

基于多属性改进标准差的关键链项目 缓冲设置研究

田 坤,吕铁英
(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:应用关键链方法减少多属性影响下项目进度管理中的不确定性,基于活动自身属性和所处环境的差异性,考虑在活动时间的标准差尺度上体现资源利用状况与网络复杂关系的不确定性影响,进而生成改进标准差;再以多个管理者的绩效评价为条件得到平均效率,结合其风险偏好对缓冲进行二次修正;最终得出了改进后的缓冲设置模型。并使用蒙特卡洛方法对一般算例进行多次仿真模拟,通过比较分析不同方法在不同初始风险水平下的缓冲大小,证明所选方法在降低进度计划中的不确定性和缩减项目缓冲方面的有效性。

关键词:关键链;项目缓冲;改进标准差;多属性

中图分类号:F062.4 **文献标志码:**A

在项目进度管理过程中,由于存在项目自身的复杂特性、所处环境的不稳定性以及管理人员的主观差异等影响项目正常进行的多种不确定性,管理者往往会在进度计划中加入大量的安全时间作为缓冲,以保证项目的顺利进行。由于帕金森定律^[1]和学生综合症的存在,人们总是会将工作拖延到所允许的最迟时刻前完成,最终导致大量本应用于抵消风险的安全时间被浪费。

安全时间长度一般以初始活动时间参数为计算基础,对与项目相关的属性影响缺乏考量;而即使考虑了属性影响,也是基于主观设置的活动标准差,计算基数中往往缺少与不确定性的直接联系,因此难以反映项目实际情况。

在获得属性影响的相关参数条件下优先对活动个体的标准差进行修正,再从安全时间尺度上作补充,可更直观地反映不确定性的真实影响,并缩减缓冲区间,有效提高项目抵御风险的能力,体现项目组人员的真实效率水平。

缓冲设置方法一直是关键链项目管理领域的研究重点。Goldratt^[2]提出了剪切粘贴法,即以关键链上工作被剪掉的安全时间总和的一半作为项目缓冲,该方法被广泛应用于以缓冲确定为基础的各方面研究中。Newbold^[3]提出了根方差法,即基于中心极限定理将被切掉时间的根方差置于关键链尾部作为项目缓冲。其是在剪切粘贴法基础上的改进算法,一定程度上削弱了主观性。

考虑项目相关属性对活动进度的影响进而对缓冲加以修正也是众多学者研究的课题。Tukel等^[4]提出了利用资源紧张度求解和网络复杂度求解两种方法来确定缓冲,充

分利用了关键链中资源约束与网络形式的特点;施骞等^[5]综合考虑了资源紧张度、网络计划复杂度和项目经理风险偏好等因素对缓冲设置的影响;杨立熙等^[6]考虑了关键链中包含的工序数、工序执行时间不确定程度和工序开工柔性对缓冲设置的影响,使缓冲的确定更加合理有效;张俊光等^[7]运用熵权法来评估项目不确定性,再结合变异系数与模糊方法得出了项目工期与项目缓冲;胡晨等^[8]综合考虑了活动工期风险、资源影响系数和非关键链剩余缓冲等因素对缓冲区间的影响,在传统缓冲确定方法的基础上进行了改进;张光军等^[9]综合考虑了活动复杂度、活动灵敏度、资源紧张度和风险传播危害度等多种项目属性对多项目进展的影响,使缓冲区间尺寸更加符合实际需要;蒋红妍等^[10]综合考虑信息和资源等因素对缓冲区的影响,提出了信息和资源两个关键因素影响系数的计算方法以及对应的缓冲区计算方法。

具体到缓冲生成的方法上,多是在安全时间的基础上加以修正,资源及网络的不确定性仅体现在相关系数的表达式上,而未强调活动标准差的实际作用。此外,在不确定性的表达上,活动交叉并行时对资源使用复杂状况的考虑不完全,网络中非关键链对关键链的影响也较少涉及,对管理者状态的考虑有限,因此存在一定局限性。

笔者基于改进标准差和关键链方法的项目缓冲设置研究,首先简要阐述相关研究现状,再对项目相关属性进行定性与定量分析,然后基于属性参数给出标准差和安全时间的确定方法,最终建立项目缓冲设置模型,并通过算例模拟仿真证明模型的有效性。

一、项目缓冲区间设置

1. 项目相关属性分析

(1) 管理者效率与风险偏好

管理者效率以企业对管理者的业绩、能力、态度等方面的绩效考核为基础,一定程度上反映了管理者的实际经验与管理水平。风险偏好表示管理者对项目的信心,在进度管

理的过程中体现为设置较多安全时间的高风险偏好以及设置较少安全时间的低风险偏好。

以企业对管理者的绩效考核评分为已知条件,考虑项目中多个管理者协同管理的状态,设置平均效率。其取值越大,表示管理效率越高。其计算方法为

$$\eta = \frac{1}{M} \times \sum_{l=1}^M \frac{s_l}{S} \tag{1}$$

式中: η 为平均效率; l 为管理者; s_l 为管理者 l 的个人绩效考核评分; S 为绩效考核评分上限; M 为项目内的管理者数量。

单个管理者的风险偏好在 $(0,1)$ 取值,数值越大代表越保守,期望的安全时间越多,反之越少。针对单个活动若干个管理者合作前提下的综合风险偏好,计算方法为

$$\lambda_i = \frac{1}{M} \times \sum_{l=1}^M p_{il} \tag{2}$$

式中: λ_i 为管理者对活动 i 的综合偏好; p_{il} 为管理者 l 对活动 i 的个人风险偏好。

此处所讨论的管理者不仅可以指项目中各部门的管理人员,还可以包括为项目作各方面指导的专家等。

(2) 平均资源紧张度

资源紧张度是表现项目运行过程中资源利用程度的一个参数。资源紧张度越高就意味着对现有资源的利用程度越高,可供调度的空闲资源就越少,延期的风险就越大;相反,资源紧张度越低,应对突发事件的能力就越强。

由于资源使用情况不同所导致的不确定性,对于单一可更新资源,传统计算方法是在单位时间内限制资源供应量的基础上,计算活动在持续时间内对资源的占用比例,进而生成资源紧张度系数,并添加到缓冲设置模型中。

现针对多任务交叉并行、单位时间内资源使用上限不定的情况设置平均资源紧张度。由于实际项目中活动多是多段并列进行的,且资源供应可能发生变动,单个活动持续时间内就会有多个不同的资源紧张度分布在不同时间段上,因此,将其按时间长度进行加

权平均,得到可代表整体状况的平均资源紧张度。对于单个活动内的时间段落进行划分,定义以下各节点为分段点:①资源供应上限变化点;②并行活动内容变化点;③其他使资源占用比例发生变化的点。

另对各时间段内的资源和活动属性作以下假设:①资源已经合理调配,单位时间内总资源消耗不超过资源供应;②仅考虑单一可更新资源,单位时间内资源限量供应;③活动一旦开始便不可中断,直至完成。

基于以上分段规则和假设,平均资源紧张度为

$$\beta_i = \sum_{k=1}^{m_D^i} \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_k} r_i}{R_k} \times \frac{d_{ik}}{D_i} \right) \quad (3)$$

式中: i 为关键链上的活动; β_i 为活动的平均资源紧张度; D_i 为活动的总持续时间; d_{ik} 为活动总持续时间内第 k 段的持续时间; R_k 为第 k 段内的资源供应量; r_i 为活动的资源消耗; n_k 为第 k 段内的并行活动最大数量; m_D^i 为活动总持续时间内可分段数量。

(3)网络综合复杂度

网络综合复杂度表示某一活动在已生成的网络关系图中的位置属性的综合。传统计算方法根据活动持续时间的长度、活动之间的紧前与紧后关系建立复杂度系数的表达式。

以此为基础,考虑非关键链上总时差的长度对关键链活动的影响。由于非关键链上的网络具有一定复杂性,要首先对非关键链进行区域划分,此处定义非关键链段落为拥有同一汇入节点并相互联结的多个活动组成的网络(见图1),A、H所在水平链为关键链。上方圈起的部分为一个非关键链段落。另定义次级链(Subordinate Chain, SC)为在

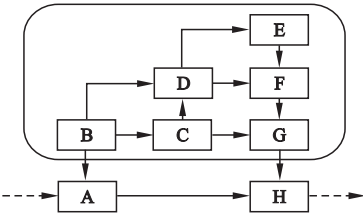


图1 非关键链段落示意图

非关键链区块中总持续时间最长的活动链。

次级链中总时差对关键链的影响为

$$\theta_i = \prod_{j=1}^{m_{SC}^i} \left(1 - \frac{TF_{Max}^{ij}}{LF_{j1} - ES_{j1}} \right) \quad (4)$$

式中: TF_{Max}^{ij} 为活动 i 紧前的第 j 条次级链上的最大总时差; LF_{j1} 和 ES_{j1} 分别为第 j 条次级链上最后一个活动的最迟结束时间和第一个活动的最早开始时间; m_{SC}^i 为与活动 i 相接的次级链的总数量。

另以 $\frac{N_i}{N_c}$ 和 $\frac{T_i}{T_c}$ 分别表示紧后活动数量和持续时间长度对单个活动的影响。其中, N_i

为关键链上活动 i 后(包括 i)的活动数量; N_c 为关键链上活动的总数量; T_i 为关键链上活动 i 后(包括 i)的活动的总持续时间; T_c 为关键链上活动的总持续时间,即项目最短工期。

综合以上各因素,以其几何平均代表网络综合复杂度,即

$$\gamma_i = \sqrt[m_{SC}^i + 2]{\theta_i \times \frac{N_i}{N_c} \times \frac{T_i}{T_c}} \quad (5)$$

2. 缓冲确定模型的建立

(1)项目缓冲概述

项目缓冲(Project Buffer, PB)是吸收项目生产过程中潜在风险或诸多不确定性的工具,是在安全时间基础上的精炼与补充。计算时,以Newbold^[3]的根方差法为基础,以关键链上每个活动的安全时间为计算基数,再加入与活动自身属性相关的参数,最终形成项目缓冲。项目缓冲不仅可以用作吸收不确定性,也可以用来衡量项目的整体风险水平。

(2)标准差的设置

为使标准差可以真实反映特定资源与网络情况影响下活动时间的不确定性,笔者对标准差的生成方法进行了改进。首先基于活动的平均持续时间,使用离差系数 C_v 来设置初始标准差,同时体现初始风险水平;再添加平均资源紧张度和网络综合复杂度,生成改进标准差。该方法区别于传统的获得安全时间后才加入属性影响的确定方法^[5-6],其计算过程为

$$\sigma_i^0 = \mu_i \times C_v \tag{6}$$
$$\sigma_i = \sigma_i^0 \times (1 + \beta_i) \times (1 + \gamma_i) \tag{7}$$

式中: μ_i 为关键链上活动 i 的平均持续时间; σ_i 为所求的最终标准差。

由于其所依据的属性信息在不同环境下表现不同,故使用此方法得出的标准差更具针对性。

(3)安全时间的确定

安全时间是在目标完工保证率下的时间与已知的平均时间的差值。由于项目中单个活动的持续时间服从对数正态分布^[2],故首先需要其涉及两个重要参数——平均时间与标准差。平均时间可由活动的时间参数表获得,标准差已在前述讨论中计算得出。

$$\omega_i = t_{95\%}^i - \mu_i \tag{8}$$

式中: $t_{95\%}^i$ 为活动 i 在 95% 完工保证率下的持续时间; μ_i 为活动的平均持续时间, ω_i 为活动 i 的安全时间。

(4)缓冲设置

基于对相关属性的讨论与标准差生成方法的改进,得到项目缓冲设置方法。

$$PB = \frac{e}{\eta} \times \left[\sum_{i=1}^n [(1 + \lambda_i) \times \omega_i]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

式中: e 为项目对管理者平均效率的客观期望,根据项目实际情况取 (0,1) 段落资源紧张度的具体数值,数值越大,对管理者效率的期望越高。

二、算例分析

1. 背景介绍

以某建筑施工项目为例,仅考虑人力资源的使用,其部分工程的工序间逻辑关系、工序平均持续时间和 3 种初始风险水平(即离差系数 C_v 分别为 0.05、0.10、0.15 时设定的初始标准差)如表 1 所示。假设项目各活动富有弹性,紧前工作结束后本工作便可立即开始,由表 1 可得单节点网络图(见图 2)。另资源供应情况如表 2 所示。

由表 1 可知,A、B、E、H、J、L 为关键路上的工作,最小总工期为 65 天。结合项目的资源供给及使用情况,生成随进度变化的段

落资源紧张度(见图 3)。

表 1 活动时间参数

编号	紧前活动	最小持续时间/日	不同 C_v 下初始标准差			人力需求/人
			0.05	0.10	0.15	
A	—	13	0.65	1.30	1.95	28
B	A	6	0.30	0.60	0.90	25
C	—	5	0.25	0.50	0.75	20
D	C	10	0.50	1.00	1.50	14
E	B、D	9	0.45	0.90	1.35	10
F	B	6	0.30	0.60	0.90	23
G	F	8	0.40	0.80	1.20	19
H	E	21	1.05	2.10	3.15	12
I	E	11	0.55	1.10	1.65	16
J	G、H	6	0.30	0.60	0.90	21
K	I	9	0.45	0.90	1.35	24
L	J、K	10	0.50	1.00	1.50	25

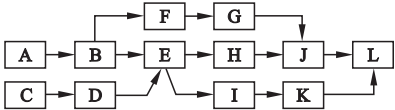


图 2 活动网络

表 2 资源供应变化

进度/日	1 ~ 13	14 ~ 28	29 ~ 33	34 ~ 48	49 ~ 65
资源供给上限/人	50	40	50	40	30

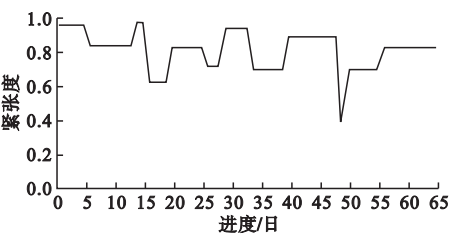


图 3 段落资源紧张度折线

管理者效率水平与风险偏好水平如表 3 所示,其中,对具体活动的风险偏好依据管理者的风险偏好区间随机生成。

2. 计算与分析

根据理论分析和表 1、表 2 可得关键活动的平均资源紧张度和网络综合复杂度,并由此生成改进标准差,再对应不同初始风险,得到各完工保障率下的活动持续时间和安全时间(见表 4)。

依据已构建的缓冲计算模型,使用 Crystal Ball 软件对基于改进标准差的关键链活动持续时间进行蒙特卡洛模拟,设置模拟次数为 10000 次,并依此计算安全时间,最

表 3 管理者效率与风险偏好统计

管理者	绩效评分	风险偏好区间	对关键链上活动的风险偏好					
			A	B	E	H	J	L
M_1	86	0.1 ± 0.1	0.15	0.06	0.20	0.10	0.14	0.14
M_2	90	0.4 ± 0.1	0.47	0.30	0.42	0.49	0.36	0.40
M_3	78	0.2 ± 0.1	0.21	0.30	0.28	0.13	0.19	0.19
M_4	92	0.3 ± 0.1	0.36	0.28	0.37	0.30	0.31	0.29
M_5	88	0.5 ± 0.1	0.60	0.44	0.45	0.53	0.44	0.49
平均效率	0.87	综合风险偏好	1.36	1.28	1.34	1.31	1.29	1.30

表 4 关键活动属性参数及时间参数计算

编号	平均资源 紧张度	网络综合复杂度				改进标准差/ C_v			$(1 - C_v) * 100\%$ 完工保障率下 的活动持续时间/ C_v			安全时间/ C_v		
		θ_i	$\frac{N_i}{N_c}$	$\frac{T_i}{T_c}$	γ_i	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
A	0.89		1.00	1.00	1.00	2.45	4.90	7.36	17.37	19.41	19.54	4.37	6.41	6.54
B	0.74		0.83	0.80	0.82	0.95	1.90	2.85	7.68	8.50	8.65	1.68	2.50	2.65
E	0.79	0.79	0.67	0.71	0.72	1.39	2.77	4.16	11.44	12.65	12.89	2.44	3.65	3.89
H	0.83		0.50	0.57	0.53	2.94	5.89	8.83	26.16	28.77	29.41	5.16	7.77	8.41
J	0.70	0.47	0.33	0.25	0.34	0.68	1.36	2.05	7.18	7.80	8.01	1.18	1.80	2.01
L	0.83	0.74	0.17	0.15	0.27	1.16	2.32	3.48	12.02	13.07	13.41	2.02	3.07	3.41

后得到 4 种方法 3 种初始风险水平下的项目缓冲。其中,传统确定方法与改进标准差方法的主要区别在于标准差的设定方式;而剪切粘贴法和根方差法与改进标准差方法的主要区别在于安全时间和缓冲的确定方式,由此形成两组对比。最终计算所得数据如表 5 所示。

表 5 各方法缓冲对比

方法	项目缓冲/ C_v		
	0.05	0.10	0.15
剪切粘贴法	10.95	17.50	20.42
根方差法	10.05	16.16	18.71
传统确定方法	9.49	14.37	16.96
改进标准差方法	9.85	14.71	15.66

由表 5 可知,对比传统方法,改进标准差方法所得缓冲区间在初始风险较小时略大,但随着初始风险水平的提高,即 C_v 系数的增大,在增长趋势上比传统方法更加缓和,并可以预见在 C_v 取得(0.10,0.15)的一临界点后会始终小于使用传统方法计算得到的缓冲。

而对比剪切粘贴法和根方差法,由于在安全时间和缓冲的确定方式上有所不同,在同样附加各项属性影响的前提下,改进标准差方法计算得到的缓冲始终小于其他两种方

法,并随着 C_v 系数的增大而缓慢增长,当初始风险水平设置较高时,更能充分体现改进标准差方法在缩减项目缓冲方面的明显优势。

考虑实际中大型项目需要面临多阶段、多资源、工序多、工期长等复杂情况,初始风险可能会认定在较高水平,改进标准差方法的使用效果可能会更加突出,但需要进一步的研究论证。

最后,依据项目计划工期服从正态分布,且其均值和方差分别等于关键链上各个活动工期的均值和方差总和的特性^[11],可基于初始标准差在多次仿真模拟后生成计划工期,结合项目缓冲确定项目进度计划。

实际运行过程中,可根据项目实际情况设置初始风险水平 C_v 、客观期望 e 和风险偏好区间等参数的具体数值,以便对进度计划确定进行更有针对性的指导。

三、结 语

针对项目进度管理中资源限制、网络复杂和人员工作效率低下等问题,将关键的属性影响聚集于标准差中,以此作为项目缓冲计算的基础。该方法不仅更直观地体现出进

度计划中的不确定性,而且经算例分析也证明了其在初始风险水平较高时可以有效缩减项目缓冲。

而添加多属性影响的关键链缓冲设置使项目在编制进度计划时更符合实际,也更有利于指导实际管理活动。

但笔者基于构建的模型所做的算例分析受到项目规模、项目类型等的限制,在活动数量及关系复杂度、资源数量及种类等因素发生较大变化时,对应项目缓冲和计划工期如何变化还有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 李明,徐哲,于静. 基于帕金森定律的关键链缓冲设置方法[J]. 计算机集成制造系统, 2013,19(12):3177-3183.

[2] GOLDRATT E M. Critical chain [M]. Great Barrington:The North River Press,1997.

[3] Newbold R C. Project management in the fast lane:Applying the theory of constraints [M]. Boca Raton:CRC Press,1998.

[4] TUKEL O, WALTER O, SANDRA D. An investigation of buffer sizing techniques in

critical chain scheduling[J]. European journal of operational research, 2006, 172 (2): 401 - 416.

[5] 施骞,王雅婷,龚婷. 项目缓冲设置方法及其评价指标改进[J]. 系统工程理论与实践, 2012,32(8):1739-1746.

[6] 杨立熙,李世其,黄宝夏,等. 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.

[7] 张俊光,宋喜伟,杨双. 基于熵权法的关键链项目缓冲确定方法[J]. 管理评论, 2017, 29 (1):211-219.

[8] 胡晨,徐哲,于静. 基于工期分布和多资源约束的关键链缓冲区大小计算方法[J]. 系统管理学报, 2015, 24(2):237-242.

[9] 张光军,姚泽坤,刘人境,等. 风险导向下的关键链多项目能力约束缓冲设置方法[J]. 科技管理研究, 2018, 38(23):198-203.

[10] 蒋红妍,彭颖,谢雪海. 基于信息和多资源约束的关键链缓冲区大小计算方法[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(1):34-41.

[11] 张俊光,冉文娟,贾赛可,等. 关键链项目缓冲设置研究述评与展望[J]. 管理评论, 2017, 29 (12):195-203.

Research on Critical Chain Project Buffer Setting Based on the Multi-Attribute Improved Standard Deviation

TIAN Shen, LÜ Tiejing
(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: The critical chain method is applied to reduce the uncertainty of project schedule management under the influence of multiple attributes. Based on the difference between attributes of activities themselves and their environment, considering the uncertain influence of resource utilization and network complexity on the standard deviation scale of activity time, the improved standard deviation is generated. Then combined with the average efficiency obtained from multiple managers' performance evaluation and risk preference, the buffer is revised twice. Finally, the improved buffer setting model is obtained. Monte Carlo method is also used to simulate the general example for several times. By comparing and analyzing the buffer intervals of different methods at different initial risk levels, the effectiveness of this method in reducing the uncertainty of schedule and reducing the buffer length of project is proved.

Key words: critical chain; project buffer; the improved standard deviation; multiple attributes
(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)