工程网络计划的起点节点开始，顺着箭线方向依次进行，计算步骤如下。

1) 对于网络计划起点节点，当未规定最早时间时，其值等于0。例如，在本例中，起点节点①的最早时间为0,即

$$ET_1 = 0$$



第二节 双代号网络计划

2) 其他节点的最早时间应按以下公式进行计算:

$$ET_j = \max \{ET_i + D_{i-j}\}$$

式中: ET_j ——工作*i-j*的完成节点*j*的最早时间;

ET_i ——工作*i-j*的开始节点*i*的最早时间;

例如, 在本例中, 节点③和节点④的最早时间分别为:

$$ET_3 = ET_1 + D_{1-3} = 0 + 4 = 4$$

$$ET_4 = \max \{ET_1 + D_{1-4}, ET_3 + D_{3-4}\} = \max \{0 + 2, 4 + 0\} = 4$$



第二节 双代号网络计划

3) 网络计划的计算工期等于网络计划终点节点的最早时间，即

$$T_c = ET_n$$

式中： ET_n ——网络计划终点节点n的最早时间。

例如，在本例中，网络计划的计算工期为：

$$T_c = ET_7 = 15$$



第二节 双代号网络计划

(2) 确定网络计划的计划工期。在本例中，假设未规定要求工期，则其计划工期就等于计算工期，即

$$T_p = T_c = 15$$

计划工期应标注在终点节点的右上方，如图5-5所示。



第二节 双代号网络计划

(3) 计算节点的最迟时间。同样从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向依次进行，计算步骤如下。

1) 网络计划终点节点的最迟时间等于网络计划的计划工期，即

$$LT_n = T_p$$

式中： LT_n ——网络计划终点节点n的最迟时间；

T_p ——网络计划的计划工期。

例如，在本例中，终点节点⑦的最迟时间为：

$$LT_7 = T_p = 15$$



第二节 双代号网络计划

2) 其他节点的最迟时间应按以下公式进行计算:

$$LT_i = \min \{LT_j - D_{i-j}\}$$

式中: LT_i ——工作*i-j*的开始节点*i*的最迟时间;

LT_j ——工作*i-j*的完成节点*j*的最迟时间;

例如, 在本例中, 节点⑥和节点⑤的最迟时间分别为:

$$LT_6 = LT_7 - D_{6-7} = 15 - 5 = 10$$

$$LT_5 = \min \{LT_6 - D_{5-6}, LT_7 - D_{5-7}\} = \min \{10 - 0, 15 - 3\} = 10$$



第二节 双代号网络计划

2.根据节点的最早时间和最迟时间判定工作的六个时间参数

(1) 最早开始时间等于该工作开始节点的最早时间, 即

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

例如, 在本例中, 工作1—2和工作2—7的最早开始时间分别为:

$$ES_{1-2}=ET_1=0$$

$$ES_{2-7}=ET_2=6$$



第二节 双代号网络计划

(2) 最早完成时间等于该工作开始节点的最早时间与其持续时间之和，即

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

例如，在本例中，工作1—2和工作2—7的最早完成时间分别为：

$$EF_{1-2}=ET_1+D_{1-2}=0+6=6$$

$$EF_{2-7}=ET_2+D_{2-7}=6+5=11$$



第二节 双代号网络计划

(3) 最迟完成时间等于该工作完成节点的最迟时间，即

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

例如，在本例中，工作1—2和工作2—7的最迟完成时间分别为：

$$LF_{1-2}=LT_2=10$$

$$LF_{2-7}=LT_7=15$$



第二节 双代号网络计划

(4) 最迟开始时间等于该工作完成节点的最迟时间与其持续时间之差，即

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

例如，在本例中，工作1—2和工作2—7的最迟开始时间分别为：

$$LS_{1-2} = LT_2 - D_{1-2} = 10 - 6 = 4$$

$$LS_{2-7} = LT_7 - D_{2-7} = 15 - 5 = 10$$



第二节 双代号网络计划

(5) 总时差可根据公式(5-7)、公式(5-15)和公式(5-16)得到:

$$TF_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j} = LT_j - (ET_i + D_{i-j}) = LT_j - ET_i - D_{i-j}$$

由公式(5-18)可知, **工作的总时差等于该工作完成节点的最迟时间减去该工作开始节点的最早时间所得差值再减其持续时间。**

例如, 在本例中, 工作1—2和工作3—5的总时差分别为:

$$TF_{1-2} = LT_2 - ET_1 - D_{1-2} = 10 - 0 - 6 = 4$$

$$TF_{3-5} = LT_5 - ET_3 - D_{3-5} = 10 - 4 - 5 = 1$$



第二节 双代号网络计划

(6) 自由时差可根据上述公式得到：

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

由公式可知，工作的自由时差等于该工作完成节点的最早时间减去该工作开始节点的最早时间所得差值再减其持续时间。



第二节 双代号网络计划

例如，在本例中，工作1—2和工作3—5的自由时差分别为：

$$FF_{1-2} = ET_2 - ET_1 - D_{1-2} = 6 - 0 - 6 = 0$$

$$FF_{3-5} = ET_5 - ET_3 - D_{3-5} = 9 - 4 - 5 = 0$$

需要注意的是，如果本工作与其各紧后工作之间存在虚工作，其中的 ET_j 应为本工作紧后工作开始节点的最早时间，而不是本工作完成节点的最早时间。



第二节 双代号网络计划

【例题】在双代号网络计划中，工作N的持续时间是6天，最早完成时间是第13天，其总时差为5天则工作N的最迟开始时间是第（ ）天。

A.11

B.12

C.13

D.18



第二节 双代号网络计划

答案：B

解析：工作N的最早开始时间=最早完成时间-持续时间
 $=13-6=7$ 。工作N的最迟开始时间=工作N的最早开始时间+总
时差 $=7+5=12$ 。



第二节 双代号网络计划

【例题】某工程双代号网络计划中，工作M的最早开始时间是第8天，其持续时间为6天。该工作有二项紧后工作，其最迟开始时间分别为第18天和第19天。则工作M的总时差是（ ）天。

A.2

B.3

C.4

D.6



第二节 双代号网络计划

答案：C

解析：m工作最迟完成时间= $\min\{18, 19\}=18$, 总时差=本工作最迟完成时间-本工作最早完成时间=本工作最迟开始时间-本工作最早开始时间= $18-(8+6)=4$ 。



第二节 双代号网络计划

三、关键工作及关键线路的确定

工程网络计划中的线路是指从起点节点至终点节点，沿箭头方向经过一系列箭线与节点的通路。

在关键线路法中，线路上各项工作持续时间总和称为该线路的总持续时间。



第二节 双代号网络计划

总持续时间最长的线路称为关键线路，该总持续时间即为工程网络计划的计算工期。

工程网络计划中的关键线路可能不止一条，且在工程网络计划执行过程中会因工作进度变化或逻辑关系改变而发生转移。

关键线路上的工作称为关键工作，其实际进度的提前或拖后均会影响总工期，因此是工程进度控制的重点。

非关键工作延误过多时，也可能转化为关键工作，从而影响工程总工期。



第二节 双代号网络计划

(一) 按工作计算法判断★★★

在工程网络计划中，总时差最小的工作为关键工作。

当工程网络计划的计划工期等于计算工期时，总时差为0的工作就是关键工作。

例如，在图5-3所示网络计划中，工作1—3、工作4—6和工作6—7的总时差均为0,所以它们都是关键工作。



第二节 双代号网络计划

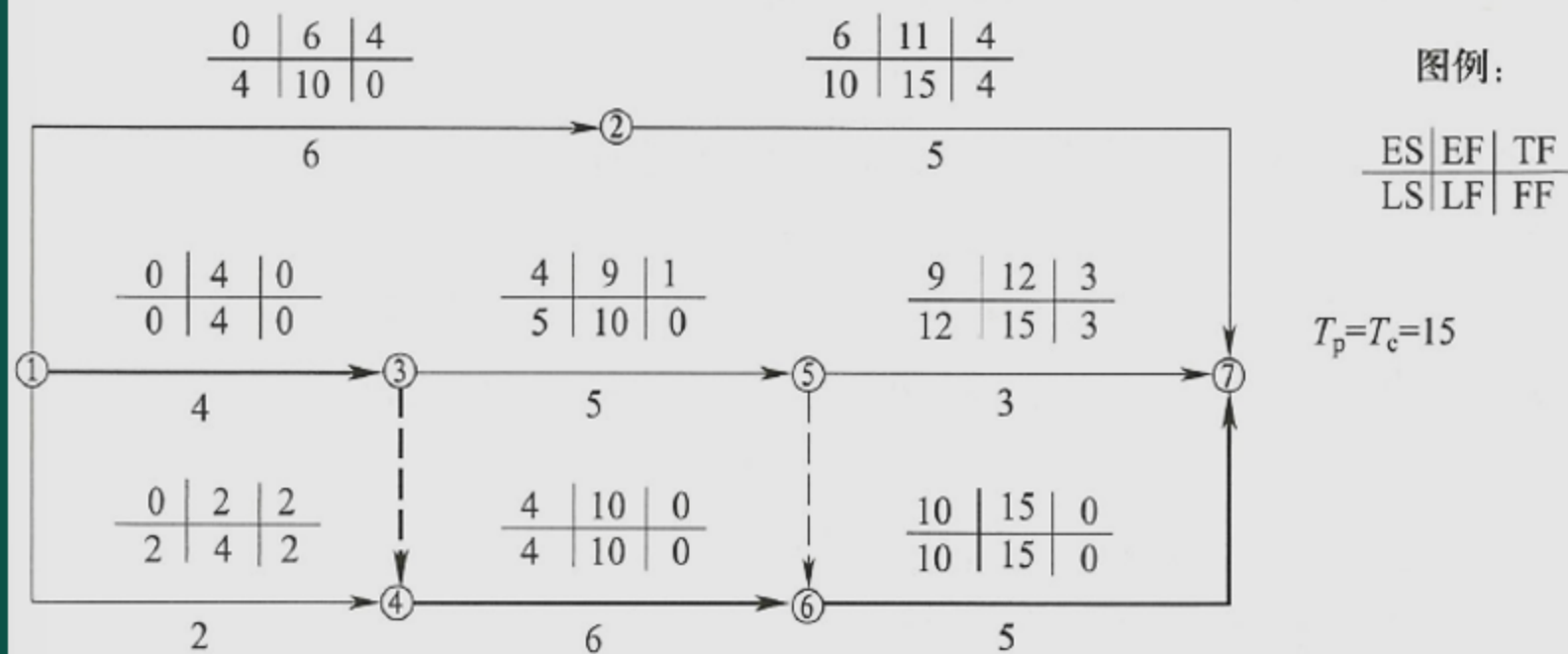


图 5-3 双代号网络计划 (六时标注法)



第二节 双代号网络计划

找出关键工作之后，将这些关键工作首尾相连，便至少可以构成一条从起点节点到终点节点的通路，通路上各项工作的持续时间**总和最大的就是关键线路**。

在关键线路上可能有虚工作存在。

例如，在图5-3所示网络计划中，线路

①→③→④→⑥→⑦即为关键线路。

关键线路上各项工作的持续时间总和应等于网络计划的计算工期，这也是判别关键线路是否正确的准则。



第二节 双代号网络计划

（二）按节点计算法判断★★

1. 关键节点及其特性

在双代号网络计划中，关键线路上的节点称为关键节点。

关键工作两端的节点必为关键节点，但两端为关键节点的工作不一定是关键工作。

关键节点的最迟时间与最早时间的差值最小。

当网络计划的计划工期等于计算工期时，关键节点的最早时间与最迟时间必然相等。



第二节 双代号网络计划

例如，在图5-5所示网络计划中，节点①、③、④、⑥、⑦即为关键节点。

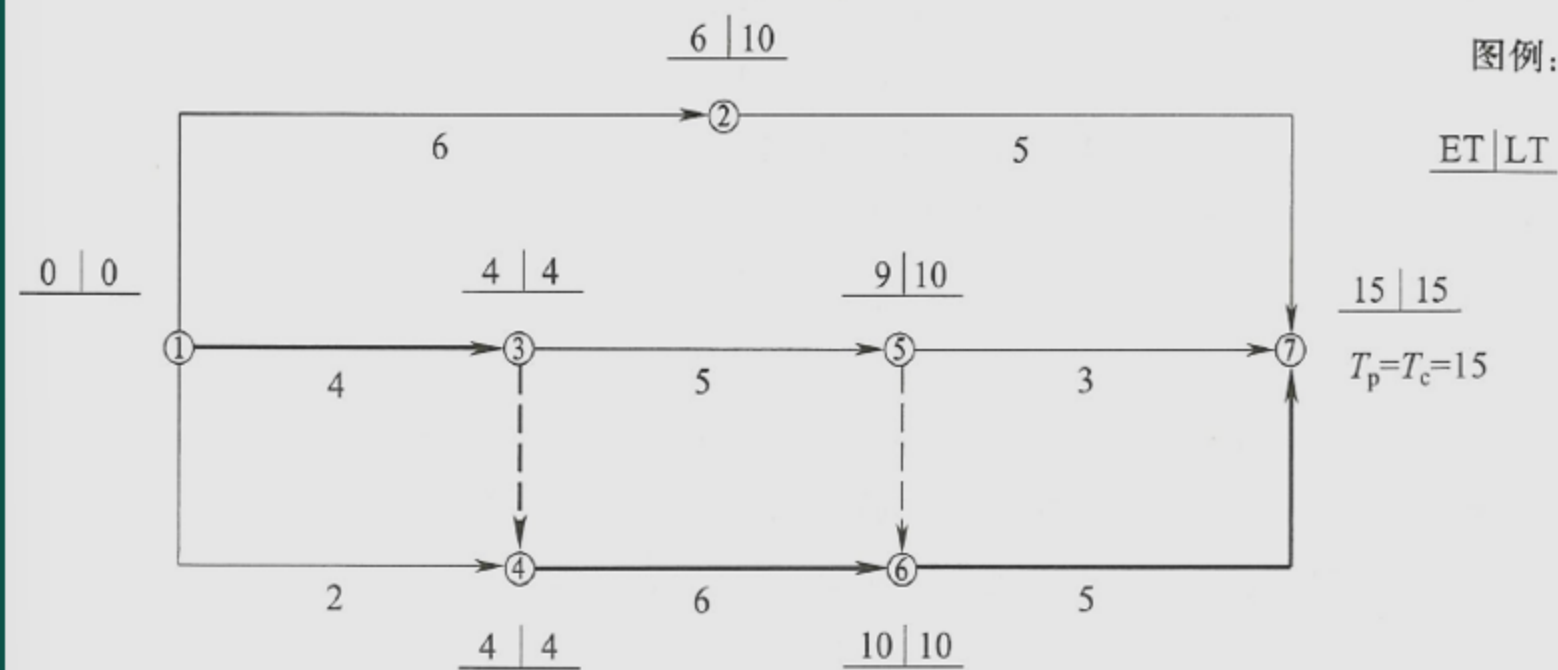


图 5-5 双代号网络计划(按节点计算法)



第二节 双代号网络计划

在双代号网络计划中，当计划工期等于计算工期时，关键节点具有以下特性。

(1) 开始节点和完成节点均为关键节点的工作，不一定是关键工作。

(2) 以关键节点为完成节点的工作，其总时差和自由时差必然相等。



第二节 双代号网络计划

(3) 当两个关键节点间有多项工作，且工作间非关键节点无其他内向箭线 and 外向箭线时，则这些工作的总时差均相等。

(4) 当两个关键节点间有多项工作，且工作间非关键节点有外向箭线而无其他内向箭线时，则这些工作的总时差不一定相等。其中，除以关键节点为完成的节点的工作自由时差等于总时差外，其余工作的自由时差均为0。



第二节 双代号网络计划

2.利用关键节点判断关键工作和关键线路

在网络计划中，**关键节点必然处在关键线路上，**但由**关键节点组成的线路不一定是关键线路。**



第二节 双代号网络计划

（三）利用标号法快速判断★

标号法是一种快速寻求网络计划计算工期和关键线路的方法。它利用按节点计算法的基本原理，对网络计划中的每一个节点按顺序进行标号，然后利用标号值确定网络计划的计算工期和关键线路。



第二节 双代号网络计划

【例题】下列关于双代号网络计划中关键工作和关键线路的说法，错误的是（ ）。

- A.总持续时间最长的线路称为关键线路
- B.在双代号网络计划中，关键线路有且只有一条
- C.关键线路上的工作称为关键工作
- D.在关键线路上可能有虚工作存在



第二节 双代号网络计划

答案：B

解析：在关键线路法中，线路上所有工作的持续时间总和称为该线路的总持续时间，总持续时间最长的线路称为关键线路，关键线路长度就是网络计划总工期。在网络计划中，关键线路可能不止一条。而且在网络计划执行过程中，由于工作进度加快或延误，以及逻辑关系的改变，关键线路还会发生转移。关键线路上的工作称为关键工作。在关键线路上可能有虚工作存在。



第二节 双代号网络计划

四、试题示例

某工程双代号网络计划如图5-7所示（时间单位：天）。

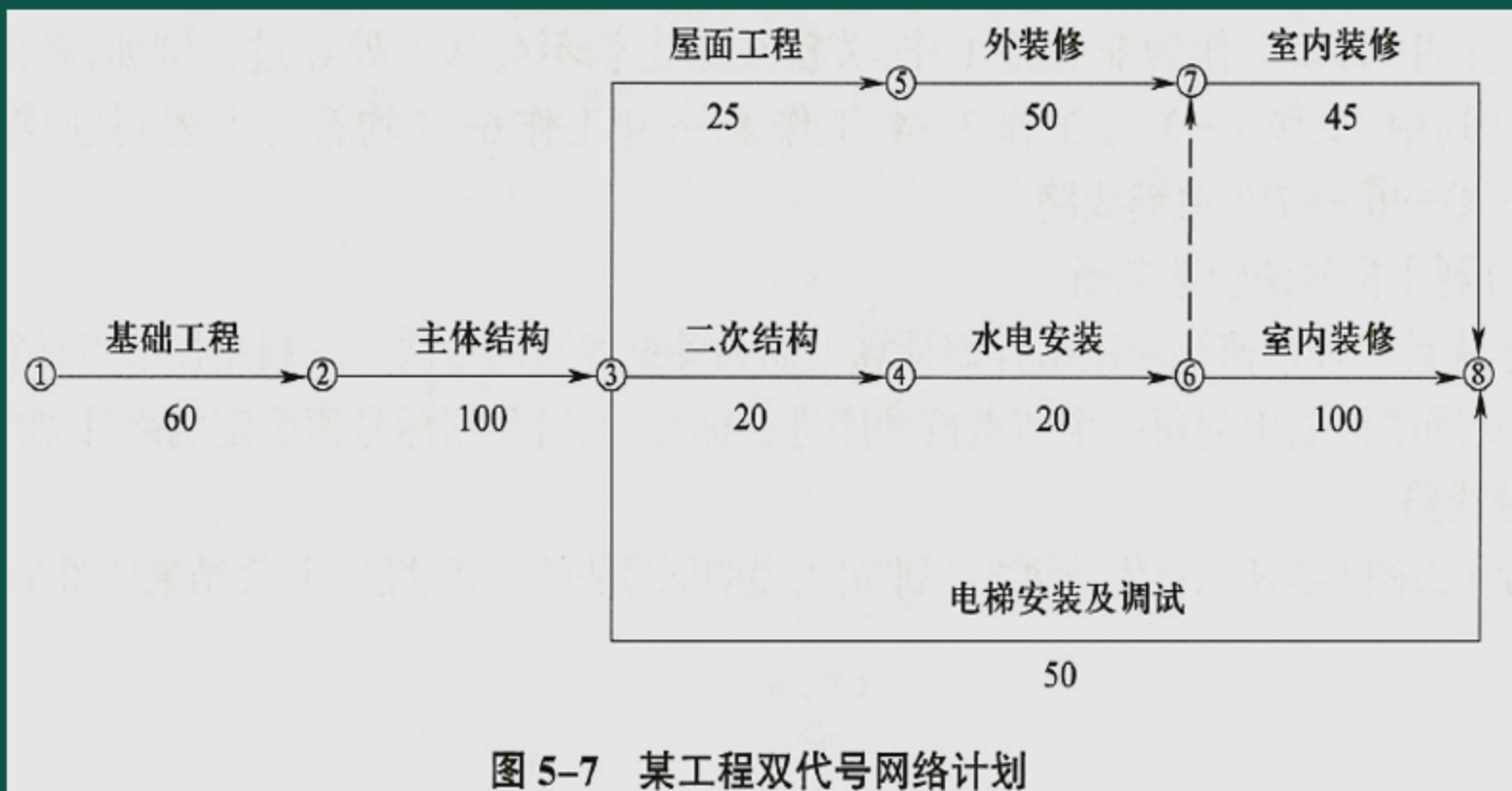


图 5-7 某工程双代号网络计划



第二节 双代号网络计划

(1) 本工程网络计划的计算工期为 () 天。

A.210

B.245

C.280

D.300



第二节 双代号网络计划

答案：D

解析：关键线路为①→②→③→④→⑥→⑧,总工期为300

天。



第二节 双代号网络计划

(2) 本工程网络计划中的关键工作数量为 () 项。

A.3

B.4

C.5

D.6



第二节 双代号网络计划

答案：C

解析：关键工作分别为基础工程、主体结构、二次结构、水电安装、室内装修。



第二节 双代号网络计划

(3) 关于本工程网络计划中外装修工作时间参数的说法, 正确的为 ()。

- A. 最早开始时间为第186天
- B. 最迟开始时间为第206天
- C. 总时差为零
- D. 自由时差为零



第二节 双代号网络计划

答案：A、B、D

解析：外装修工作最早开始时间为185天（实际为第186天上班时刻），最迟开始时间为205天（实际为第206天上班时刻），自由时差为零。



第二节 双代号网络计划

(4) 本工程网络计划中, 电梯安装及调试工作总时差为
() 天。

A.30

B.60

C.90

D.120



第二节 双代号网络计划

答案：C

解析：电梯安装及调试工作与二次结构、水电安装、室内装修三项关键工作平行作业，总时差为 $140-50=90$ （天）。