

工程施工网络计划的时差分析与利用

魏道昇

(重庆交通学院管理系 630074)

摘要

工程施工网络计划中的工序时差是工序可利用的机动时间。总时差与自由时差以及独立时差之间存在着内在的联系,研究它们之间的关系有助于我们进行计划的编制、调整以及在施工中对工程进度的控制,从而获得更大的社会效益与经济效益。

关键词:网络计划,时差,时差利用

1 时差的分析

工序的时差一般分为总时差 TF (Total Float) 和自由时差 FF (Free Float) 以及独立时差 IF (Independent Float)。

总时差是一个工序在不影响整个工程按期完工条件下所拥有可利用的机动时间的最大值。

$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} \quad (1)$$

或 $= LT_j - ET_i - t_{ij}$

自由时差是一个工序在不影响紧后工序最早可能开工条件下所拥有可利用的机动时间的最大值。

$$FF_{ij} = ES_{jk} - EF_{ij} \quad (2)$$

或 $= ET_j - ET_i - t_{ij}$

独立时差是一个工序专用而紧前和紧后都不可利用的机动时间。

$$IF_{ij} = \max\{ET_j - LT_i - t_{ij}, 0\} \quad (3)$$

计算值为负数时取零,即无独立时差。

三种时差可用图1表示

为了便于网络计划的讨论一般都设工程的最早结束时间等于工程的最晚结束时间即等于总工期。对于双代号网络计划,工序时差之间有以下几点关系和性质。

1. $LT_i \geq ET_i$ 或 $LF_{ik} \geq ES_{ij}$

∵ 工程最早演束等于工程最晚结束

$$\therefore LS_{ij} \geq ES_{ij}$$

又 ∵ ES_{ij} 是常数, 即以 i 为箭尾节点的工序最早可能开始时间都相同. 而 LS_{ij} 可能不同

$$\therefore \min\{LS_{ij}\} \geq ES_{ij}$$

∵ 根据定义

$$LT_i = LF_{hi} = \min\{LS_{ij}\}$$

$$\therefore LF_{hi} \geq ES_{ij} \text{ 或 } LT_i \geq ET_j$$

2. 一个工序的总时差等于本工序的自由时差加上紧后工序总时差的最小值.

$$\begin{aligned} \therefore TF_{ij} &= LF_{ij} - EF_{ij} \\ &= (ES_{jk} - EF_{ij}) + (LF_{ij} - ES_{jk}) \\ &= FF_{ij} + (LF_{ij} - ES_{jk}) \\ &= FF_{ij} + (LT_j - ET_j) \end{aligned}$$

又 ∵ 根据时间参数的定义

$$LT_{ij} = \min\{LS_{jk}\}$$

$$\begin{aligned} \therefore LT_j - ET_j &= LF_{ij} - ES_{jk} \\ &= \min\{LS_{jk}\} - ES_{jk} \end{aligned}$$

∵ ES_{jk} 是常数

$$\begin{aligned} \therefore LT_j - ET_j &= LF_{ij} - ES_{jk} = \min\{LS_{jk} - ES_{jk}\} \\ &= \min\{TF_{jk}\} \end{aligned}$$

$$\therefore TF_{ij} = FF_{ij} + \min\{TF_{jk}\} \quad (4)$$

上述性质得证, 还可得到:

$$LT_j = ET_j + \min\{TF_{jk}\} \quad (5)$$

上述性质说明自由时差是总时差的一部分, 当非关键工序的箭头节点是关键节点, 则其工序的总时差等于自由时差. 因为关键节点 $LT = ET$.

3. 一个工序的总时差可以等于一条经过其本身工序的线路上所有自由时差之和, 但这条线路必须是自由时差之和为最小值. 因此这样一条特殊的线路必须是到达本工序之前的所有工序自由时差都为零, 而其紧后以及后续工序的自由时差之和应为最小. 前述第 2 点时差性质已证明了工序的总时差是紧后以及后续工序最小自由时差之和所构成, 因为将 $\min\{TF_{jk}\}$ 进一步展开为其自由时差与再紧后总时差最小值之和, 这样总可以展开到 $\min\{TF\} = 0$ 为止. 因此只要证明在本工序之前一定存在一条到该工序的无自由时差的通路, 则该性质得证.

$$\therefore ES_{ij} = \max\{EF_{hi}\} \quad (6)$$

从图 2 可知道, 紧前 $h-i$ 工序中至少有一个最大 EF 等于 ES_{ij} . 这样 $h-i$ 工序中至少就有一个自由时差为零. 由此向前推理, 同样可以找到一个自由时差为零的再紧前工序, 一直到第一道工序为止.

根据该点性质, 一个工序的总时差是本工序和前后一些相关联工序共同可利用的最大值.

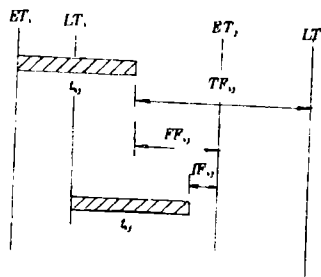


图 1

这正反映了总时差的共享性,而自由时差是总时差的构成部分,除了自己可利用之外,还可被紧前的某些工序所分享,却不能被紧后工序所利用。换句话说,本工序的自由时差可以被紧前工序所占用,而本工序却不能占用紧前工序所拥有的自由时差。

4. 独立时差 IF 是自由时差的一部分,被本工序所独享而不被前后工序所占用。

$$\begin{aligned} IF_{ij} &= \max\{ET_j - LT_i - t_{ij}, 0\} \\ &= \max\{(\dot{ET}_j - ET_i - t_{ij}) - (LT_i - ET_i), 0\} \\ &= \max\{FF_{ij} - (LT_i - ET_i), 0\} \end{aligned} \quad (7)$$

所以独立时差也可等于自由时差减去箭尾节点的时间参数差,当独立时差存在时。

2 时差的利用

2.1 时差利用所表现的形式

时差利用就是使时差量减少,一般反映为工序本身工作时间的增加或工序不能在最早开始时间开工,这两种形式的时差利用最终都反映为工序的最早可能结束时间比原计划推迟。

2.2 利用时差的场合

1) 在编制计划过程中,对计划进行调整与修改,这时因计划未实施,利用时差就要考虑对紧前工序有何影响,原计划如何变化。

2) 在计划的实施过程中,对正在施工的工序和今后的施工计划做出调整与修改,这时利用时差就不需考虑对已施工完的紧前工序的影响。

2.3 利用时差的途径和意义

不论是在做计划还是在工程施工中,我们总是想方设法确保关键线路上的工序不发生延

误,或需加快速度,这样可利用非关键工序有时间富裕量而抽调一部分人力、物力、财力来支援关键工序,一方面非关键工序的时差减少,另一方面确保或加快了工程进度。因此利用前面时差分析中的有关时差间的关系和性质可尽快和合理地对计划进行调整,了解时差利用后对原计划有何影响,将有助于我们调整与修改计划。

2.4 时差利用对原计划的影响

1) 时差利用量 \leq 独立时差 IF

时,对紧前和紧后工序都无影响,只减

少了自己的总时差和自由时差以及独立时差,因此在调整时优先利用独立时差,例如图3中的3~5工序有1个单位的独立时差,如果 t_{35} 由4变成5则对紧前和紧后工序都不影响,本工序

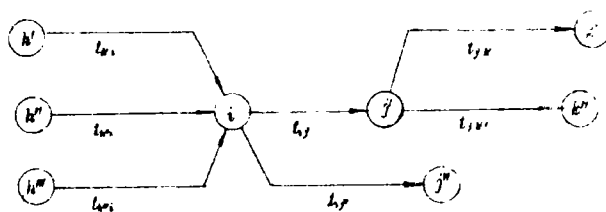


图 2

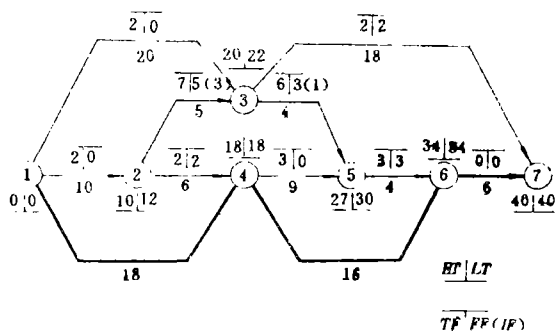


图 3

的时差减少为 $\overline{5|2(0)}$.

2) 时差利用量 \leq 自由时差但大于独立时差时,除了减少自己的总时差和自由时差之外,不影响紧后工序的所有时间参数和总工期,但对于紧前工序的影响要根据时差利用后变动的情况而定.

(a) 如果本工序减少后的总时差大于等于同箭尾平行工序中最小的总时差,则对紧前工序无影响.因为首先本工序不能占用紧前自由时差,其次根据式(4)本工序总时差与同箭尾平行工序总时差相比不是最小值,就不能成为紧前总时差的构成部分,本工序之后的自由时差也就不是该紧前工序总时差的组成,因此不能形成共享的线路.所以对紧前工序无影响.例如图3中的3~5工序 t_{35} 由4变为6,增加2个单位,超过独立时差却小于其自由时差,本工序时差减少为 $\overline{4|1(0)}$,比3~7工序总时差大,所以对紧前工序无影响.

(b) 如果本工序无同箭尾的平行工序或本工序减少后的总时差小于同箭尾平行工序的最小总时差,则就要减少紧前工序的总时差值.这个减少量就是原来总时差的最小值与新的总时差最小值的差值.本工序的箭尾节点 LT 由于总时差减少而相应减少,原 LT 减少该差值或者 $LT_i = ET_i + \min\{TF_{ij}\}$,紧前 ET 不变.紧前工序是否继续对前面工序有影响,以此类推.例如图3中5~6工序的 t_{56} 由4变为5增加1使自由时差少1,则减少后的5~6工序时差为 $\overline{2|2}$,而4~5工序相应变为 $\overline{2|0}$;由于4~6是关键工序,4~5工序总时差仍大,不会继续对前影响.5~6工序时差的减少也造成3~5工序总时差的减少变为 $\overline{5|3(1)}$,其总时差仍大于3~7工序总时差,不会继续对前影响. $LT_5 = 30 - 1 = 29$ 或 $LT_5 = 27 + 2 = 29$.同理2~4工序的自由时差利用也将影响1~2工序的总时差.

由此可知在编制计划时尽量调整总时差值大的自由时差.在施工中尽量利用正在施工的工序的自由时差.

(c) 时差利用量 $>$ 自由时差,但 \leq 总时差时.除了有2)中已分析过的影响外,还要影响紧后工序的最早开始.由于利用量小于等于总时差,不影响工程的总工期,因此对紧后的 LT 参数不影响.对于 $TF > FF$ 的情况,当利用量 $> FF$ 时,就要占用紧后的一部分自由时差,也就是我们前面陈述过的自由时差可以被紧前工序所分享,简单说就是前面可用后面的,后面不能占用前面的.这样一来紧后的总时差相应也要减少.而与本工序同箭头的内向工序由于本工序的利用超自由时差,就势必为这些同箭头的内向工序增加自由时差值,这个增值就是本工序的超自由时差值.虽然紧后的总时差减少了超自由时差值,由于这些内向工序自由时差增加该超值,所以其总时差值仍然不变.本工序的箭头节点 ET 也应加上该超值,由此后推看其是否继续对后有影响.例如图3中3~5工序 t_{35} 由4变成9,增加5,超过只有3个单位的自由时差,超值为2.所以3~5工序的时差减少为 $\overline{1|0}$;5~6工序的时差减少为 $\overline{1|1}$;4~5工序与本工序是同箭头内向工序自由时差增加2,工序时差变为 $\overline{3|2}$,与4~6关键工序相比总时差大,不会对前有影响.由于3~5工序总时差变为1,与3~7工序相比还小,就势必影响1~3和2~3工序,要减少它们的总时差量,1~3工序的时差变为 $\overline{1|0}$;2~3工序的时差变为 $\overline{6|5(3)}$,由于2~3工序总时差仍大于2~4工序总时差,不会对前有影响 $LT_3 = 22 - (2 - 1) = 21$ 或 $LT_3 = 20 + 1 = 21$. $ET_5 = 27 + 2(\text{超值}) = 29$.调整后的网络计划如图4.

(d) 时差利用量 $> TF$ 时,关键线路转移,影响的范围和程序都较大并更复杂.

3 结 论

网络计划中时差之间的关系和性质主要就是总时差具有共享性,它是由线路上一定的自由时差所构成,自由时差是总时差的一部分;独立时差存在时,它是自由时差的一部分,只能本工序独享。因此在利用时差时,如存在独立时差,则优先利用,并对前后工序无影响;其次利用自由时差。这两种时差的利用都减少本工序的总时差和自由时差,自由时差利用不影响紧后工序;但对紧前的影响主要取决于本工序总时差减少后是否小于原来的最小总时差值,如果不小于则不影响紧前工序;否则就要减少紧前工序的总时差,减少量就是原来最小总时差值与现在最小总时差值的

差值,紧前的工序也相应减少,由此向前推理直到不变为止。当自由时差用完后只能利用工序的总时差,事实上这部分总时差是由紧后工序所提供的自由时差,所以要影响紧后,减少了紧后工序的总时差和自由时差,减少值就是本工序超自由时差值,并以该值增加到本工序同箭头的其它内向工序的自由时差中,也是箭头 ET 的增加值。总之,利用时差进行计划的调整就是为了进度控制,研究时差的利用目的就是尽快和合理的调整计划,以最少的资源消耗在人们的控制下使工程按期或提前竣工,从而获得更大的社会和经济效益。

参 考 文 献

- 1 黎谷, 郎荣荣编著. 建筑施工组织与管理. 北京: 中国人民大学出版社, 1987. 59~70

Float Analysis and Utilization of Network Plan for Engineering Construction

Wei Daosheng

(Dept. of Management Engineering)

Abstract

The activity float of network plan in a engineering construction is the time kept in reverse for utilization of activity. There are some relations among the total float, the free float and the independent float. Studing their relations could help us in making and adjusting the plan and in controlling the planned engineering speed, and we can thus get much more in social and economical benefit.

Key words: network plan, float, utilization of float

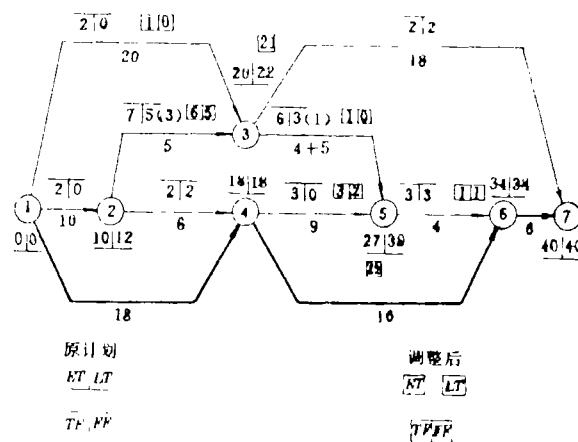


图 4