

1-115  
建筑工程施工成本监测预警及协调控制

①  
98, 20(2)  
1-5

肖维品

(重庆建筑大学建筑管理工程学院 400045)

石元印

(攀枝花大学 617067)

TU223.3

杨宜庆 贺勇

(重庆建筑大学建筑管理工程学院 400045)

摘要 通过对施工成本影响因素的识别,建立了施工成本监测与预警信号模型,以及施工成本协调控制模型等。

关键词 施工成本, 监测与预警, 协调与控制 建筑工程  
中图法分类号 C935

### 1 建筑工程施工成本风险因素的识别

影响建筑工程施工成本的主要风险因素有资源价格的变动;施工工期的变动;施工质量事故;施工安全事故;施工技术工艺变动;施工组织管理不当;设计变更等,都可造成工程施工成本变化。

### 2 工程施工成本的估算

本文所指的施工成本除包含计入建筑工程造价中的制造成本(简称实体成本)外,还包含工期、质量、安全、工艺技术和施工组织等方面因变化所产生的额外费用的增加(或减少)。因此,从承包商角度来研究施工成本是,泛指从事施工活动中所支付的全部费用,与建筑工程(产品)成本概念有一定的差异,以便承包商对施工过程所从事的全部活动消耗的施工总成本进行监测、预警及调控。

施工成本  $C(t)$  可以表示为时间  $t$  的函数,即

$$C(t) = f(C_w(t), C_q(t), C_s(t), C_t(t), C_r(t)) + M(t) \quad (1)$$

式中  $C_w(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程实体成本;  $C_q(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程质量成本;  
 $C_s(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程安全成本;  $C_t(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程技术成本;  
 $C_r(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程工期成本;  
 $M(t)$ ——时间  $t$  的建筑工程组织成本(即工程间接费用),其中

$$M(t) = M \cdot t/T \quad (2)$$

式中,  $M$  为工程总间接费用;  $T$  为工程总工期。

收稿日期: 1997-04-30

肖维品, 男, 1940年生, 教授

建筑工程总施工成本可用下述泛函表示,

$$TC = \int_0^T C(t)dt = \int_0^T [f(C_M(t), C_Q(t), C_S(t), C_I(t), C_T(t)) + M(t)]dt \quad (3)$$

或者,若在施工过程中设置  $K$  个成本控制点,则上述公式也可以改为差分方程,即

$$TC = \sum_{i=1}^K C(k) = \sum_{i=1}^K [f_i(C_M(t), C_Q(t), C_S(t), C_I(t), C_T(t)) + M_i(t)] \quad (4)$$

$TM_{i-1} \leq k \leq TM_i, TM_{i-1} \leq k \leq TM_i$

式中,  $C(k)$ ——在区间  $[TM_{i-1}, TM_i]$  内的施工成本;

$f_i(\odot)$ ——在区间  $[TM_{i-1}, TM_i]$  内施工成本函数;

$M_i(t)$ ——在区间  $[TM_{i-1}, TM_i]$  内施工间接费用,  $M_i(t) = M \cdot t/T$ , 其中  $M$  为工程总间接费用,  $T$  为工程总工期,  $i = 1, 2, \dots, K$ 。

$TM_i$ ——控制点  $i$  的实现时间,  $i = 1, 2, \dots, K$ 。

### 3 建筑工程施工成本控制集

#### 3.1 成本控制点的设置

设工程施工进度网络计划为  $G(V, E)$ , 其中  $V$  为网络节点集,  $E$  为网络活动集 (或工序集)。

选择关键节点为施工成本控制点, 如设置  $K$  个控制点,  $V_{M_i}$  为第  $i$  控制点下的关键节点集,  $V_{N_i}$  为第  $i$  控制点下的非关键节点集, 则有

$$V_M = V_{M1} \cup V_{M2} \cup \dots \cup V_{M_i} \cup \dots \cup V_{MK} \quad (5)$$

$$V_N = V_{N1} \cup V_{N2} \cup \dots \cup V_{N_i} \cup \dots \cup V_{NK} \quad (6)$$

类似地, 控制点  $i$  下的关键活动集  $E_{M_i}$  和非关键活动集  $E_{N_i}$  分别为

$$E_M = E_{M1} \cup E_{M2} \cup \dots \cup E_{M_i} \cup \dots \cup E_{MK} \quad (7)$$

$$E_N = E_{N1} \cup E_{N2} \cup \dots \cup E_{N_i} \cup \dots \cup E_{NK} \quad (8)$$

#### 3.2 控制点下的时间参数集

控制点  $i$  下各关键节点实现的时间参数集  $TMT_i$  为

$$TMT_i = \{TMT_{ij} \mid j \in V_{M_i}, TMT_{ij} \leq TM_i\} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (9)$$

式中,  $TMT_{ij}$  为控制点  $i$  下, 关键节点  $j$  实现的时间参数;  $TM_i$  为控制点  $i$  实现工期;  $V_{M_i}$  为控制点  $i$  下的关键节点集。

控制点  $i$  下各关键活动实现的持续工作时间参数集  $EMT_i$  为

$$EMT_i = \{EMT_i(l, m) \mid l, m \in V_{M_i}; TMT_l, TMT_m \in TMT_i\} \quad (10)$$

式中,  $EMT_i(l, m)$  为控制点  $i$  下关键活动  $(l, m)$  实现的持续工作时间, 其余符号同前。

类似地, 控制点  $i$  下非关键节点实现的时间参数集  $TNT_i$  和非关键活动实现的持续工作时间参数集  $ENT_i$  为

$$TNT_i = \{TNT_r \mid r \in V_{N_i}, TNT_r \leq TM_i\} \quad (11)$$

$$ENT_i = \{ENT_i(p, q) \mid p, q \in V_{N_i}; TNT_p, TNT_q \in TNT_i\} \quad (12)$$

#### 3.3 控制点下各活动施工成本参数集

控制点  $i$  下关键活动施工成本参数集  $MC_i$  为

$$MC_i = \{MCE_i(l, m) \mid l, m \in V_{M_i}; TMT_{l_i}, TMT_{m_i} \in TMT_i\} \quad (13)$$

式中,  $MCE_i(l, m)$  为控制点  $i$  下关键活动  $(l, m)$  的施工成本, 其余符号同前。

控制点  $i$  下非关键活动施工成本参数集  $NC_i$  为

$$NC_i = \{NCE_i(p, q) \mid p, q \in V_{N_i}; TNT_{p_i}, TNT_{q_i} \in TNT_i\} \quad (14)$$

式中,  $NCE_i(p, q)$  为控制点  $i$  下非关键活动  $(p, q)$  的施工成本, 其余符号同前。

### 3.4 控制点的目标集

在工程最优网络进度计划下, 各控制点实现时间  $TM_i^*$  和各控制点施工成本  $CT_i^*$  构成控制点工期目标集  $TM^*$  和施工成本目标集  $CT^*$  为

$$TM^* = \{TM_i^* \mid i = 1, 2, \dots, K\} \quad (15)$$

$$CT^* = \{CT_i^* \mid i = 1, 2, \dots, K\} \quad (16)$$

## 4 施工成本监测及预警模型

### 4.1 控制点施工成本监测模型

对施工成本监测就是, 计算当控制点实现时所完成各项活动的实际成本总和。如当控制点  $i$  实现时, 施工成本监测模型为

$$CT_i = \sum_{TM_i} \alpha_{M_i} \cdot MCE_i(l, m) + \sum_{TM_i} \beta_{N_i} \cdot NCE_i(p, q) \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (17)$$

式中  $\alpha_{M_i}$ ——在控制点  $i$  实现时间  $(TM_i)$  内已完成的关键活动成本折减系数, 即

$$\alpha_{M_i} = \begin{cases} 1 & \text{当 } TMT_{m_i} \leq TM_i \text{ 时, 表示关键活动 } (l, m) \text{ 已全部完成} \\ \frac{TM_i - TMT_{l_i}}{TMT_{m_i} - TMT_{l_i}} & \text{当 } TMT_{l_i} < TM_i \text{ 时, 表示关键活动 } (l, m) \text{ 已部分完成,} \\ & i = 1, 2, \dots, K \end{cases} \quad (18)$$

类似地, 非关键活动  $(p, q)$  成本折减系数  $\beta_{N_i}$  为

$$\beta_{N_i} = \begin{cases} 1 & \text{当 } TMT_{q_i} \leq TM_i \text{ 时, 表示关键活动 } (p, q) \text{ 已全部完成} \\ \frac{TM_i - TMT_{p_i}}{TMT_{m_i} - TMT_{p_i}} & \text{当 } TMT_{p_i} < TM_i \text{ 时, 表示非关键活动 } (p, q) \text{ 已部分完成,} \\ & i = 1, 2, \dots, K \end{cases} \quad (19)$$

其余符号同前。

### 4.2 建筑工程施工成本预警

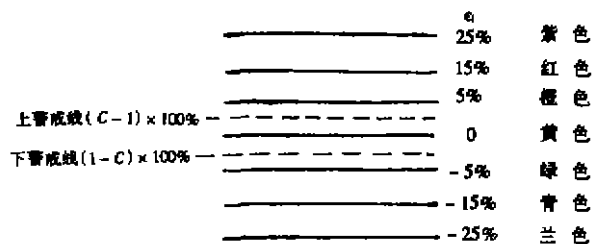
信号模型

施工成本预警信号强度  $\epsilon_i$  为

$$\epsilon_i = \frac{CT_i - CT_i^*}{C \cdot CT_i^*} \times 100\% \quad (20)$$

$i = 1, 2, \dots, K$

式中,  $C$  为施工成本允许浮动指数, 一般取为 1.00 ~ 1.05; 其余符号同前。



附图 报警信号七色模型

各控制点施工成本按预警信号强度  $\epsilon_i$  报警, 报警采用七色模型, 如附图所示。

## 5 建筑工程施工成本调控模型

对控制点施工成本调控可分为两种基本类型:一是施工成本增量补偿调控,即通过计算施工成本增量,以工程索赔或承包商利润损失提供对施工成本增量补偿,并修正后续控制点的施工成本目标;二是工期—成本调控,即通过计算控制点施工成本增量,调整两相邻控制点间各活动的持续工作时间(首先调整非关键活动,然后再调整关键活动),修正相关活动的施工成本速率,实现对后续控制点施工成本或工期调控。

### 5.1 控制点施工成本增量补偿调控模型

对因非工期引起的控制点施工成本的波动,按预警信号强度  $\epsilon_i$  报警范围,可分为两种施工成本增量补偿调控。

1) 当预警信号强度  $\epsilon_i > (C - 1) \times 100\%$  时,则有  $CT_i > CT_i^*$ , 控制点  $i$  的施工成本增量  $\Delta CT_i$  为

$$\Delta CT_i = CT_i - CT_i^* > 0 \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (21)$$

应分清成本增加的责任,由责任方提供对施工成本增量  $\Delta CT_i$  的补偿金额;然后修正后续控制点  $i+1$  的施工成本目标,有

$$CT_{i+1}^* = CT_{i+1}^* + \Delta CT_i \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (22)$$

并以修正后的目标成本  $CT_{i+1}^*$  作为对后续控制点  $i+1$  的监测施工成本目标,且令  $CT_{i+1} = CT_{i+1}^*$ 。

2) 当预警信号强度  $\epsilon_i < (1 - C) \times 100\%$  时,则  $CT_i < CT_i^*$ 。

应分析产生施工成本降低的具体原因,制定不同的施工成本控制措施,并调整后续控制点的施工成本目标。一般,对施工成本控制措施可按下述办法制定:控制点工期目标调整;控制点施工成本目标调整;施工组织措施调整;施工资源价格调整;承包商目标利润调整及工程索赔补偿等,以调整后续控制点施工成本目标或工期目标。

### 5.2 工期—成本调控模型

因工期波动引起施工成本的变化,可建立工期—成本调控模型以实现对控制点的施工成本控制。

当控制点  $i$  的施工成本预警信号强度  $\epsilon_i$  介于警戒线以外时,则有  $CT_i > CT_i^*$  或  $CT_i < CT_i^*$ 。控制点  $i$  处的施工成本增量  $\Delta CT_i$  为

$$\Delta CT_i = CT_i - CT_i^* = \begin{cases} > 0, & \text{当 } TM_a < TM_i^* \text{ 时} \\ < 0, & \text{当 } TM_a > TM_i^* \text{ 时} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (23)$$

可通过延长(即  $\Delta CT_i > 0$ )或压缩(即  $\Delta CT_i < 0$ )控制点  $i$  与控制点  $j = i+1$  之间相关活动的持续工作时间,以改变活动的成本速率,保持后续控制点  $j$  的施工成本目标不变,达到对控制点  $j$  施工成本调控的目的,且满足

$$\Delta CT_i = \Delta NCT_{i-j} + \Delta MCT_{i-j}, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad j = i+1 \quad (24)$$

式中,  $\Delta NCT_{i-j}$ ——调整控制点  $i$  与  $j$  之间的非关键活动持续工作时间,对控制点  $j$  产生的施工成本增量,有

$$\Delta NCT_{i-j} = \sum_{m^*} \frac{NCE_{i-j}(p, q)}{ENT_{i-j}(p, q)} \cdot \Delta_{i-j}(p, q) \cdot r_{i-j}(p, q) \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad j = i+1 \quad (25)$$

其中,  $NCE_{i-j}(p, q)$ 、 $ENT_{i-j}(p, q)$  分别为控制点  $i$  与  $j$  之间所调整的非关键活动  $(p, q)$  的施工成本和持续工作时间;  $\Delta_{i-j}(p, q)$  为非关键活动持续工作时间的调整增量(延长取负值, 压缩取正值), 且满足  $\Delta_{i-j}(p, q) \leq TF_{(p, q)}$ , 其中  $TF_{(p, q)}$  为非关键活动  $(p, q)$  的总时差, 由网络进度计划时间参数库提供;  $r_{i-j}(p, q)$  为非关键活动  $(p, q)$  的施工成本折减系数, 取

$$r_{i-j}(p, q) = \begin{cases} 1 & \text{当 } TNT_q \leq TM_i^* \text{ 时, 非关键活动 } (p, q) \text{ 已全部完成;} \\ \frac{TM_i^* - TNT_q}{TNT_q - TNT_p} & \text{当 } TMT_p < TM_i^* < TNT_q \text{ 时, 非关键活动 } (p, q) \text{ 已部分完成。} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, K, \quad j = i + 1 \quad (26)$$

$\Delta MCT_{i-j}$ ——控制点  $i$  与  $j$  之间, 调整相关关键活动持续工作时间, 对控制点  $j$  产生的施工成本增量, 有

$$\Delta MCT_{i-j} = \sum \frac{MCE_{i-j}(l, m)}{EMT_{i-j}(l, m)} \cdot \bar{\Delta}_{i-j}(l, m) \quad i = 1, 2, \dots, K \quad j = i + 1 \quad (27)$$

其中,  $\Delta MCT_{i-j}(l, m)$ 、 $EMT_{i-j}(l, m)$  分别为控制点  $i$  与  $j$  之间关键活动  $(l, m)$  的施工成本和工作持续时间;  $\bar{\Delta}_{i-j}(l, m)$  为调整关键活动工作持续时间的增量(延长取负, 压缩取正)。

按公式(24)调整控制点  $i$  的施工成本, 可保证后续控制点  $j$  的目标成本不变; 如果调整了关键活动持续工作时间, 则后续控制点  $j$  的目标工期应作适当调整, 即

$$TM_j^{**} = TM_i^{**} = TM_i^{*1} + \sum \bar{\Delta}_{i-j}(l, m) + (MT_i - TM_i^*)$$

$$i = 1, 2, \dots, K, \quad j = i + 1 \quad (28)$$

式中  $\sum \bar{\Delta}_{i-j}(l, m)$  为相关关键活动  $(l, m)$  持续工作时间调整总量(按各活动调整量的代数之和);  $TM_i^{*1}$  为后续控制点  $j$  的原目标工期;  $MT_i - TM_i^*$  为控制点  $i$  实现工期与目标工期的偏差。

经对控制点  $i$  的施工成本进行调控后, 以  $TC_{i+1}^{**}$  和  $TM_{i+1}^{**}$  为后续控制点  $i+1$  的施工成本目标和工期目标。而施工成本目标在调整前后均保持不变; 工期目标有可能发生变化, 承包商可采用工期索赔措施予以补偿。其余控制点施工成本监测、调控程序均与控制点  $i$  相同。

## 6 结束语

为了使本文提出的施工成本监测预警及调控方法便于操作, 笔者在“CEBSM”课题研究中, 分别设计了“施工网络进度计划参数库”、“控制点参数库”等, 为本系统运行提供有关信息。

### 参考文献

- 1 张泽厚等. 中国经济波动与监测预警. 北京: 中国统计出版社, 1992
- 2 肖维品. 建筑业科技进步管理 DSS 总体设计. 见: 张镛主编. 中国改革经纬录. 北京: 经济日报出版社, 1996. 315~352
- 3 肖维品. 建筑系统工程. 重庆: 重庆大学出版社, 1992

(编辑: 刘家凯)

(下转第 10 页)