

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1982

No. 16

流水网络计划方法

Flow Network Planning Method



中国建筑科学研究院

CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

流水网络计划方法是针对我国建筑业推广网络计划方法(CPM)中出现的问题,结合当前计划管理工作的实际水平和需要而研究的新型计划方法。它借鉴了“搭接网络”(BKN)的“顺序”概念,并运用流水理论中“流水步距”原理,设计出“开始时距”等几种辅助箭杆,将建筑流水理论同网络计划方法有机地结合起来,保持了两者的优点,弥补了各自的不足,既简化了网络图形,又解决了存在的矛盾,计算简便,通俗易学。

本方法在试点阶段,又根据施工单位的习惯要求,采用了时间座标流水网络形式,使图形更加形象,并且大大减少了计算步骤,在十几个工程项目的试用中,取得明显效果,深受计划人员和施工管理人员的欢迎。



录

一、前言	(2)
二、流水施工与网络计划方法	(2)
三、流水作业在网络计划中表达上的问题	(3)
四、流水网络计划方法	(4)
五、“时距”的分类与计算	(4)
六、流水网络在施工计划中的应用	(9)
七、时间座标流水网络	(13)
八、试验效果	(13)

Flow Network Planning Method

Institute of Building Economics

Gao Zheng

Abstract

The flow network planning method is a new planning method developed on the basis of the current state and requirements of planning management in china to solve the problems met during the promotion of network planning in the construction industry. By referring to the concept of "Linking relation" from the "Overlap network" and applying the theorem of "Flow step" of the flow theory, several auxiliary arrows such as "Duration of start points" have been designed in the network planning. This new method combines the construction flow theory with the network planning method, retaining the merits of both and making up for the deficiencies of each. The network figure becomes more simple, and the contradictions are eliminated. This method is simple and convenient to compute and easy to learn.

In consideration of the customary requirements of construction enterprises, the "Time scale" is used in the flow network, so that the figure of this network is clearer and the steps of computation fewer. When tried out on more than ten projects, the flow network planning method has achieved notable results and has been accepted with favor by planners and constructors.

流水网络计划方法

建筑经济研究所 高拯

一、前言

前几年,在网络计划电算应用研究过程中,许多参加研究和试点工作的施工计划人员认为,利用电子计算机编算网络计划虽然可以大大减轻手工劳动,并解决计算优化技术的应用问题,但绘制网络图的工作依然十分复杂。特别是建筑工程施工计划的网络图由于采用流水作业方式而变得十分烦琐,为了正确表达各流水段作业的逻辑关系,采用CPM绘制网络时必须增加许多辅助箭杆,绘图工作量及其复杂程度大为增加。不少计划人员就是因为这种原因而不愿采用网络计划方法。

根据以上情况,要使先进计划技术得以推广,只研究电子计算机的应用是不够的,还必须研究解决网络计划技术在建筑业计划中应用的实际问题。即根据我国建筑业计划工作的特点和计划工作的实际水平,解决网络计划技术的适应性改造问题。

1980年在网络计划电算应用研究工作基本完成之后,决定把重点转到网络计划方法本身的改革研究方面。经过分析若干流水施工网络计划图并对流水作业理论进行一些研究之后,于1980年8月写出了“建筑工程流水作业网络方法”草稿。1981年3月,利用总后59241部队举办训练班机会,将草稿作了修改补充,并在训练班作了讲解,受到学员的重视。随后,又将这一方法在几个工程计划中试用,取得明显效果。

流水施工方法早在五十年代初期就开始在我国建筑业推广应用。它运用工业生产中的流水作业原理,对于保持施工活动的连续性和均衡性、充分利用作业时间和空间(工作面)、提高施工效率有显著的作用。因此受到普遍的重视,是多年来我国建筑施工组组与计划工作中应用较为普遍的一种科学方法。网络计划方法(统筹法)的推广应用,又把建筑施工计划工作提高到一个新的水平,在许多方面解决了旧的计划方法所存在的问题。但是,网络计划方法在表达施工流水作业计划方面存在着使计划图表复杂化的问题。更重要的问题是,网络计划方法对于计划优化采取的是“后加工”的方式,而流水施工计划方法对于计划的优化,大部分工作是在前期作处理,这在一定程度上优于网络方法。如何充分发挥二者的优势,既解决流水作业计划网络图的复杂化问题,又综合二者原有的优点,这就是流水网络计划方法的研究目标。

二、流水施工与网络计划方法

流水作业方法采用分段流水搭接施工的方式,它表现在计划安排上的特点,最主要的有以下三个方面:

1. 将整个施工对象(建筑工程)划分为工程量(或劳动量)相等或大致相等的若干个施工段(称为“流水段”);
2. 把整个工程分解成几个施工过程(工序、分项工程、分部工程等),并为每个施工过程组织相应的专业队(组),专门负责各个相应施工过程的施工作业;
3. 各个专业队(组)按一定的施工工艺程序依次地、连续地由一个施工段转移到另一个施工段,重复着同样的施工作业,而各个不同的专业队(组)进行施工作业的时间尽可能地搭接起来。

流水作业方法最突出的优点在于流水施工能充分利用时间和空间，从而加快施工进度；由于保持施工作业的连续性和节奏性，能达到较好的均衡性指标，改善施工的组织管理状态，达到节省施工费用、降低工程成本的目的；而组织专业队的连续作业又可以加快工人操作技术的提高，有利于提高劳动效率。

网络计划方法是一种编制计划、调整计划的新技术。它的作用最突出的方面表现在能帮助人们从错综复杂的工作任务中找出事物的内在规律，分清工作的主次，明确关键之所在。同时，它所提供的一套计划时间计算方法和计划优化、调整技术适合于采用现代化计算工具——电子计算机进行运算，从而提高计划管理工作的效率和水平。这种方法与流水作业方法在提高建筑施工管理水平方面的作用都是十分明显的，但两者不仅技术方法上不同，而且作用的侧重点也不相同。因为它们各自具有的许多优点是彼此独立的，使两者的结合应用问题多年来没有很好地解决，在一定程度上影响了这两种方法的推广应用。

三、流水作业在网络计划中表达上的问题

网络计划方法在国内建筑施工计划中应用以来，流水作业计划的表达方式一直是大家十分关心的问题，不少计划人员曾为解决这一问题进行过多方面的改革尝试，但至今仍未获得较理想的结果。

两种方法结合使用中尚未解决的问题，主要是以下两个方面：

1. 采用现有的网络计划方法表达流水作业的办法过于繁琐，网络图的绘制和计算工作量大。

以一个基础工程流水施工网络为例。

设该基础工程分四个流水段作业，采用CPM方法所画的网络图如图1。

图1基础工程仅有16个“活动”（流水小节），而零箭杆就有12个。此时零箭杆与“活动”箭杆数量之比为3：4。如果划分的流水段和施工过程的数目增加，这个比值将进一步增大。詹锡奇同志根据网络构图规律分析得出，零箭杆的最低数目如下：

$$J^{\circ}\min = 2(m \cdot n + 2) - 3(m + n)$$

式中： $J^{\circ}\min$ ——零箭杆的最低限度数目

m ——流水段数

n ——施工过程数

上例中 $m = 4$ 、 $n = 4$ 所以

$$J^{\circ}\min = 2(4 \times 4 + 2) - 3(4 + 4) = 36 - 24 = 12$$

当 $m = 9$ 、 $n = 6$ 时，“活动”箭杆数为 $m \times n = 36$ ，而零箭杆最低限度的数量为：

$$J^{\circ}\min = 2(6 \times 6 + 2) - 3(6 + 6) = 40$$

此时，零箭杆的数目已超过“活动”箭杆，即上述比值超过1。

由此可见，大量的零箭杆将使流水施工网络计划的图形复杂化，计算的工作量也大为增加，势必影响网络计划方法的应用效率。

2、一般的网络计划方法不能处理流水作业中专业队作业的连续性要求，因此大大削弱了流水作业计划的重要优点。

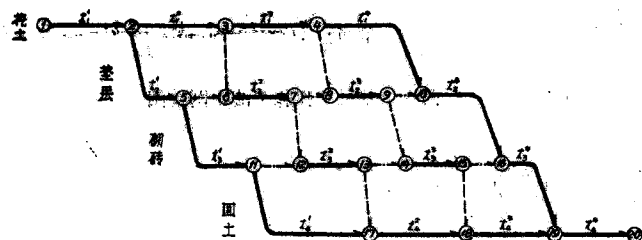


图1 基础工程流水作业网络(CPM)

如前所述，施工作业连续性是保证达到好的均衡性指标的重要条件之一，也是流水施工最基本的特点。但是，现有的网络计划方法在保持专业队连续作业的时间安排上并没有相应的处理办法，不能保证流水作业计划的这一基本要求。

为了克服目前所存在的这两个突出问题，提出“流水网络计划方法”，作为目前采用的网络计划方法的一种补充形式供建筑施工单位在编制施工计划时与网络计划方法配合使用。

四、流水网络计划方法

1. 流水网络的基本形式

流水网络的特点是：每一个施工过程的专业队在若干流水段的连续作业用一个箭杆表示，该专业队在相应各流水段上作业时间的总和作为该箭杆的延续时间。将一个施工过程的专业队作业合并在一个箭杆之中，并增设两种辅助箭杆（“开始时距”与“结束时距”。本文规定“时距”一律以“细实线”箭杆表示），既简化了流水作业网络图的绘制和时间计算工作，又可以保证网络计划时间计算的结果保持专业队作业不致间断。

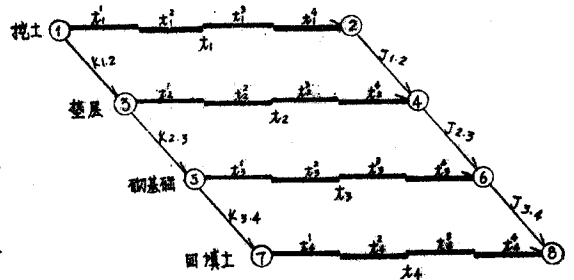


图2 基础工程施工流水网络图

按照上述特点，图1表示的基础工程采用流水网络方式处理的结果如图2。

图中： $K_{i,i+1}$ ——开始时距（即“流水步距”）

$J_{i,i+1}$ ——结束时距

t_i ——第*i*个专业队在各流水段作业时间之和

（例： $t_1 = t_1^1 + t_1^2 + t_1^3 + t_1^4$ ）

2. “时距”的性质及作用

流水网络中运用“开始时距”（ $K_{i,i+1}$ ）和“结束时距”（ $J_{i,i+1}$ ）代替工序关系连接线，它既是为了满足网络构图的连接要求，更重要的是可以达到保持专业队连续作业的目的。

“时距”与零箭杆的区别在于：“时距”箭杆包含了“时间长度”。

“开始时距”就是流水作业方法中的“流水步距”。根据流水施工原理，“流水步距”是指相邻两个专业队（或两个施工过程）进入第一个流水段进行施工作业的时间距离（在组织几个施工对象进行大流水作业时，流水步距也可以表示相邻两个施工对象开始流水作业的时间间距）。确定适当的“流水步距”，目的在于保证投入流水的各个专业队能连续地进行施工作业。同时，流水网络采用“开始时距”来保证专业队作业不会产生作业时间中断。这样可以在网络计划中保存流水施工计划固有的重要特点。

“结束时距”是指两个相邻施工过程退出最后一个流水段的时间距离。引进这个指标（辅助箭杆）的目的在于处理流水作业箭杆之间的正确连接，并保持相邻施工过程作业时间的合理关系。

五、“时距”的分类与计算

流水网络中的“开始时距”完全应用流水理论中“流水步距”的概念。因此，它的分类

计算方法也与“流水步距”一致。“开始时距”的时间计算根据流水作业的分类不同，有三种方式：

1. 等节奏流水的“开始时距”

在流水施工中，通常将一个专业队在一个流水段上的作业时间叫做“流水节拍”，用 t_i^j 表示，其中下标 i 为专业队编号，上标 j 为流水段编号($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

在一组流水作业中，当其中各个专业队在所有流水段上的作业时间完全相等，即所有的流水节拍都相等时，这一组流水就叫做“等节奏流水”。用数学式表示，等节奏流水的特点是：

$$t_1^1 = t_1^2 = \dots = t_1^m = t_2^1 = \dots = t_2^m = \dots = t_n^1 = t_n^2 = \dots = t_n^m$$

$$= t_s^1 = t_s^2 = \dots = t_s^m = \dots = t_s^m$$

等节奏流水的施工作业计划举例如下：

(1) 横道图形式

等节奏流水进度表 表 1

时间 流水段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	t_A^1	t_A^2	t_A^3	t_A^4	t_A^5	t_A^6	t_A^7	t_A^8	t_A^9	t_A^{10}				
B		t_B^1	t_B^2	t_B^3	t_B^4	t_B^5	t_B^6	t_B^7	t_B^8	t_B^9	t_B^{10}	t_B^{11}	t_B^{12}	t_B^{13}
C			t_C^1	t_C^2	t_C^3	t_C^4	t_C^5	t_C^6	t_C^7	t_C^8	t_C^9	t_C^{10}	t_C^{11}	t_C^{12}

注：A过第五段应为 t_A^5

(2) 垂直图形式

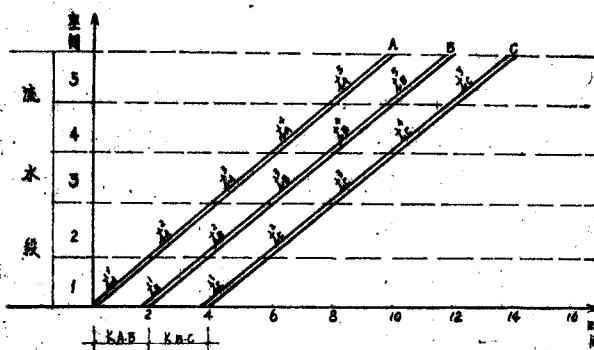


图3 等节奏流水垂直进度图

等节奏流水的“开始时距”按下式计算：

$$K_{i, i+1} = t_i^1 \dots (1)$$

2. 不等节奏流水的“开始时距”

不等节奏流水(也称“异节奏流水”)的特点是：(1)在一组流水中每个专业队各自在每

个流水段内的作业时间(节拍)相等,即 $t_1^1 = t_2^1 = \dots = t_m^1$, (2)、不同专业队之间的流水节拍不完全相等。下面举例为不等节奏流水的一种形式:

不等节奏流水施工进度表 表2

时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	4	4	4	4	4	4	4	4								
B				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C									2	2	2	2	2	2	2	2

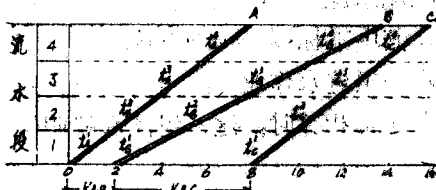


图4 不等节奏流水垂直进度图

例中: $t_A^1 = t_A^2 = t_A^3 = t_A^4$; $t_B^1 = t_B^2 = t_B^3 = t_B^4$; $t_C^1 = t_C^2 = t_C^3 = t_C^4$ 。

但 $t_A^1 \neq t_B^1$; $t_B^1 \neq t_C^1$

对于“不等节奏流水”，“开始时距”按不同情况分两种方法计算:

$$K_{i,i+1} = \begin{cases} t_i^1 & (\text{当 } t_i^1 < t_{i+1}^1 \text{ 时}) \dots\dots (2) \\ t_i^1 + (t_i^1 - t_{i+1}^1)(m-1) & (\text{当 } t_i^1 > t_{i+1}^1 \text{ 时}) \dots\dots (3) \end{cases}$$

式中: t_i^1 ——紧前施工过程的流水节拍

t_{i+1}^1 ——紧后施工过程的流水节拍

m ——流水段的个数

表2例中:

因为 $t_A^1 < t_B^1$, 故 $K_{A,B} = t_A^1 = 2(\text{天})$

而 $t_B^1 > t_C^1$, 故

$$K_{B,C} = t_B^1 + (t_B^1 - t_C^1)(m-1) = 3 + (3-2)(4-1) = 6(\text{天})$$

3. 无节奏流水的“开始时距”

前述两种流水有一个共同点, 就是每个专业队内部都有一个统一的流水节拍, 因此都称为“节奏”流水(“等节奏”或“异节奏”流水)。如果一个流水组中有一个(或多个)专业队在各流水段上的作业时间不完全相等 ($t_i^1 \neq t_{i+1}^1$) 便属于“无节奏流水”。举例如下:

无节奏流水施工进度表 表3

时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	4	4	4	4	4	4	4	4								
B				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C									2	2	2	2	2	2	2	2

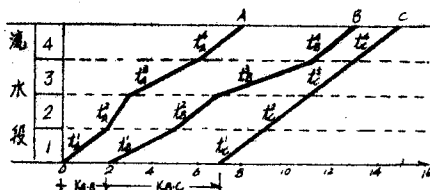


图5 无节奏流水垂直进度图

上例流水中, 虽然C专业队是有节奏的, 但A和B两个专业队的作业是非节奏的, 即 $t_A^1 \neq t_A^2 \dots\dots$, $t_B^1 \neq t_B^2 \neq \dots\dots$, 因此属于无节奏流水。对于这类情况, “开始时距”按下式计算:

$$K_{i,i+1} = t_i^1 + \text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^{m-1} t_i^{j+1} - \sum_{j=1}^{m-1} t_{i+1}^j \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{并应满足 } K_{i,i+1} \geq t_i^1 \dots\dots\dots (5)$$

式(4)中的 $\text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^{m-1} t_i^{j+1} - \sum_{j=1}^{m-1} t_{i+1}^j \right\}$ 是指在下列几个数据结果中选择最大的一个数。即在

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i^2 - t_{i+1}^1 \\ (t_i^2 + t_i^3) - (t_{i+1}^1 + t_{i+1}^2) \\ (t_i^2 + t_i^3 + t_i^4) - (t_{i+1}^1 + t_{i+1}^2 + t_{i+1}^3) \\ \vdots \\ (t_i^2 + t_i^3 + \dots\dots\dots + t_i^m) - (t_{i+1}^1 + t_{i+1}^2 + \dots\dots\dots + t_{i+1}^{m-1}) \end{array} \right\} \text{中找出最大的一个得数}$$

作为参加计算的值。

现以图五为例计算如下:

$$K_{A,B} = t_A^1 + \text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^{4-1} t_A^{j+1} - \sum_{j=1}^{4-1} t_B^j \right\}$$

根据图五可直接得知 $t_A^1 = 2$ (天), 而式中后半部分计算较为麻烦, 必须从 $j=1$ 到 $j=3$ 作三组计算, 然后以其中最大的一个得数参加最后的计算, 其步骤如下:

$$j=1 \text{ 时, } t_A^{1+1} - t_B^1 = t_A^2 - t_B^1 = 1 - 3 = -2$$

$$j=2 \text{ 时, } (t_A^{1+1} + t_A^{2+1}) - (t_B^1 + t_B^2) = (1 + 3) - (3 + 2) = -1$$

$$j=3 \text{ 时, } (t_A^{1+1} + t_A^{2+1} + t_A^{3+1}) - (t_B^1 + t_B^2 + t_B^3) \\ = (1 + 3 + 2) - (3 + 2 + 4) = -3$$

$$\text{其中最大者, 即 } \text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^{4-1} t_A^{j+1} - \sum_{j=1}^{4-1} t_B^j \right\} = -1$$

按公式(4)得 $K_{A,B} = 2 + (-1)$

但是因为结果还必须满足式(5)的条件(即 $K_{i,i+1} \geq t_i^1$)

所以最后应取 $K_{A,B} = t_A^1 = 2$ (天)

$$K_{B,C} = t_B^1 + \text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^{4-1} t_B^{j+1} - \sum_{j=1}^{4-1} t_C^j \right\}$$

$$\text{当 } j=1 \text{ 时, } t_B^2 - t_C^1 = 2 - 2 = 0$$

$$j=2 \text{ 时, } (t_B^2 + t_B^3) - (t_C^1 + t_C^2) \\ = (2 + 4) - (2 + 2) = 2$$

$$j=3 \text{ 时, } (t_B^2 + t_B^3 + t_B^4) - (t_C^1 + t_C^2 + t_C^3) = (2 + 4 + 2) - (2 + 2 + 2) = 2$$

其中最大者为2，所以

$$K_{B,C} = t_B^1 + 2 = 3 + 2 = 5(\text{天})$$

4.无节奏流水开始时距的表算法

根据无节奏流水的开始时距计算公式，可采用列表的方法简化计算步骤，每项开始时距计算的表式如下：

开始时距表算格式

表 4

$\sum_{j=1}^{m-1} t_i^{j+1}$	(1)	t_i^2	$t_i^2 + t_i^3$		$t_i^2 + \dots + t_i^m$	$t_i^1 =$
$\sum_{j=1}^{m-1} t_{i+1}^j$	(2)	t_{i+1}^1	$t_{i+1}^1 + t_{i+1}^2$		$t_{i+1}^1 + \dots + t_{i+1}^{m-1}$	
$K_{i,i+1}^j$	(1)-(2)	$K_{i,i+1}^1$	$K_{i,i+1}^2$		$K_{i,i+1}^{m-1}$	$\text{Max } K_{i,i+1}^j$
$K_{i,i+1}$						$t_{i+1}^1 + \text{Max}[K_{i,i+1}^j]$

以表3(图4)计划为例，采用表算如下：

$K_{A,B}$ 的计算：

表 5

(1)	1	(1 + 3 =)4	(4 + 2 =)6	$t_A^1 = 2$
(2)	3	(3 + 2) 5	(5 + 4 =)9	
(1) - (2)	-2	(4 - 5) -1	(6 - 9 =) -3	$\text{Max}_j -1$
$K_{A,B}$				2

$K_{B,C}$ 的计算：

表 6

(1)	2	(2 + 4 =)6	(6 + 2 =)8	$t_B^1 = 3$
(2)	2	(2 + 2 =)4	(4 + 2 =)6	
(1) - (2)	(2 - 2) 0	(6 - 4) 0	(8 - 6 =)2	$\text{Max}_j 2$
$K_{B,C}$				3 + 2 = 5

比较熟练的条件下,也可进一步简化列表方式,如上例计算简化为:

$$(\Sigma t_A) : 1; (1+3); 4; (4+2); 6$$

$$-) (\Sigma t_B) : 3; (3+2); 5; (5+4); 9$$

$$(K_{A \rightarrow B}^I) : -2; -1; -3$$

因为 $K_{A \rightarrow B}^I < 0$, 所以 $K_{A \rightarrow B} = t_A^I = 2$ (天)

$$(\Sigma t_B) : 2; 6; 8$$

$$-) (\Sigma t_C) : 2; 4; 6$$

$$(K_{B \rightarrow C}^I) : 0; 2; 2$$

$$K_{B \rightarrow C} = t_B^I + \text{Max} K_{B \rightarrow C}^I$$

$$= 3 + 2 = 5 \text{ (天)}$$

5. “结束时距” ($J_{i, i+1}$) 的确定

引入“结束时距”这一辅助箭杆的目的,除了为满足网络构图要求之外,另一个重要作用就是保证相邻两个专业队在最后一个流水段上作业时间的最低限度的间隔。因此,“结束时距”可按通常的流水作业要求取值,其计算式是:

$$J_{i, i+1} = t_{i+1}^m \quad \dots\dots (6)$$

式中 t_{i+1}^m ——紧后施工过程在最后一个(第m个)流水段上的作业时间。

对于有节奏或无节奏的各类流水作业均采用式(6)计算。

六、流水网络在施工计划中的应用

流水网络只用于施工计划网络中有关流水作业的某个局部,属于整个计划网络的组成部分。因此,处理流水网络同整体计划网络中非流水作业箭杆的连接,是必须解决的问题。这种连接关系大致可分为三种类型,分别按下述方法处理。

1. 流水网络只有某些箭杆的端点与其他非流水作业箭杆存在连接关系

此类情况如图6举例:

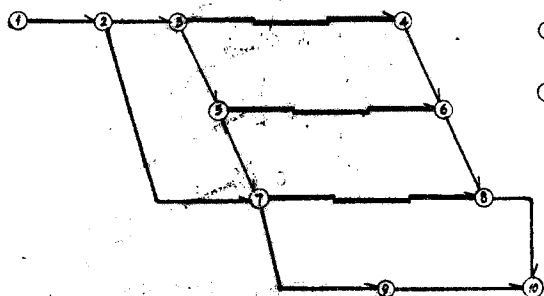


图 6 流水网络端部外接图例

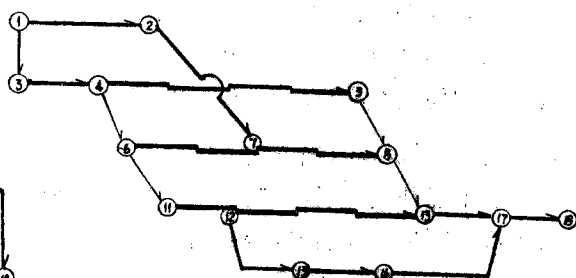


图 7 流水网络内点外接图例

对于此类情况,流水网络的一切处理方法均按前面所介绍的方法进行。而流水作业以外的工序(施工过程)同流水网络各箭杆的连接以及非流水箭杆之间的连接,全部按通常双代号网络的有关方法处理。时间指标的计算也没有新的要求。

2. 流水网络某些箭杆的内部与非流水工序(施工过程)箭杆存在连接关系

如图7所示:

这类情况又可分为两种不同类型,一是外部箭杆指向流水网络(称“进点”),如图7中的②→⑦箭杆;二是由流水网络内部向外引出的箭杆(称“出点”),如图7中的⑫→⑮箭杆。对于此类情况,在绘图与时间计算上有不同的要求。现分述如下:

“进点”与“出点”的画法:

为了清楚起见,“进点”及“出点”在流水网络内相关箭杆上的节点小圆圈画在连接处箭杆的上方或下方,既不要将“流水”箭杆切断,也不要使该指向箭头重迭于流水箭杆上。进出点节点的编号规则与其他节点的要求相同。

时间计算的处理方法:

此类网络在时间指标的计算上作如下规定:

(1)流水网络部分的时间指标依然按原来要求进行计算;

(2)对于“进点”连接的流水网络箭杆,被“进点”分割的两段必须另作时间标注,分别参加计算。以图七中⑥→⑧这一流水箭杆为例,除⑥→⑧作为一个箭杆参加计算之外,⑥→⑦和⑦→⑧又应作为两个箭杆参加计算;

(3)对于“出点”连接的情况,则只需增加被分割的流水箭杆的首段作为另一箭杆参加计算。如图七中的⑪→⑬箭杆,它只需增加⑪→⑫这一段的时间指标参与计算。

3. 流水网络中流水工序(施工过程)箭杆内部存在连接关系

如图8例:

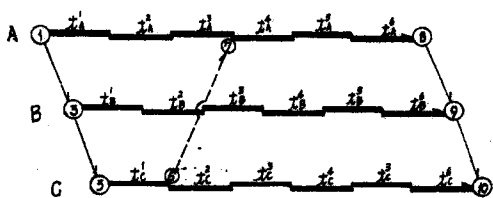


图 8 流水网络内点互接图例

这种类型的节点处理及时间指标计算,在一般情况下,与第二类相同。但是,这种内部连接关系在个别情况下可能存在着矛盾,必须作特殊处理。例如,图8中设想A过程为砌墙,B为圈梁,C为盖板,如果流水段1、2,3、4和5、6分别为三个楼层,此时 t_1^3 必须推迟开始时间。而为了保持A工作的不间断, t_1^3 的推迟需要将①节点往后拉(开始时间推迟)。可是①节点开始时间推迟又将影响到节点③、⑤的开始时间,即推迟 t_1^3 的开始时间。这就产生一种循环性无法弥合的矛盾,图8的形式在这种条件下就不能成立了。

当流水网络中出现此类问题时,应当改换图式。上例矛盾问题可以采用图9方式解决。

这种矛盾的产生,通常是由于流水施工方案确定得不合理造成的。因此这类问题应该在施工组织方案阶段解决。根据流水施工计划原理,在分层形成工作面的分段施工中,每个楼

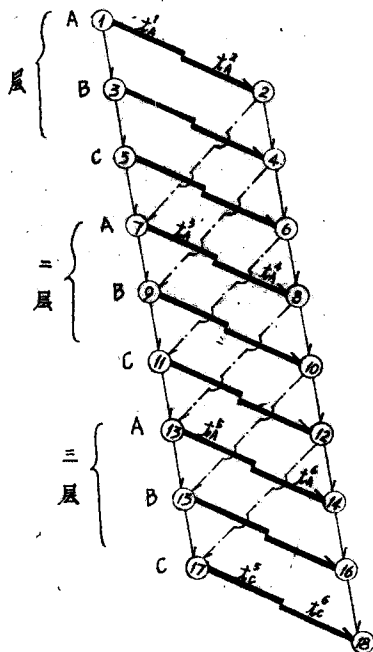


图 9 分层流水特殊处理图例

流水段数(用符号 m' 表示)与施工过程数(n)必须满足下列关系:

$$m' \geq n \quad \dots\dots\dots (7)$$

当 $m' < n$ 时,必然造成窝工(因为一个施工层的流水段数——工作面不足以容纳有关专业队)。在这种情况下,采用图9形式虽然解决流水网络的正确表达问题,但却掩盖着流水组织的不合理。

这种问题不可避免时,可以利用式(7)作为判断依据,当 $m' \geq n$ 时应采用图8形式,若 $m' < n$,则应当用图9的表达方式。

4. 流水箭杆的合理中断

在建筑工程施工中,施工过程流水的连续性要求并不是绝对的。追求连续流水的目的在于充分发挥人力、机械的效率,也是为了缩短工期。但是,在许多情况下,片面强调所有施工过程的连续,结果可能是不合理的。如图10表示的某基础工程流水施工,为了保持“垫层”施工作业的连续,“挖土”与“垫层”的开始时距必须拉大($K_{A,B} = 21$ 天),这就造成了两个不合理现象,一是使整个工期拉长了($T = 48$ 天),另一个是基础挖完土之后不能立即做垫层,容易引起塌方。

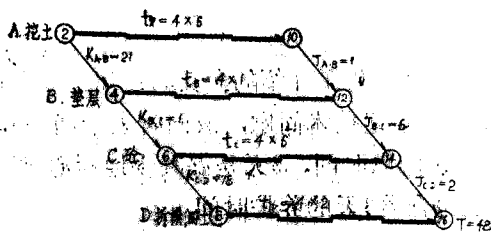


图 10

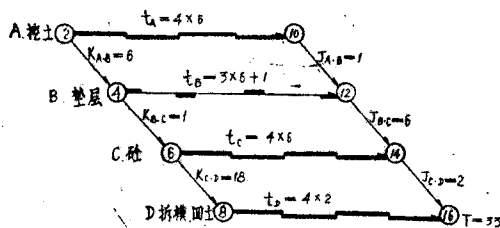


图 11 流水箭杆中断处理

如果把“垫层”施工改为间断作业,施工一天中断五天(如图11),结果不但工期可以缩短($T = 33$ 天),而且各段挖土完后立即做垫层,比前者更为合理。

这里将箭杆④—⑩的中断处理用单线连接。关于中断的图形表达方式,也可以采用其他的线条,最好是采用“点划线”(—·—)表示,以说明这是施工队组的作业中断(窝工)。

5. “时距”应用的引伸

流水网络计划中“时距”的概念并非局限于“开始时距”和“结束时距”两种,在建筑施工计划中,还可以应用“时距”的处理功能解决更多的问题。

“搭接网络”(或BKN)方法把施工计划中网络箭杆的逻辑关系分为如下四类:

- (1) 正常顺序(NF);
- (2) 开始顺序(AF);
- (3) 结束顺序(EF);
- (4) 跳跃顺序(SF)。

上述四种关系的处理方式,可以解决施工计划网络所遇到的各种逻辑关系表达问题。其中“开始顺序”与“结束顺序”,类似于本文流水网络中的“开始时距”与“结束时距”。同样,“正常顺序”与“跳跃顺序”的逻辑表达,应用流水网络的“时距”概念完全可以处理。现将两者的概念及其表达方法对比如图12。

施工过程到达节点⑩的“最早可能完成时间”为： $K_{1,2} + K_{2,3} + t_3 = 5 + 16 + 12$
箭杆为35天，则整个基础工程还有2天的“时差”可以利用。如果计算结果相反
(在关键线上)，则说明该计划方案不能满足要求，必须作进一步调整。

七、时间座标流水网络

流水网络计划方法于1981年在十几项工程上试用。试点时，根据施工单位的建议，采用
时间座标网络的形式，得到许多意想不到的效果。在时间座标上绘制流水网络计划，丰富
了这种计划方法的表达能力，图形进一步简化。总结这一阶段的经验，流水网络计划采用时
间座标形式的优点是：

(1) 可以免去网络计划时间指标计算这项较复杂的工作；

(2) 解决了一部分网络构图、理论分析方面存在的复杂化问题。

例如，住宅工程常见的楼层结构施工中砌墙、圈梁和盖板这几个施工过程的流水作业，在普
通的网络计划方法或流水网络计划方法的理论和实际上都存在较难处理的问题，但在时间座
标流水网络中，根据实际情况可以简单处理解决；

(3) 网络计划图各活动箭杆的关系既有工艺技术约束，又有组织约束，当不采用时间
座标时，这些约束都必须表达出来（因为不能直观地分辨各种约束谁属关键），网络图必然
比较复杂。在时间座标上绘流水网络，则可以直观地分别出各种约束的地位（重要程度），
采取相应的详略措施，使图形进一步简化；

(4) 流水网络方法中，时距指标的计算是难点，在时间座标中排流水网络，则可以用
直观的简单办法作处理，完全不必经时距指标的计算；

(5) 在时间座标上排计划，随时可以估量均衡指标的水平，为计划的优化提供方便；

(6) 这种形式的计划图表适应了计划人员和基层施工人员的习惯，他们一瞧就懂，施
工活动的彼此联系、时区概念一目了然。很受他们欢迎。

图16为试点中的一个计划，它属于一个基层施工单位的季度施工综合平衡计划，以工种
劳动力的均衡为主排出三个工程综合的流水网络计划，不同工种的流水用不同的颜色标明，
队（组）人数及施工过程名称标注在线段前端。

八、试验效果

一九八一年七月间，某单位有一批限期竣工的工程任务，决定采用流水网络方法编制这
批工程的施工计划。第一步，先以这些工程中任务比较艰巨复杂的某高层住宅装修工程作试
点。经过反复调查研究，根据计划人员的要求，这个施工计划采用带时间座标的流水网络形
式编排。第一个计划方案排出之后，经过简单交底，从各级领导到施工人员都能看懂，并认
为这种流水网络比以往的网络计划更能突出要点，箭杆少，容易看。特别是对这个流水网络
计划图表所采用的标注方式很感兴趣。随后又接连用同一方法编排了四个工程的施工计划
（合计十二个幢号，建筑面积约二万平方米），其中大部分是住宅群的施工计划，有一个是
某工程队的季度施工综合平衡计划（见图16）。

这次编排的五个流水网络计划执行情况都很好，有关工程已经如期（或提前）完工。施
工管理人员也都非常欢迎这种新的计划方法，认为流水网络计划方法除了因组织流水施工并
用了网络法的统筹原理所表现的优点之外，还有下列一些作用比较突出：

(1) 计划图表简单明了，便于弄清施工进度关系，没有系统学习过网络计划技术的基

层施工人员，也能看懂；

(2) 计划进度线既表达了流水节拍，又明确工艺上的逻辑关系，计划管理人员认为这种计划既满足了计划管理上的基本要求，又大大简化了图形，应用比较方便；

(3) 带时间座标的流水网络，只要掌握流水施工组织（计划）的基本方法，编绘计划图表比较简便，基本上可以免去时间指标计算这个环节，这种方法对于中小型规模的施工计划非常实用。

流水网络计划方法的第一阶段研究，在理论上仅解决了一些基本的问题，江景波教授和田名誉教授先后对此方法的理论研究提出一些宝贵的意见，为进一步的研究指出了方向。由于试点中遇到了新的情况，在实践过程中对这一方法的进一步研究也提出了新的要求。为了给本方法的深入研究打好基础，决定先将工作重点放在实验上，在更多的试点工程中完善“时间座标流水网络”，然后，再在理论上进行深入一步的探讨。

江景波教授、田名誉教授、黎谷教授以及其他几位专家对本专题的研究给予热情指导，特表谢意。

参考资料：

- 1、“流水施工基本原理”……………（苏）布德尼科夫 等著
江景波 译
- 2、“建筑施工组织学”…………… 同济大学施工教研组 编
- 3、“统筹方法平话及补充”…………… 华罗庚 著
- 4、“建筑企业管理讲座记录”……………（西德）B·玛埃台尔 1980年10月