
建筑施工流水作业 最小施工段数及总工期的 一般计算公式

貝 效 良 著

建 筑 工 程 出 版 社

內 容 提 要

本文从理論上对建筑施工流水作业中施工段数与总工期的計算方式进行了分析和探討。其中包括：單班制固定節拍正常流水中的計算公式；單班制成倍節拍正常流水中的計算公式；單班制固定節拍但各層施工过程数不相等时的流水計算公式；單班制成倍節拍但各層劳动量不相等时的流水計算公式；复班制固定節拍正常流水的計算公式；复班制成倍節拍正常流水的計算公式；最小施工段数的普遍計算公式和总工期的普遍計算公式。

文后并附有例題四則。

本書可供大学土建系师生及建筑施工人員参考。

建筑施工流水作业最小施工段数及

总工期的一般計算公式

貝 效 良 著

建筑工程出版社出版（北京市阜成門外南鐘士路）

（北京市書刊出版業營業許可証出字第052號）

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號672 33千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 $1\frac{1}{2}$ 插頁 1

1957年10月第1版 1957年10月第1次印刷

印數：1—950册

定價(11) 0.36 元

目 录

一、引 言	3
二、本文所用符号	4
三、各种类型流水作业中施工段数与工期的 公式及其讨论	5
1. 流水作业的类型	5
2. 施工段数及工期计算公式	6
四、最小施工段数 N_0 各个计算式的讨论及其普遍公式	36
五、总工期 T 各个计算式的讨论及普遍公式	39
六、结 语	41
七、例 题	42

一 引 言

建筑施工組織最主要的任务是保証建筑工程的进行能滿足下列两个条件:

- (1) 以最經濟的經濟費用完成工程;
- (2) 在規定的工期內(或更短的時間內)完成工程。

这两个条件在絕大多數的情况下是彼此相联而且一致的。在
同一工程中較短的工期往往能使成本降低。因此核算工程所需要的
工期,是編制施工組織設計所不可缺少的一步。

建筑工期的長短与許多条件有关:諸如施工对象的結構性質,
建筑形式及工程量大小;建筑施工中机械化与工廠化的程度,所采
用的施工方法和技术措施;投入生产的工人数量、熟練程度以及整
个流水作业的組織等。这些条件都在不同程度上影响工期。

在一定的客觀条件下,为了要获得較短的工期,編制施工組織
設計时就必需考虑到:施工对象的施工层和施工段的划分;施工过
程数和工作队数的决定;單位流水中流水步距的選擇;單班制或复
班制的采用等因素对流水作业的影响。

由于上述各种因素的不同組合,形成各种不同类型的流水方
式。目前有关施工組織設計的教科書和参考書中,对于不同类型
流水方式的最小施工段数及工期的核算,采用了不同的公式,而且
对于各种流水方式的討論也远不完全。

本文拟就不同类型流水的計算公式加以討論,并綜合成为一
个普遍公式;期能应用到各种情況下之最小施工段数及工期的
計算。

二 本文所用符号

本文所用符号如下:

N_0 ——施工对象中一个施工层内的施工段数。

j ——施工对象的施工层数。

N ——整个施工对象中施工段数的总和 $N = jN_0$ 。

M ——单位流水中之施工过程数。

b_i ——各个施工过程中之工作队数。

n ——单位流水中所有施工过程的工作队数总和。

$n = \sum_{i=1}^M b_i$

m ——单位流水中某些层缺少了或增多了施工过程时; 该层的施工过程中的工作队数总和。

t_i ——各个施工过程在一个施工段中的工作节拍(以班计)。

t_{max}, t_{min} ——当各层劳动量不等时, 同一施工过程在各层施工段中最大与最小之工作节拍。

p ——同一施工过程中最大与最小工作节拍之比。

$p = \frac{t_{max}}{t_{min}}$

K ——流水步距。

K_0 ——复班制时实际流水步距所需的时间。(以天计)

T ——单位流水的总工期(以天计)。

S ——一天中的工作班数。

Z_0 ——同一施工段在相繼层进行工作时所需要的技术停歇

時間。(以天計)

Z ——同一施工段在同一層進行工作時所需要的技術停歇時間。(以天計)

T_1 ——一個施工過程做完一層中所有各段所需的工作時間。(以班計) $T_1 = \frac{N_0 t_1}{b_1}$

W ——所有施工過程做完一個施工段所需的工作時間。
(以班計) $W = \sum_1^M t_i$

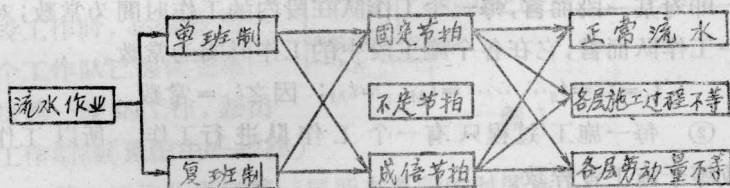
ΔT_1 ——當各層勞動量不等時，同一施工過程做完勞動量較小一層所需時間與做完勞動量最大一層所需時間的差數。

$$\Delta T_1 = \frac{N_0 t_{max}}{b_1} - \frac{N_0 t_1}{b_1} = \frac{N_0}{b_1} (t_{max} - t_1)$$

三 各種類型流水作業中施工段數與工期的公式及其討論

1. 流水作業的類型

表 1



流水作業具有許多不同的類型(如表 1 所示)。

最簡單的类型為單班制,固定節拍,正常流水。

最复杂的类型为复班制,成倍節拍,各層施工過程不等,各層

劳动量又不相等时之流水。

不定节拍的流水因本身无一定规律,所以暂不论述。

普遍公式应该符合上列各种类型中之施工段数及工期的计算。

在推导普遍公式之前,应先就上表中有代表性的几种类型的计算式分别加以分析讨论。

2. 施工段数及工期计算公式

- (1) 单班制,固定节拍,正常流水。
- (2) 单班制,成倍节拍,正常流水。
- (3) 单班制,固定节拍,各层施工过程不相等时之流水。
- (4) 单班制,成倍节拍,各层劳动量不相等时之流水。
- (5) 复班制,固定节拍,正常流水。
- (6) 复班制,成倍节拍,正常流水。

以下拟就上述六种类型的流水分别加以讨论。

- (1) 单班制固定节拍正常流水中施工段数与工期的计算。

1) 固定节拍的特点:

① 每一施工过程在每一施工段中工作的延续时间(工作节拍)均为相等。

即对某一段而言,每一个工作队在段内的工作时间为常数;对某一工作队而言,它在各个施工段中的工作时间为常数。

$$t_1 = t_2 = t_3 \cdots \cdots = t_{M-1} = t_M; \text{ 因之 } t_i = \text{常数}.$$

② 每一施工过程只有一个工作队进行工作。所以工作队数等于施工过程数。

$$b_1 = 1, b_2 = 1, \cdots \cdots b_M = 1$$

$$n = \sum_{i=1}^M b_i = M$$

③ 流水步距等于工作节拍。即每隔 t_1 的时间，前一队做完一段工作后将工作前线让出给后一队进入工作。

$$K = t_1$$

④ 在一般情况下，应该使流水均匀而不停歇地进行。即工作队不窝工，工作前线没有停歇。如有必要的技术停歇，则工段间可以容许有停歇，但是工作队绝不应有窝工现象发生。

2) 施工段数(N_0)的计算:

① 当整个施工对象只有一个施工层，或者虽有几个施工层，但不同层的同一段可以上下平行施工时，任何一个工作队当其做完施工对象中所有各段时，即已完成工作任务，流出工程中的单位流水，所以施工段数并无限制。

② 当施工对象不止一个施工层，而且上下层的同一段(即第一层的第一段与第二层的第一段)不能同时进行工作时，则每一层中所分的施工段数(N_0)常受一定的限制。

由于同一段中只能容许一个工作队工作，所以当第一工作队做完第一层的所有各段，开始转入第二施工层第一段工作时，必须最后一个工作队已经做完第一层第一段的工作，让出工作前线(见图中 $a-a$ 线)

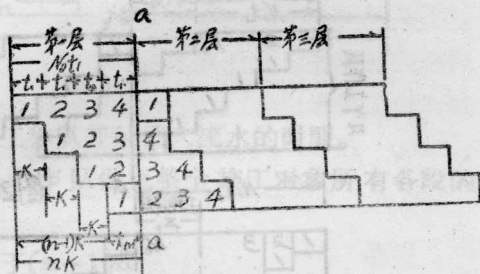


圖 1

第一工作队做完第一层所有各段的时间 = $N_0 t_1$

最后一个工作队开始工作的时间 = $(n-1)K$

最后一个工作队完成第一层第一段的时间 = t_M

所以根据上文所述，第一項应等于后二項之和

$$N_0 t_1 = (n-1)K + t_M$$

$$\therefore t_1 = t_M = K$$

$$\therefore N_0 K = (n-1)K + K = nK$$

$$N_0 = n \quad (1)$$

即在紧密连接之流水作业中每一层的最小施工段数应该等于整个流水单位中的工作队总数。

③ 假如 $N_0 < n$ 则层与层之间的流水不可能进行，工人有窝工现象。

$N_0 = n$ 则层与层之间的流水密接进行；工人不窝工，工段无停歇。

$N_0 > n$ 则层与层之间的流水疏松进行，工人不窝工，工段有停歇。

以上 $N_0 \neq n$ 的情形见图 2 所示

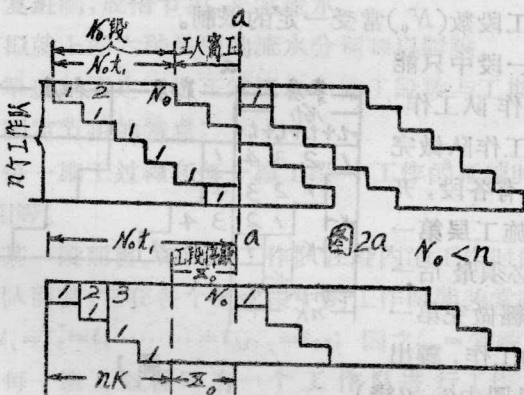


圖 2 B $N_0 > n$

如上图：图2a为 $N_0 < n$ ，工人窝工因此破坏了流水。

图2b为 $N_0 > n$ ，虽然工人并不窝工，也未破坏流水；但是因为

工段間有停歇,所以延長了工期。

所以在一段情況下兩者都不宜採用。

④ 但是有時候根據工程的需要,在層與層間需要有一定的技術停歇時(如澆灌混凝土後需要一定的養護期),則可以將施工段數加大,使 $N_0 > n$ 。

根據圖2B:

$$N_0 t_1 = Z_0 + nK$$

$$\therefore t_1 = K$$

$$\therefore N_0 = n + \frac{Z_0}{K} \quad (1)_a$$

3) 總工期(T)的計算:

① 整個工期可以分為兩個部分來計算。



圖 3

第一部分: 最後一個工作隊開始投入流水的時間。

第二部分: 最後一個工作隊做完整個施工對象所有各段的時間。

② 第一部分時間等於 $(n-1)K$

第二部分時間等於 $jN_0t_n = jN_0K$

③ 所以總工期

$$\begin{aligned} T &= (n-1)K + jN_0K \\ &= (jN_0 + n - 1)K \end{aligned} \quad (2)_b$$

④ 公式(2)應用於“每一施工層中各段系密接流水,但層與層之間仍可能存在技術停歇 Z_0 ”的流水。有否層與層之間的停歇系視公式(1)中 N_0 是否包括 Z_0/K 而定。

但無論有否層與層間停歇,在固定的段數 N_0 下,工期並無不同算法。

4) 假若在同一施工層中相繼施工過程間需要一定的技術停歇(ΣZ)時,則

$$T = (jN_0 + n - 1)K + \Sigma Z \quad (2)_a \text{ ①}$$

(2) 單班制成倍节拍正常流水中施工段數與工期的計算。

1) 成倍节拍的特點:

① 同一段中各個施工過程所需要之工作時間(工作节拍 t_i)不完全相等。因之流水步距(K)就無法令其等於各個施工過程的工作节拍。

② 為了保持工程均衡而有節奏地進行施工,各個工作隊投入流水的流水步距(K)仍然要為常數。

流水步距 K 與各個施工過程的工作节拍 t_i 及工作隊數 b_i 有關。

③ 各個施工過程一般都不止一個工作隊進行工作。(即 b_i 一般的 $\neq 1$)

所以工作隊總數 n 不等於施工過程數。

④ 為使工程流水順利的進行,各施工過程在每一層中工作時間應該相等。如此則當第一施工過程完成第一層工作以後轉入第二層工作時,第二施工過程亦可順次、相繼地完成第一層工作。

⑤ 設令 T_i 代表某一施工過程完成一個施工對象的時間,則

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_M = T_i$$

但是

$$T_i = \frac{jN_0 t_i}{b_i}$$

$$\left(\text{工作時間} = \frac{\text{工作段數} \times \text{工作节拍}}{\text{同時工作的工作隊數}} \right)$$

① 公式(2)_a應用于“同一施工層間存在停歇,而且層與層之間也可能存在停歇”的流水。

ΣZ 系考慮到不止一個施工過程需要技術停歇,所以取其總和。

ΣZ 與施工段數並無直接的關係。當只有一個施工層時, ΣZ 與段數沒有關係。

所以
$$\frac{jN_0t_1}{b_1} = \frac{jN_0t_2}{b_2} = \frac{jN_0t_3}{b_3} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{t_1}{b_1} = \frac{t_2}{b_2} = \frac{t_3}{b_3} = \dots\dots\dots = \frac{t_i}{b_i} = K$$

各施工过程虽然工作节拍不等,但是工作节拍与工作队数之比却应为时间常数。此时间常数即为流水步距 K 。

可以理解为:当各施工过程工作节拍不等时,为了保持流水步距的不变,就要使各施工过程依照其工作节拍的大小,成比例的配置工作队。工作节拍长的,工作队就多;工作节拍短的,工作队就少。

⑥ K 必须为整班数;同时 b_i 也必须为整队数。所以 K 应该为各个工作节拍 t_i 的公约数。也就是所有的工作节拍均为流水步距的整倍数。因此,这种流水方式称为成倍节拍。

⑦ 组织成倍节拍时,一般可采用下列步骤来计算工期:

(i) 根据各工作节拍选择适当之流水步距 K (在已知工作节拍的条件下,可能有几个可用的 K)。

(ii) 根据各工作节拍 t_i 及流水步距 K ,定出各施工过程的工作队数 b_i 及工作队总数 n 。

(iii) 根据工作队总数 n ,决定施工段数 N_0 。

(iv) 根据 N_0 、 n 、 K 等计算工期 T 。

2) 施工段数的计算

① 考虑施工段数 N_0 时和固定节拍时一样,须使第一施工过程完成第一层所有各段的时间 T_1 ,等于最后施工过程做完第一层第一段的時間。

但須注意在成倍节拍流水中每一施工过程都可能有几个工作队在進行工作,所以当第一施工过程完成第一层的所有工段开始进入第二层第一段的那个工作队不一定就是第一工作队(如图4

所示,第一施工过程共有四个工作队,进入第二层第一段的为第二工作队)。

因之,在成倍节拍流水中施工段数的决定,在未根据具体条件考虑之前,还不能将公式(1)直接应用。

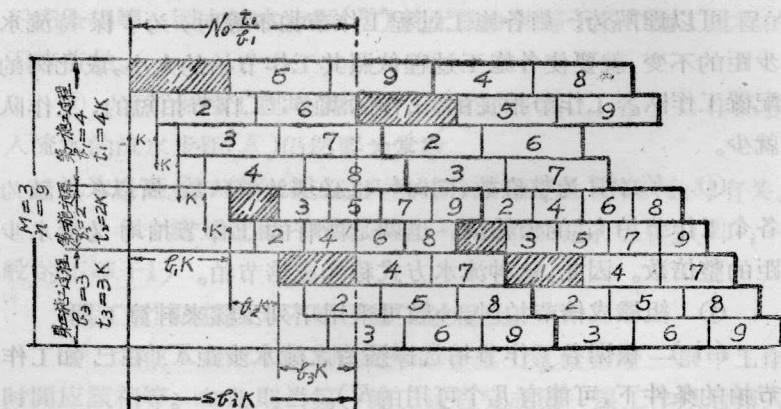


圖 4

② 先考虑第一施工过程做完第一层所有各段(即 N_0 段)所需要的时间。

令第一施工过程的工作节拍为 t_1 , 共有 b_1 个工作队进行工作。假如第一施工过程只是由一个工作队进行工作则做完 N_0 段的时间应等于 $N_0 t_1$ 。

现在实际上有 b_1 个工作队在进行工作; 则实际上做完 N_0 段的时间 T' 应该等于

$$T_1 = \frac{N_0 t_1}{b_1}$$

但是

$$t_1 = b_1 K$$

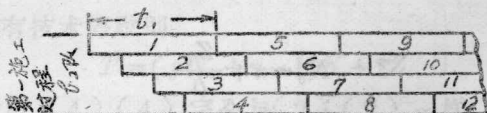
所以

$$T_1 = N_0 K$$

③ 其次考虑最后一个施工过程开始投入流水并且完成第一层第一段的时间。(設以 τ 代之)

$$\tau = (b_1 K + b_2 K + \dots + b_{M-1} K) + t_M$$

④ 此處 T_1 為平均時間，但也等于實際上工作隊進入第二層第一段的時間。其證明如下：



附圖 1

附圖 1 為第一施工過程的進度表，其工作節拍為 t_1 ，流水步距為 K ，共有 b_1 隊工作。表中 N_0 等于多少尚未確定。現在就不同之 N_0 來比較平均時間(T_1)與實際進入第二層第一段的時間(設以 T_0 代表之)。

$$N_0 = b_1; T_1 = \frac{N_0 t_1}{b_1} = b_1 \frac{t_1}{b_1} = t_1; T_0 = \text{第一隊做完第一段后進入第二層第一段的時間。}$$

的時間。

$$T_1 = T_0$$

$$N_0 = b_1 + 1; T_1 = N_0 \frac{t_1}{b_1} = (b_1 + 1) \frac{t_1}{b_1} = t_1 + K;$$

$$T_0 = \text{第二隊做完第二段后進入第二層第一段的時間} \\ = t_1 + K$$

$$N_0 = b_1 + b; T_1 = N_0 \frac{t_1}{b_1} = (b_1 + b) \frac{t_1}{b_1} = t_1 + bK;$$

$$T_0 = \text{第}(b+1)\text{隊做完第}(b+1)\text{段后進入第二層第一段的時間} \\ = t_1 + bK$$

$$N_0 = ab_1 + b; T_1 = N_0 \frac{t_1}{b_1} = (ab_1 + b) \frac{t_1}{b_1} = at_1 + bK$$

$$T_0 = \text{第}(b+1)\text{隊經過}a\text{次循環以后進入第二層第一段的時間} \\ = at_1 + bK$$

所以無論 N_0 等于多少，平均時間 T_1 都等于實際上工作隊進入第二層的時間。

$$= \sum_{i=1}^{M-1} b_i K + t_M \quad \because t_M = b_M K$$

$$\therefore \tau = \sum_{i=1}^{M-1} b_i K + b_M K = \sum_{i=1}^M b_i K = nK$$

④ 根据上述 T_1 应与 τ 相等, 所以

$$\begin{aligned} N_0 K &= nK \\ N_0 &= n \end{aligned} \quad (3)$$

⑤ 如果层与层之间有技术停歇 Z_0 时, 施工段数 N_0 应以下式求之。

$$N_0 = n + \frac{Z_0}{K} \quad (3)_a$$

⑥ (3)、(3)_a 两式完全与 (1)、(1)_a 一样。所以无论成倍节拍与固定节拍的流水, 其施工段数之计算式均可以

$$N_0 = n + \frac{Z_0}{K} \quad \text{求之。}$$

3) 总工期的计算

① 和固定节拍一样总工期可以分两部分来计算。

第一部分: 最后一个施工过程什么时候投入流水。

第二部分: 最后一个施工过程做完整个施工对象所有各段所需的时间。

$$\textcircled{2} \quad \text{第一部分等于 } (b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_{M-1})K = \sum_{i=1}^{M-1} b_i K$$

第二部分可以将最后一个施工过程看作一个小的流水单位。其中流水步距为 K , 工作队为 b_M , 施工段数为 N_0 , 令其工作时间为 T' 。

$$T' = (jN_0 + b_{M-1})K \quad (3)$$

③ 因之总工期 T 等于

$$\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^{M-1} b_i K + T' \\ &= \sum_{i=1}^{M-1} b_i K + (jN_0 + b_{M-1})K \\ &= \left(\sum_{i=1}^M b_i + jN_0 - 1 \right) K \\ &= (jN_0 + n - 1)K \end{aligned} \quad (4)$$

④ 如有技术停歇则

$$T = (jN_0 + n - 1)K + \Sigma Z \quad (4)_a$$

⑤ 所以, (4)、(4)_a 完全与 (2)、(2)_a 一样。

无论施工段数与工期的计算, 成倍节拍与固定节拍完全一致。

(3) 单班制固定节拍, 各层中施工过程数不等时之流水作业的
施工段数与工期的计算:

1) 各层施工过程数不等对工期及流水作业的影响:

① 最后施工过程完成整个施工对象的时间 $T' = (jN_0 + b_M - 1)K$ 的证明如下:



附圖 2

由于最后施工过程完成最后一层最后一段的那个工作队并不一定是这个施工过程中的最后一个工作队, 所以 T' 也需分二部分来计算。

第一部分: 各工作队做完施工对象中最后第二段 (即第 $N_0 - 1$ 段) 的时间。此时即将进入第 N_0 段但尚未进入。

这一部分又可分为施工过程做完最后第二层 ($j - 1$) 的时间与最后一层中自第一段到第 ($N_0 - 1$) 段的时间。前者为 $(j - 1)N_0 \frac{t_M}{b_M}$; 后者为 $(N_0 - 1) \frac{t_M}{b_M}$ 。

第二部分: 为做第 N_0 段所需的时间, 此时间等于 t_M 。

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad T' &= (j - 1)N_0 \frac{t_M}{b_M} + (N_0 - 1) \frac{t_M}{b_M} + t_M = (jN_0 - 1) \frac{t_M}{b_M} + t_M \\ &= (jN_0 - 1)K + b_M K = (jN_0 + b_M - 1)K \end{aligned}$$