



# 施工段在分别流水施工中的确定与应用研究

朱绍奇 孙传智 施沈杰  
宿迁学院建筑工程系 宿迁 223800

**摘要:** 施工段作为分别流水施工的主要参数之一,其划分界限、数量及先后顺序都会影响流水施工的总工期。结合现有理论研究成果,从施工段划分界限、数量及优先顺序等方面予以深入探究。假设在已知施工过程施工顺序不变的前提下,引入工程紧后施工过程开工总间歇最小的原则,未确定各施工段的优先顺序。实践证明:在资源强度不变的条件下,通过工程紧后施工过程开工总间歇最小的原则确定施工段施工顺序,可以达到缩短工期、降低成本之目的。

**关键词:** 流水施工; 施工段; 流水施工参数; 紧后施工过程; 开工总间歇

**中图分类号:** TU712.1

**文献标志码:** B

**DOI:** 10.14144/j.cnki.jzsg.2016.10.047

## Determination of Construction Section in Separate Flow-Repetitive Construction Operations and Application Research

ZHU Shaoqi SUN Chuazhi SHI Shenjie

Suqian College Department of Architectural Engineering Suqian 223800

### 0 引言

流水施工就是所有施工过程按一定时间间隔依次投入施工,各个施工过程陆续开工、竣工,使同一施工过程的专业队连续、均衡、节奏施工,不同施工过程尽可能平行搭接地施工<sup>[1]</sup>。它具有缩短工期、提高工效、保证工程质量、降低施工成本、实现科学管理的优点。

为组织流水施工,需要把建筑物划分成批量的“假定产品”,即将施工对象在平面或空间上划分成若干个劳动量大致相等的施工段落,称为施工段或流水段。

施工段作为非节奏流水施工的主要参数之一,其数量、划分界限及施工优先顺序等合理与否,直接影响流水施工的效果。基于施工段的合理确定,文献[2]应用统筹法确定流水施工的施工段数目,文献[3-6]基于各专业队施工顺序一致的前提下,采用不同优化方法对施工段排序予以了研究,文献[7]基于各专业队施工顺序不同的情形下,建立顺序优化的数学模型,运用动态规划方法寻求最优施工安排。

### 1 施工段数目的确定

施工段的数目要合理,过多则工作面减少而导致相应施工段上作业人数的减少,使得工期延长;过少则不能及时提供工作面而使专业队产生窝工。

#### 1.1 施工段数 $m$ 与施工过程数 $n$ 之间的关系

##### 1.1.1 施工段数 $m$ 大于施工过程数 $n$

各专业队能够连续作业,有层间关系时,空闲的施工段数为 $m-n$ ,设施工步距为 $K$ ,则空闲时间为 $(m-n)K$ 。

##### 1.1.2 施工段数 $m$ 小于施工过程数 $n$

各专业队不能连续作业,施工段之间没有空闲,不能组织流水施工。

##### 1.1.3 施工段数 $m$ 等于施工过程数 $n$

理论上,各专业队能连续作业,施工段无空闲;实际上由于施工过程之间可能存在技术间歇或组织间歇而使得专业队不能连续作业。

要说明的是,流水施工无层间关系时,施工段数 $m$ 与施工过程数 $n$ 之间无必然关系,此时,按照施工段划分的原则予以确定即可;当有层间关系时,则必须使施工段数目 $m \geq n$ ,当然这只是组织流水施工的必要非充分条件。

#### 1.2 有层间关系时的最小施工段数

有层间关系的流水施工,最小施工段数可以按照下式确定:

$$m_{\min} = n + \frac{Z + C - \sum t_d}{K} \quad (1)$$

式中: $Z$ ——某施工层内施工过程间的技术、组织间歇之和;

$C$ ——该施工层间(技术、组织)间歇时间之和;

$\sum t_d$ ——该施工层内搭接时间之和。

当然,具体的施工段数除了满足上述条件外,还需要结合工程实际予以确定。比如某 $120\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的框架结构房屋,沿长度方向每隔 $40\text{ m}$ 设1道伸缩缝。如果计算出 $m_{\min}=5$ 段,则考虑建筑物的平面尺寸与结构整体性,取 $m=6$ 段。



基金项目: 宿迁学院大学生创新创业训练计划项目; 宿迁市交通科学研究计划项目(KJ2016-2)。

作者简介: 朱绍奇(1976—),男,硕士,讲师。

通信地址: 江苏省宿迁市黄河南路399号(223800)。

收稿日期: 2016-04-18



## 2 施工段划分界限的确定

施工段的分界对所有施工过程来说有固定和不固定2种情况，在这里假定都是固定不变。其具体的划分界限需要考虑以下因素，综合确定。

1) 同一专业队在各施工段上的劳动量应大致相等，幅度差不宜超过15%。

2) 为保证各专业队能高效、安全作业，每个施工段的工作面应满足最小工作面要求，即 $A \geq A_{\min}$ 。

3) 为保证建筑结构的整体性，应尽可能利用建筑物结构的自然界限（如沉降缝、伸缩缝等），或设在结构剪力较小的部位（如次梁净跨1/3部位）。

4) 施工段的数目要合理，尽量使主导施工过程的专业队能连续作业。

## 3 施工段施工顺序的确定

施工段施工顺序的确定实质就是其排列顺序的优化。根据施工过程是否固定可以分为单向排序优化和双向排序优化。对一般工程而言，施工段排列顺序的优化属于单向排序优化问题。

施工段排列顺序优化的方法主要有枚举法、图解法及约翰逊-贝尔曼规则等方法。但是当施工段和工序数量都 $\geq 3$ 时，采用上述方法将使优化变得极其困难。现基于施工过程固定、保证流水施工的条件下，通过对流水施工基本原理的分析，创新现有的研究成果，给出施工段排序优化的简便实用方法，暂称“工程紧后施工过程开工总间歇最小法”。

### 3.1 施工段优化排序的基本原理

假设某工程有 $n$ 个施工段，每个施工段都经过相同的 $m$ 个施工过程，每个施工过程在施工段上的流水节拍都已知，如何在保证流水施工的条件下，通过寻求其最优排序，使此工程的计算工期最短？

假设这 $n$ 个施工段分别为 $i_1, i_2, \dots, i_n$ 。各施工段的施工顺序假定为 $i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_n$ 。根据无节奏流水施工总工期计算公式，即：

$$T = \sum_{j=1}^{n-1} K_{j,j+1} + T_n \Rightarrow T = \sum_j T_j - \sum_j (T_j - K_{j,j+1}) \quad (2)$$

令 $d_{j,j+1} = T_j - K_{j,j+1}$ ，并称之为搭接时间，则上式（2）改写为：

$$T = \sum_{j=1}^n T_{j,j+1} - \sum_{j=1}^{n-1} d_{j,j+1} \quad (3)$$

式中： $K_{j,j+1}$ ——某两相邻施工段之间的流水步距；

$T_n$ ——各施工过程在最后一施工段的持续时间之和。

通过（3）式可知，要使无节奏流水总工期最短，就需使各施工过程之间的累计搭接时间最大，也即是工程紧后施工过程开工总间歇 $T_2$ 最小。

## 3.2 工程紧后施工过程开工总间歇的计算

某给水管网工程有管沟开挖、混凝土垫层、铺管、砌井、管沟回填等施工过程，有关参数见表1。

表1 某给水管网工程有关施工参数

施工段	施工过程				
	I：管沟开挖	II：混凝土垫层	III：铺管	IV：砌井	V：管沟回填
A	4	3	3	2	3
B	3	5	1	3	1
C	3	3	1	2	4
D	5	3	2	1	2

1) 分别列出两两施工段之间施工顺序，在这里称之为基本排序： $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow A$ 、 $A \rightarrow C$ 、 $C \rightarrow A$ 、...

2) 按基本排序分别求出各施工过程在相应施工段持续时间的累加数列。 $A$ ：4,7,10,12,15； $B$ ：3,8,9,12,13； $C$ ：3,6,7,9,13； $D$ ：5,8,10,11,13。

3) 按“错位相减，取最大值”求出两两施工段基本排序的流水步距 $K_{i,i+1}$ 。

$$\begin{array}{r}
 K_{A,B}: 4, 7, 10, 12, 15 \\
 - \quad 3, 8, 9, 12, 13 \\
 \hline
 4, 4, 2, 3, 3, -13
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 K_{B,A}: 3, 8, 9, 12, 13 \\
 - \quad 4, 7, 10, 12, 15 \\
 \hline
 3, 4, 2, 2, 1, -15
 \end{array}$$

$K_{A,B} = \max\{4, 4, 2, 3, 3, -13\} = 4$ ， $K_{B,A} = \max\{3, 4, 2, 2, 1, -15\} = 4$ ，同理，可以求得上例其他基本排序的流水步距。

4) 按下式（4）求出两施工段基本排序紧后施工过程开工总间歇 $Z_{i,i+1}$ ：

$$Z_{i,i+1} = \sum_{j=1}^m Z_j^{i,i+1} = mK_{i,i+1} + \sum_j K_j^{i,i+1} \quad (4)$$

式中： $Z_j^{i,i+1}$ ——两施工段基本排序紧后施工过程 $j$ 开工间歇；

$K_j^{i,i+1}$ ——两施工段基本排序在施工过程 $j$ 上的假定项目流水步距；

$m$ ——施工过程总数。

$$\begin{array}{r}
 Z_{A,B}: 4,4,4,4,4 \\
 - \quad 4,4,2,3,3 \\
 \hline
 0,0,2,1,1
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 Z_{B,A}: 4,4,4,4,4 \\
 - \quad 3,4,2,2,1 \\
 \hline
 1,0,2,2,3
 \end{array}$$

$Z_{A,B} = 0+0+2+1+1=4$ ， $Z_{B,A} = 1+0+2+2+3=8$ ，同理，可以求得其他两施工段基本排序紧后施工过程总间歇。

5) 基本排序紧后施工过程开工总间歇矩阵见表2。

表2 基本排序紧后施工过程开工总间歇矩阵表

施工段	A	B	C	D
A	—	4	7	6
B	8	—	8	4
C	9	9	—	11
D	10	10	3	—

（下转第1475页）



系,而量化管理成果则是绩效考核的核心。

公司各级机关对项目部工期管理成果的考核,需建立在量化的基础上,而可视化表格则为量化考核提供了依据。项目部在总进度计划编制完成后,每月定期报送当月进度计划可视化表格,考核人员可从中获取当月的完成工作量、进度偏差情况、进度纠偏管理情况等KPI指标。

#### 4.4 建设单位利用可视化表格进行工期管理

建设单位所关心的工期信息主要是关键节点能否按时完成以及最终交付时间能否保证,在可视化表格中,关键节点以色带的形式显示,建设单位可通过检查周、月可视化进度管理表格对关键节点进行评估,直观地了解各单位工程工期距离关键节点的时差以及实际完成情况,从而判断关键节点以及最终交付时间能否满足要求<sup>[9]</sup>。

#### 4.5 可视化表格的扩展应用

得益于EXCEL软件强大的功能,可视化表格的应用可以在已有的基础上进一步深化。对于深化应用的方向,目前主要可扩展的方向有以下几个方面。

1) 将专业分包单位工期插入可视化表格进行统筹管理,插入节点提前标识,根据节点对倒排准备工作进行每周跟踪推进。

2) 利用可视化表格内的空格,可用作每日作业面情况

统计的记录,便于信息整理。

3) 可视化表格作为项目工期管理关键信息集合,可用作应对各级领导及监督机构观摩检查的展示平台。

## 5 结语

群体工程单体多,施工进度不一,工期管理极其繁琐且难度大,但受限于总建筑面积以及产值,施工总承包单位不会配备大量管理人员<sup>[4]</sup>。如何高效地实现工期信息汇集、分析,进而及时针对工期情况采取纠偏措施是项目工期管理成败的关键,通过采用可视化表格应用于总、月、周三级进度计划管理体系中,可大幅提高工作效率及工期信息传递质量,对于施工总承包单位、监理、建设单位来说,均是一种卓有成效的创新工具,值得同类项目借鉴。

#### 【参考文献】

- [1] 汪若洋.项目进度管理方法及其应用研究[D].郑州:中国人民解放军信息工程大学,2013.
- [2] 巨宇鹏.谈群体性建筑施工管理[J].科技与企业,2012(8):21.
- [3] 靳童.我国商业地产阶段性融资模式探析[D].北京:首都经济贸易大学,2007.
- [4] 秦彦明.群体工程施工组织管理探讨[J].山西建筑,2007(6):199-200.

(上接第1472页)

6) 在矩阵表中找出工程紧后施工过程开工总间歇 $T_z$ 最小者即为该工程施工段最优排序, $T_z$ 可由式(5)确定。

① 把矩阵表中最小值所在行的施工段排第1位,所在列的施工段排第2位。

② 从排在第2位的施工段所在行中找出未排序施工段中的最小值,其对列的施工段排第3位。

③ 重复第②步,可得总工期最短的施工段最优排序。

④ 假如最小值有2个或2个以上时,会有多个排序方案,则选取 $T_z$ 最小者。

$$T_z = \sum_{i=1}^{m-1} Z_{i,i+1} \quad (5)$$

例如,表2中的最小值为3,其所在行为D,所在列为C,则施工段D排第1位,施工段C排第2位;C所在行的最小值为9,则将施工段A或B排在第3位;剩下的一个施工段排第4位。施工段施工顺序方案有D→C→A→B和D→C→B→A。其 $T_z$ 分别为3+9+4=16和3+9+8=20,这时选 $T_z$ 小的方案为最优方案,即施工段最优的排序方案为D→C→A→B。

#### 3.3 计算最短流水施工工期

$T = \sum K_{i,i+1} + T_n + \sum t_z - \sum t_d = 6+3+4+3+5+1+3+1+0+0=26$  d,相较于施工段未优化排序的流水施工工期提前1 d。

## 4 结语

本文通过对分别流水施工的深入分析,假定施工过程、施工顺序固定的前提下,考虑施工过程在各施工段上施工的优化顺序并引入矩阵法予以求解,通过工程应用验证:分别流水施工中,在不需要提高施工资源强度的条件下,可以通过矩阵法优化施工段的施工顺序,达到缩短施工工期、降低施工成本的工效。

#### 【参考文献】

- [1] 周国恩,张树珺.土木工程施工[M].北京,化学工业出版社,2012.
- [2] 巩建华,蔡勇.应用统筹法确定流水施工的施工段[J].山东轻工业学院学报,2011(1):98-100.
- [3] 韩英爱,高志通.建筑工程流水施工流程优化问题探讨[J].长春工程学院学报,2002(3):60-62.
- [4] 姚玉玲,周往莲.基于流水作业的施工段排序方法[J].西安科技大学学报,2007(3):511-515.
- [5] 于洪生,贾艳.对流水施工排序优化的分析研究[J].建筑技术开发,2001(12):44-45.
- [6] 郑显春,侯剑飞,孙思忠.流水施工排序优化[J].河北建筑工程学院,2012(4):1-6.
- [7] 任宏,蔡伟光.无节奏流水施工优化模型及其动态规划算法[J].重庆大学学报,2012(5):135-137.