

文章编号: 1673- 9469(2011) 01- 0076- 05

# 基于未确知测度理论的 CCPM 缓冲区尺寸设计

王晓波

(河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 从工程项目的工序风险偏好程度、执行时间不确定性程度、复杂性程度和开工柔性程度4种特性入手, 建立工序特性对缓冲区尺寸影响程度指标体系。引入未确知测度理论, 计算工序特性对缓冲区尺寸影响程度的综合测度向量, 利用工序特性对缓冲区尺寸的中等影响程度进行定性判断, 并进一步采用置信度识别准则定量确定缓冲区尺寸。算例结果表明, 工序A~Z的缓冲区影响因子在[0.177, 0.804]范围内, 工序消耗缓冲区尺寸的影响因子会随着工序特性而合理调整, 从而验证了该设计模型的可行性。

**关键词:** 未确知测度; 关键链项目管理; 缓冲区尺寸

中图分类号: TU71

文献标识码: A

## Buffer size designing of critical chain project management based on unascertained measure theory

WANG Xiaobo

(School of Economic and Management, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The influence index system of process characteristics to buffer size was built from the following 4 aspects: the process risk preference, the execution time uncertainty, the complexity and the starting flexibility. The unascertained measurement theory was introduced to calculate the comprehensive measure vector of process characteristics to buffer size influence. Then the buffer size was qualitatively decide according to the moderate influence of process characteristics and quantitative calculated by confidence identifying criterion. Examples show that the influence factors of buffer fall in [0.177, 0.804] from process A to Z, and the influence factors consumed will be rationally readjusted with process characteristics, which verifies the validity of this approach.

**Key words:** unascertained measure; critical chain project management; buffer size

缓冲区尺寸设计是关键链项目管理方法(critical chain project management, CCPM)的核心问题, 合理的缓冲区尺寸可以有效地利用安全时间, 增强项目进度计划的稳定性和操作性。传统的缓冲区尺寸计算方法, 如切粘法和根方差法, 都是以制造业为背景设计的, 虽然具有一定的数理统计基础, 并从不同的角度建立一般意义上的缓冲设置模型, 但是由于项目特性的复杂性, 使得其适用范围具有一定的局限性, 且前提条件较为苛刻<sup>[1]</sup>。

一些学者从项目特性角度对缓冲区尺寸设计进行了研究, 如褚春超<sup>[2]</sup>在深入分析资源紧张度、

工序复杂度和管理者风险偏好等工序特性的基础上设置了新方法确定缓冲区尺寸, 并通过蒙特卡罗模拟技术验证新方法的有效性和实用性; 杨立熙<sup>[3]</sup>从项目链路的工序数大小、工序执行时间不确定程度和开工柔性程度等方面研究CCPM缓冲设置, 取得了较好的效果。然而基于根方差法的缓冲区尺寸算法改进, 会随着关键链工序数的增加, 项目完工保证率逐步降低并趋于稳定, 从而造成结果过于乐观, 影响项目计划执行的稳定性。本文通过引入未确知测度理论对各工序缓冲区尺寸的影响程度进行识别, 确立中等影响程度下工

收稿日期: 2010- 08- 20

作者简介: 王晓波(1981-), 男, 河北邢台人, 硕士, 从事工程管理方面的研究。

表 1 工序特性对缓冲区尺寸影响程度评价指标体系

Tab. 1 Evaluation indicator system for the effect of process character on buffer size

工序特性 $I_j$	影响程度( $U$ )				
	很低( $C_1$ )	低( $C_2$ )	中( $C_3$ )	高( $C_4$ )	很高( $C_5$ )
$I_1$ 风险偏好程度	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6
$I_2$ 工序执行时间不确定程度	0.01	0.1	0.3	0.6	0.8
$I_3$ 工序复杂程度	0	0.03	0.05	0.15	0.3
$I_4$ 开工柔性程度	0.6	0.4	0.2	0.1	0

序缓冲区尺寸影响因子, 进而累计各链路子缓冲来设计缓冲区尺寸, 以避免缓冲区设计结果过于乐观而影响计划稳定性的情况发生。

### 1 关键链缓冲区尺寸设计

#### 1.1 指标体系的建立

工程项目不同于制造业项目, 具有工序繁多、工期长、产品生产单一次性、暂时性多组织以及多变更管理的特点, 工程项目特征决定了工序的特性对缓冲区尺寸的影响程度, 资源紧张度虽然也是工序的特性之一, 但是在识别关键链时计划已经考虑了资源的约束问题, 并且资源紧张度的影响是由不确定因素造成的, 与工序执行时间不确定程度是极其相关的。因此, 本文从管理者工序的风险偏好程度、工序执行时间不确定程度、开工柔性程度、工序复杂程度出发, 分析各工序对缓冲区尺寸的影响, 这里用 PERT 的三点时间估计(  $a, m, b$  )表示工序的时间消耗情况, 借用文献[ 4 ]中的  $K_B = \frac{m-a}{b-a}$  来描述工序执行时间不确定程度, 其他工序特性按照文献[ 2, 3 ]的方式表达。依据工序的这些特性, 利用专家打分法综合测定工序特性对缓冲区尺寸影响程度见表 1。

#### 1.2 模型设计

以工程项目的各工序为对象空间  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 工序特性空间为  $I = \{I_1, I_2, I_3, I_4\}$ , 工序  $x_i$  特性对其所在链路缓冲区影响程度评价集合为  $U$  { 很低, 低, 中, 高, 很高 }。

(1) 确定工序特性的单指标未确知测度识别矩阵

工程项目的各工序组成对象空间  $x_i$  (  $i = 1, 2,$

$\dots, n$  ), 其工序特性  $I_j$  (  $j = 1, 2, 3, 4$  ) 的特性值为  $A$ ,  $A$  介于  $U$  的两个相邻等级  $C_k, C_{k+1}$  (  $k = 1, 2, 3, 4, 5$  ) ( 对应特性值为  $A_k$  和  $A_{k+1}$  ) 之间, 构建直线型测度函数, 赋予  $x_i$  的工序特性  $I_j$  在等级  $C_k$  的测度为  $\mu_{jk} = \left| \frac{A_k - A}{A_k - A_{k+1}} \right|$ , 若  $\mu_{jk} > 0.5$ , 则取值  $1 - \mu_{jk}$ , 赋予等级  $C_{k+1}$  的测度为  $1 - \mu_{jk}$ , 若  $A \notin (A_1, A_5)$  则取相邻等级  $\mu_{jk} = 1$ , 其余等级均为 0。由此得出各工序单特性指标  $I_i$  的测度值  $\mu_{jk}$ , 建立工序  $x_i$  的单指标未确知测度识别矩阵:

$$\mu_{xi} = \begin{pmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \dots & \mu_{i1k} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \dots & \mu_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{ij1} & \mu_{ij2} & \dots & \mu_{ijk} \end{pmatrix} = (\mu_{jk})_{4 \times 5}$$

(2) 确定工序特性对缓冲尺寸影响的综合测度向量

工序特性值的测度值满足:  $0 \leq \mu_{jk} \leq \sum_{i=1}^k \mu_{jk} = 1$ , 即  $\mu_{jk}$  具有某种概率性质。为保证各工序特性权重的客观性, 采用信息熵理论客观地确定工序  $x_i$  各特性对缓冲区影响程度的权重  $w_{xi} = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ , 计算工序  $x_i$  在特性  $I_j$  下的未确知测度识别向量  $\mu_{xi}' = w_{xi} \mu_{xi}$ , 得出综合测度向量:  $\mu_{xi}' = (\mu_{i1}, \mu_{i2}, \mu_{i3}, \mu_{i4}, \mu_{i5})^T$

(3) 工序子缓冲的确定

根据关键链的理论, 过多的工序安全时间并不能发挥其应有的效用, 反而会导致造成工期拖延。因此, 适度考虑安全时间是缓冲尺寸的关键, 常用的方法是将各工序的安全时间按照一定比例消减作为缓冲区尺寸, 然而工序特性和缓冲区都具有不确定性, 简单的按照一定比例确定缓冲区显得过于主观而缺少科学性。安全时间的消减比例实质上是根据项目的性质确定的, 而项目特征

反映在工序的特性上,首先利用工序特性对缓冲区尺寸的中等( $C_3$ )影响程度进行定性判断,再定量确定缓冲区尺寸问题会更加合理。因工序特性对缓冲区影响程度是有序的,可采用置信度识别准则定量确定缓冲区尺寸。工序  $x_i$  对缓冲区影响等级为  $C_\lambda$  的置信度可表示为

$$K(x_i) = \sum_{\lambda=1}^{\lambda} \mu_k, k=1, 2, 3, 4, 5; \lambda \in k$$

在中等( $C_3$ )影响水平下(即  $\lambda=3$ )工序特性对缓冲区尺寸的置信度  $K(x_i)$  称之为工序对缓冲区尺寸的影响因子,工序  $x_i$  的子缓冲为  $ZB_i = (b - a)K(x_i)$ 。

(4) 确定汇入缓冲和项目缓冲尺寸

项目缓冲  $PB$  和汇入缓冲  $FB$  的确定按照粘法为缓冲链路上各工序子缓冲的累计,即  $PB = \sum ZB_i$ ,  $x_i$  为关键链上的工序;在确定非关键链上的汇入缓冲区时,先计算任意一条非关键链路上的汇入缓冲区  $FB' = \sum ZB_i$ ,如若非关键中汇入工序的自由时间  $TF > FB'$ ,则非关键链上的工序均往后推迟,直至  $TF = FB'$ ,以保证资金的时间效用和项目经理的专注性影响考虑;如果  $TF \leq FB'$  则要重新确定关键链,按上述方法计算缓冲区尺寸<sup>[5-6]</sup>。

2 实例计算

为了说明基于未确知测度 CCPM 缓冲区尺寸

表 2 工序持续时间和工序关系以及工序特性值信息表

Tab. 2 Information table for process durations, process relation and the characteristic value of processes

工序	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
持续时间	$a$	1	2	15	12	15	2	30	2	3	3	1	1	4	1
	$m$	2	3	17	13.5	17.5	4	35	3	4	4	2	2	4.5	4
	$b$	9	4	20	20	20	6	40	4	11	11	3	3	5	7
紧前工序	-----		B	C	D	A	F	G/E	H	I	J	J	K/L	M	
紧后工序	F	C	D	E	H	G	H	I	J	K/L	M	M	N	---	
工序特性值	$I_1$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	$I_2$	0.125	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.125	0.125	0.5	0.5	0.5	0.5
	$I_3$	0	0	0.1	0.1	0.1	0.33	0.33	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
	$I_4$	0.3	0.3	0.3	0.15	0.3	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.3	0.3

设计方法的具体过程,本文以文献[4]中的项目计划简要修改为例,具体工序的详细信息见表 2,在不考虑资源约束情况下,均以最乐观时间  $a$  确定关键链为  $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow L \rightarrow M \rightarrow N$ ,工序  $K$  和  $L$  并行且消耗时间相同是制约项目工期的瓶颈工序,也视为关键链上的工作,汇入缓冲  $FB$  和项目缓冲  $PB$  的位置如图 1。

按照本文的方法确定各工序特性单指标未确知测度识别矩阵如下:

$$\mu_{xa} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mu_{xb} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mu_{xc} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mu_{xd} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}$$



图1 缓冲区位置图

Fig.1 Location plan of the buffer

$$\begin{aligned} \mu_{xe} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{yf} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xg} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xh} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xi} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{yj} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xk} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{xl} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xm} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mu_{xn} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

经计算各工序特性的权重向量如下:

$$\begin{aligned} w_{xa} &= (0.196, 0.264, 0.334, 0.196), w_{xb} = \\ &(0.207, 0.221, 0.364, 0.207), w_{xc} = (0.23, 0.31, \\ &0.23, 0.23), w_{xd} = (0.246, 0.262, 0.246, 0.246), \\ w_{xe} &= (0.246, 0.261, 0.246, 0.246), w_{yf} = (0.208, \\ &0.22, 0.365, 0.208), w_{yg} = (0.208, 0.22, 0.365, \\ &0.208), w_{yh} = (0.208, 0.22, 0.365, 0.208), w_{yi} = \\ &(0.231, 0.308, 0.231, 0.231), w_{yj} = (0.231, 0.308, \\ &0.231, 0.231), w_{xk, xl, xm, xn} &= (0.246, 0.262, 0.246, \\ &0.246) \end{aligned}$$

根据工序单指标测度识别矩阵和权重向量确定工序的综合测度向量  $\mu'_{xi}$ , 并计算工序缓冲尺寸的影响因子  $K(x_i)$ , 可得出各工序的子缓冲, 具体计算结果如表 3 所示。

表 3 工序缓冲尺寸计算信息表

Tab. 3 Computational table of process buffer size

工序	安全时间	工序综合测度向量 $\mu'_{xi}$	影响因子 $K(x_i)$	子缓冲 $ZB_i$
A	8	(0.344 0.131 0.329 0.098 0.098)	0.804	6.43
B	2	(0.364 0.104 0.177 0.252 0.104)	0.645	1.29
C	5	(0.000 0.115 0.332 0.438 0.115)	0.447	2.24
D	8	(0.000 0.000 0.332 0.545 0.123)	0.332	2.66
E	5	(0.000 0.123 0.333 0.421 0.123)	0.456	2.28
F	4	(0.000 0.104 0.177 0.251 0.468)	0.281	1.12
G	10	(0.000 0.000 0.177 0.355 0.468)	0.177	1.77
H	2	(0.000 0.104 0.177 0.615 0.104)	0.281	0.56
I	8	(0.000 0.040 0.499 0.346 0.115)	0.539	4.31
J	8	(0.000 0.155 0.499 0.231 0.115)	0.654	5.23
K	2	(0.000 0.000 0.332 0.545 0.123)	0.332	0.66
L	2	(0.000 0.123 0.332 0.421 0.123)	0.455	0.91
M	1	(0.000 0.123 0.332 0.421 0.123)	0.455	0.46
N	6	(0.000 0.123 0.332 0.421 0.123)	0.455	2.73

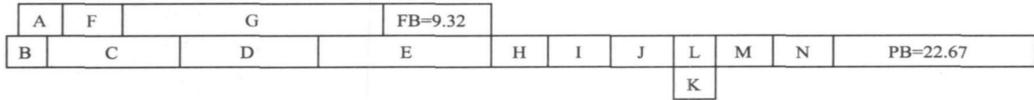


图2 CCPM规划图  
Fig.2 Plans of CCPM

子缓冲为各工序应考虑缓冲时间,通过表3可以看出未确知测度理论计算的影响因子,可以很好地确定出各个子缓冲的大小,将各链路上对应活动的子缓冲累加即可得到 $PB$ 和 $FB$ 的具体尺寸,本例汇入缓冲区由非关键链路 $A \rightarrow F \rightarrow G$ 的各子缓冲合计 $FB = 6.43 + 1.12 + 1.77 = 9.32d$ ,汇入时间为 $42.32d$ ,而其链路汇入关键链的自由时间为工序 $H$ 的开始时间为第 $44d$ ,链路 $A \rightarrow F \rightarrow G$ 开始时间退后 $1.68d$ 。关键链( $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow L \rightarrow M \rightarrow N; K$ )中 $K, L$ 作为时间相等的并行工序,由于 $ZB_k = 0.66 < ZB_l = 0.91$ ,则项目缓冲为工序 $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow L \rightarrow M \rightarrow N$ 的各子缓冲累加得到 $PB = 22.67d$ 。具体规划图如图2,整个项目的计划周期 $P = 58 + 22.67 = 80.67d$ 。

### 3 结论

1) 工序 $A \sim Z$ 的缓冲区影响因子在 $[0.177, 0.804]$ 范围内,工序消耗缓冲区尺寸的影响因子会随着工序特性而合理调整。

2) 通过未确知测度理论设计一定工序特性影

响程度下的缓冲区尺寸,使缓冲区尺寸更加切合实际,避免了缓冲区尺寸设计过度乐观而影响计划的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 韩文民, 龚俏巧, 刘智勇. 基于模糊综合决策及 Shannon 熵的关键链缓冲确定方法[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2009, 23(1): 75-78.
- [2] 褚春超. 缓冲估计与关键链项目管理[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(5): 1029-1035.
- [3] 杨立熙. 属性相关的关键链计划缓冲设置方法[J]. 工业工程与管理, 2009(1): 11-14.
- [4] 蔡晨, 万伟. 基于PERT/CPM的关键链管理[J]. 中国管理科学, 2009, 11(6): 35-39.
- [5] 焦利军, 李军. 基于未确知数学理论的建筑结构可靠性分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2010, 27(2): 4-7.
- [6] 李万庆, 周冲, 孟文清. 未确知数学在建筑施工安全性评价中的应用[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(2): 83-85.

(责任编辑 马立)