

基于工期可控性的网络进度计划仿真评价方法研究

潘菲菲,王仁超,曹永雷

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300072)

[摘要] 针对工程建设过程中常常通过资源重新配置或提高资源利用率来应对风险事件可能引起工期延迟的问题,提出了基于工期可控性的网络进度计划随机仿真评价方法,以资源配置和利用裕度作为活动的可控性衡量指标,同时考虑了风险事件发生时间不同导致的风险应对措施的可实施性不同的问题,通过对各个风险事件发生时间及其引起的活动持续时间延误、风险应对效果等进行随机仿真,从而对整个项目的工期分布进行模拟,评价编制的网络进度计划的合理性。算例表明:相对于传统的基于工期和基于因素的Monte-Carlo仿真评价方法,基于工期可控性的仿真评价方法得到的结果更为合理。

[关键词] 网络进度计划;随机仿真;风险应对;工期可控性;评价

[中图分类号] TV511 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)01-0143-08

1 前言

关键线路法(CPM)是最早的网络进度计划方法^[1],根据CPM方法,进度计划编制人员以一个确定值来估计各个活动的持续时间。随着CPM的应用和发展,人们认识到工程建设过程中,活动持续时间受到各种随机因素的影响,各个活动的持续时间实际上是一个随机变量。于是,计划评审技术(PERT)被提出。PERT是一种重要的网络技术方法,它把确定型的网络扩充到非确定范畴,能合理有效地预测网络计划的完工概率,为项目管理者分析决策提供数据支持。但是PERT也存在一定的不足^[2-4],一是关于活动持续时间的随机分布形式,没有任何证据表明活动持续时间一定服从 β 分布;二是三时估计,即最乐观、最可能和最悲观时间估计,实际中网络计划编制人员很难准确估计这3个值,在此基础上近似计算活动持续时间的均值和方差

就更加不可靠。相关文献的统计表明^[4,5],用CPM方法在多数情况下求得的工期得以实现的可能性小于25%;用PERT算得的项目工期几乎总小于实际统计平均值,误差可达30%。

为什么以CPM/PERT网络进度计划方法编制的网络进度计划求得工期在实际工程中会出现如此大的偏差?对于这个问题,我们认为,其根本原因是:实际工程施工中,工程施工管理人员往往以网络进度计划制定的工期进度目标为基准,来安排和统筹各项工作,当遇到影响工期的风险因素后,他们会采取一定的措施,希望把延误的工期补回来,由于随机事件发生时间点不同,有些情况下,延误时间能够补回来,而有些情况下,即使采取了措施,也难以补回来。很多工程案例都有这种情况。例如,中国的小湾水电站,建设初期布置了5台缆机,建设中当遭遇混凝土裂缝质量问题后,增加了一台缆机。中国的溪洛渡水电站工程,建设过程中

[收稿日期] 2013-01-23

[作者简介] 潘菲菲,1986年出生,女,山东临沂市人,博士,研究方向为工程管理;E-mail:panfeifei1986@163.com

也增加了一台缆机。建设中的观音岩水电站由于各种原因,造成截流时间可能延误,实际工程中,通过调整各个标段混凝土浇筑强度,减少了截流时间延迟的可能性。这些工程案例表明:虽然网络计划活动持续时间是一个随机变量,但是,现实工程实施过程中,当发生风险事件后,人们预计该项活动可能延迟时,工程管理人员会在资源配置和利用上进行调整,这样一来,作为随机变量的活动持续时间就会受人为控制措施的影响,考虑不是所有延误都可能通过采取措施补回来的情况,活动的实际持续时间仍是随机变量,但是,其分布特征已经发生了变化。

20世纪90年代末提出的关键链方法是约束理论在项目管理领域的应用,通过为作业预留安全时间、为项目设置缓冲时间以应对项目中的风险,提高了管理者对整个项目工期的控制^[6]; Alan R Bowman^[7]于2006年提出为网络计划中每项作业指定一可使进度计划最大程度的在工期内完成的界限,经过仿真获得作业的控制时间及控制程度;针对作业时间裕度的研究,2011年 Cyril Briand 与 Jean-Charles Billaut^[8]将影响作业持续时间的风险因素作为“智能体”,影响因素发生后都可以通过增加费用将工期控制在要求范围内,智能体通过相互之间的博弈来完成作业持续时间的控制。以上研究仅针对作业裕度的控制进行研究,但如何进行控制以及控制措施的可实施性并未提及。

Van Slyke^[9]提出的蒙特卡洛模拟(MCS)方法是一种对活动持续时间进行众数抽样的计算机仿真方法,通过对变量的统计试验和随机模拟得到总工期的概率分布以及所有可能的关键路径和路径关键度。利用该方法,可以弥补PERT方法简化计算的缺陷,使得网络计划结果更加符合实际。但是MCS方法仅反映了各工序影响因素综合作用的结果,用某种特定的分布表达工期的不确定性,不能准确表达工程施工中各工序的工期情况。褚春超^[10]提出了基于因素的MCS方法,但是该方法并没有考虑风险因素发生时间以及发生风险后的应对措施等问题。

因此,针对工程建设过程中常常通过增加、调整资源配置和提高资源利用率来应对工期延误风险的问题,本文提出了基于工期可控性的网络进度计划随机仿真评价方法。文中对于活动以及项目的可控性衡量指标进行了定义,提出以资源配置和

利用裕度作为活动的可控性衡量指标,同时考虑了风险事件发生时间不同导致的风险应对措施的可实施性不同问题。通过基于风险因素的随机仿真和风险应对措施效果,对整个项目的工期分布进行模拟,评价编制的网络进度计划的合理性。通过算例表明,相对于基于工期分布的仿真结果和基于因素的仿真结果,基于工期可控性的仿真评价结果更贴近工程实际。另外,由于可控性和活动资源配置结合,应用该方法评价工程进度计划编制的合理性更有说服力,同时对于实际工程控制也具有一定的指导意义。

2 工程进度风险应对措施分析

为了减少工程建设过程风险,保证工程建设的顺利进行,工程建设往往需要经历若干阶段。在不同的阶段都需要编制工程网络进度计划。随着研究、设计等工作的深入,工程项目类型、布置、资源、设备、资金需求等逐步明确,编制的网络进度计划可靠性逐步增加,同时,风险水平也逐步降低。但即使如此,在实施阶段,工程建设项目仍可能遭遇各种风险事件,而影响工程建设工期。其原因是:一方面,工程设计阶段编制网络进度计划主要依靠编制人经验估计各个活动项目的时间参数,这本身具有一定的主观性,存在估计偏差;另一方面,工程建设过程各种可能影响工期的因素,在工程设计阶段不可能、有时也无需全部考虑。因此,通常情况下,进度计划编制人员会根据以往经验,再结合工程实际,考虑常规水平,安排活动资源,估计项目各个活动的持续时间。实际工程中,发生超出设计水平的风险事件,造成或可能造成工期延误时,采取一定的措施,应对和消除风险对工程工期的影响^[11]。

工程建设管理人员可以采取的风险应对措施以及是否需要采取风险应对措施与工程设计阶段对于工程项目可能遭遇的风险、计划阶段资源的配置以及风险发生时间具有紧密的关系。

2.1 计划制定阶段的资源配置与风险应对

工程进度计划制定阶段往往会对项目可能遭遇的风险进行分析,对于遭遇风险可能性大的活动,往往在活动持续时间和设备等资源配置上留有一定的余地。这里,把劳动力、资金、材料、机械设备、工作空间、有效工作时间等均看作活动完成需要资源。显然,计划制定阶段资源配置留有的余地越大,实施阶段在发生风险事件时的风险应对措施

越充足。这里,把计划制定阶段资源配置裕量与工程进度控制结合起来,提出活动可控性概念。

对于进度计划中的一项活动*i*, T_i 为活动*i*在常规资源利用效率和资源配置下的计划工期。假设 T_i' 为发生进度风险而不采取任何应对措施时的工期,即发生进度风险后,仍然按照常规资源利用效率和资源配置进行时的工期。 T_i'' 为充分利用资源和最大资源配置下可补救的工期,也可以说,以最大资源利用效率和最大可利用资源配置活动*i*可以缩短的工期。则有 $T_{ic} = T_i' - T_i''$, T_{ic} 为从开始阶段即采取风险应对措施后活动的工期。显然, T_{ic} 与 T_i 比值越小,表明活动资源配置越充分,活动的可控性越强。于是将其定义为活动的可控性指标。

$$C_i = \frac{T_{ic}}{T_i} \quad (1)$$

式(1)中: C_i 为活动*i*工期可控性系数; T_i 为活动*i*进度计划工期; T_{ic} 为考虑风险应对后活动*i*的工期。

如果 $C_i \leq 1$,则表明实施风险应对措施后,活动持续时间不会延迟,工期是完全可控的;如果 $C_i > 1$ 则表明即使实施了风险应对措施,活动持续时间仍会延迟,工期是部分可控的。

2.2 实施阶段进度风险应对措施

在工程实施阶段,工程管理者按照预定的进度计划实施,当受到外界各种风险因素的影响,使得工程进度可能出现延误时,工程建设、管理人员会采取一定措施弥补风险因素发生而带来的不利影响,或在预计到风险因素可能发生时,采取一定措施预防风险发生。工程实施阶段的常采用应对措施有以下几项。

1)增加资源投入:根据工作特点增加施工人数、机械设备等资源配置。这种情况往往是在该种资源便于获得,或获得成本不高且有足够的资源配置条件下,经常被采用。

2)重新分配资源:根据工程中各项工作的紧迫程度不同,适当调整非关键路线的工作资源保证或加快关键线路上的工作进度。这种情况往往是非关键路线工作存在较大时差,且非关键路线工作与关键路线工作存在资源竞争关系时常常采用。

3)提高资源利用率:通过设备维护、改善工作环境、延长工作时间等提高资源利用率。这种情况往往是资源难以短期获得或获得成本高或工作面受限难以再追加资源时常采用的方法。

4)调整网络进度计划,改变活动间的逻辑关

系:将活动间的逻辑关系由顺序执行调整为并行或搭接施工,从而减少某些工作延迟可能带来的影响。对于这种情况,虽然调整的是时间,但是同样涉及资源的变更。根据目前Monte-Carlo等仿真分析习惯,在工程评价阶段通常并不涉及这种应对措施。

5)风险转移:将风险向其他某些部门、实体转移。对潜在损失大,发生概率小的风险可以采取转移对策。常见的有通过保险措施等来实现风险转移。这种情况不会减少风险对工程进度的影响,但另一方面,有利于风险发生以后进度计划调整资金等的获得。

3 基于工期可控性的网路进度计划仿真评价模型与方法

在工程实践中,大多数情况是考虑通过增加资源投入、调整资源分配、提高资源利用率来应对风险。部分工程项目也通过改变逻辑关系应对风险事件的影响。但是考虑到这种情况的复杂性,本文暂不考虑这种情况。以下关于工期可控性评价中,假定工程建设主要通过资源配置调整和资源利用率调整来应对风险。

3.1 风险应对后活动工期 T_{ic} 的确定

资源配置调整和资源利用率提高都可以理解为生产率的提高。实际工程实施过程中,进度计划调整往往是在进度风险发生后进行。这样一来,风险因素发生时间不同,也会导致风险应对措施的效果不同,如在项目实施的后期发生风险事件,往往无法采取风险应对措施保证项目按期完成。

此外,项目管理者风险态度往往也影响风险的应对效果。例如,对保守的管理者,在风险发生后即可能采取稳妥的风险应对措施,即以最高的资源利用效率和最大资源配置应对风险,使进度保证率提高,工期出现延误的风险减小;相反,对于一般情况,项目管理者出于经济效益方面的考虑,常在各风险发生后,以仍能使项目活动在预定时间完成为目标,调整资源利用效率和资源配置,这样一来,在多个风险事件连续发生时,即使进度计划安排时有较大的余地,也可能导致工程进度的延误。本文对以上两种情况分别进行分析,分别考虑 T_{ic} 的确定。

对于活动*i*,假设活动工程量为 Q_i ,计划阶段考虑一般的资源利用水平 η_i ,下生产率为 P_i ,则计划

工期为 $T_i = \frac{Q_i}{P_i}$ 。令 η_{\max} 为资源最大可利用水平, 相应的生产率由 P_i 提高到 $P_{i\max}$ 。

情况 1: 以保守态度应对风险的工期可控性分析。

项目计划阶段, 有 $\Delta T_i = \frac{Q_i}{P_i} - \frac{Q_i}{P_{i\max}}$ 的时间来应对风险的发生, ΔT_i 体现了计划留有的余地, 也体现了该活动的风险应对能力。假设实际施工时发生风险事件 e , 且风险事件发生时间为 t_e , 风险事件 e 造成工期延误为 Δt_e , 假设后续没有其他风险事件发生, 则活动 i 相应的工期 T_{ic} 公式表达为

$$T_{ic} = t_e + \Delta t_e + \frac{Q_i - P_i \cdot t_e}{P_{i\max}} \quad (2)$$

变换式(2), 于是有

$$T_{ic} = \Delta t_e + \frac{Q_i}{P_{i\max}} + t_e \left(1 - \frac{P_i}{P_{i\max}}\right) = \Delta t_e + \frac{Q_i}{P_i} - \left(\frac{Q_i}{P_i} - \frac{Q_i}{P_{i\max}}\right) + t_e \left(\frac{P_i}{P_i} - \frac{P_i}{P_{i\max}}\right) \quad (3)$$

将 $T_i = \frac{Q_i}{P_i}$ 和 $\Delta T_i = \frac{Q_i}{P_i} - \frac{Q_i}{P_{i\max}}$ 代入可得

$$T_{ic} = T_i + \Delta t_e - \Delta T_i + \frac{\Delta T_i}{T_i} t_e = T_i + \Delta t_e - \Delta T_i \left(1 - \frac{t_e}{T_i}\right) \quad (4)$$

由式(4)分析可知, $\Delta T_i \left(1 - \frac{t_e}{T_i}\right)$ 为风险应对可补救工期, 与 ΔT_i 及风险因素的发生时间 t_e 有关: 风险应对措施越充分, 风险应对能力 ΔT_i 越大, 可补救工期越大; 风险发生时间越晚 (即 t_e 越大), 可补救工期越小, 当 $t_e = T_i$ 时, 可补救工期为 0。考虑风险及风险应对补救后得到工期 T_{ic} 。

实际施工中, 活动受多因素影响, 对于多因素发生的状况, 同理分析可得到

$$T_{ic} = T_i + \sum_{e=1}^n \Delta t_e - \Delta T_i \left(1 - \frac{t_1}{T_i}\right) \quad (5)$$

式(5)中, $\sum_{e=1}^n \Delta t_e$ 为各风险因素带来工期延误之和; t_1 为各风险发生时间的最小值。式(5)代表了当风险发生即采用充分的风险应对措施时的工期。利用公式(1)对工期 T_{ic} 与计划工期 T_i 比较, 可得到活动工期的可控性指标。

情况 2: 以较为乐观态度应对风险时的工期可

控性分析。

所谓较为乐观态度应对风险, 是指工程管理者采取这样的措施应对风险, 即当发生风险事件而影响工期后, 资源配置和资源利用水平提高以仍能在计划工期内完成工作内容为目标。

一般情况下, 当风险事件发生时, 适当采取风险应对措施调整资源 (即 p_i 的变化) 使活动工期仍能保证按时完成, 如图 1、图 2 所示: t_1, t_2, \dots, t_M 为 M 个风险事件发生时刻, $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_M$ 为各风险事件带来的延迟, p_0, p_1, \dots, p_n 为各风险事件发生后以较为乐观态度应对风险采取的施工生产力水平。

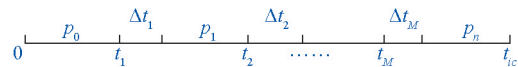


图 1 风险事件影响无重叠情况下活动工期示意图

Fig. 1 Diagram about activity time when no overlapped risk events affect



图 2 风险事件影响有重叠情况下活动工期示意图

Fig. 2 Diagram about activity time when overlapped risk events affect

对于图 1 和图 2, 基于情况 1 的分析, T_{ic} 的计算公式如下

$$T_{ic} = \max_{j=1}^M \{t_{ij} + \Delta t_{ij}\} + \frac{Q_i - \sum_{j=0}^{M-1} Q_{ij}}{P_{iM}} \quad (6)$$

式(6)中, M 为已发生的风险因素数; t_{ij} 为第 j 个风险时间的发生时间; Δt_{ij} 为第 j 个风险事件导致的工期延迟。

对于图 2 所示的风险事件发生时间可能与上一次时间发生引起的时间延迟区间可能重叠, 用 $\max_{j=1}^M \{t_{ij} + \Delta t_{ij}\}$ 来表达各风险事件发生后活动重新开工时刻, $\sum_{j=0}^{M-1} Q_{ij}$ 为活动已完成的工程量, P_{iM} 为 M 事件发生时在保证 $T_{ij} \leq T_i$ 条件下调整相应资源后的生产率。

对于图 1 所示的没有重叠的情况, 各个风险事件发生后要求的生产率水平为

$$P_{iM} = \frac{T_i - t_{iM}}{T_i - t_{iM} - \Delta t_{iM}} \cdot P_{i(M-1)} \quad (7)$$

式(7)中, $P_{i(M-1)}$ 为第(M-1)个风险发生后的调整的生产率。

对于图2所示的有重叠的情况,各个风险事件发生后要求的生产率水平为

$$P_{iM} = \frac{T_i - \min(t_{i(M-1)}, t_{iM})}{T_i - \max(t_{ij} + \Delta t_{ij})} \cdot P_{i(M-2)} \quad (8)$$

式(8)中, $\min(t_{i(M-1)}, t_{iM})$ 为重叠发生的风险事件中最早发生时间; $\max(t_{ij} + \Delta t_{ij})$ 为重叠发生的风险事件结束时间。

可将式(7)和式(8)合为一个公式,则有

$$P_{iM} = \frac{\prod_{j=1}^M (T_i - t_{ij})}{\prod_{j=1}^M (T_i - t_{ij} - \Delta t_{ij})} \cdot P_{i0} \quad (9)$$

式(9)中,若各 P_{iM} 不超过活动的最大生产率 P_{max} ,则活动工期不会出现延迟,活动工期是可控的,否则,活动工期有一定程度的不可控。可控性大小同样由求得的 T_{ic} 带入式(1)来计算。

3.2 基于工期可控性的网络进度计划仿真评价

基于可控性的模型可以分为四大模块,分别为仿真模块、计算模块、结果输出模块及评价模块。模型的仿真评价过程可以叙述为:首先要依据操作者提供的模拟次数对各影响因素的发生状况进行模拟和确定。在风险状态模拟完毕后,以某一时间段为单位,依据风险因素的发生状况及资源的安排对整个项目各活动每一时间段的施工情况进行模拟计算,确定各活动的工期、项目的总工期、各活动时间参数及工期可控性等信息;当达到规定的模拟次数时,对模拟次数的相关参数(总工期分布,活动的关键性指标等)进行统计计算并输出。最后由输出的各参数的计算结果对模型进行评价。

不同风险态度下可控性模型的区别在于当风险因素的发生引起活动工期出现延误时,不同的资源调整引起的工期进度改变的不同,两种模型的计算流程图如图3、图4所示。

4 算例分析

为方便理解工期可控性的概念,这里取某工程部分项目网络进度计划作为算例,说明工期可控性的计算过程。

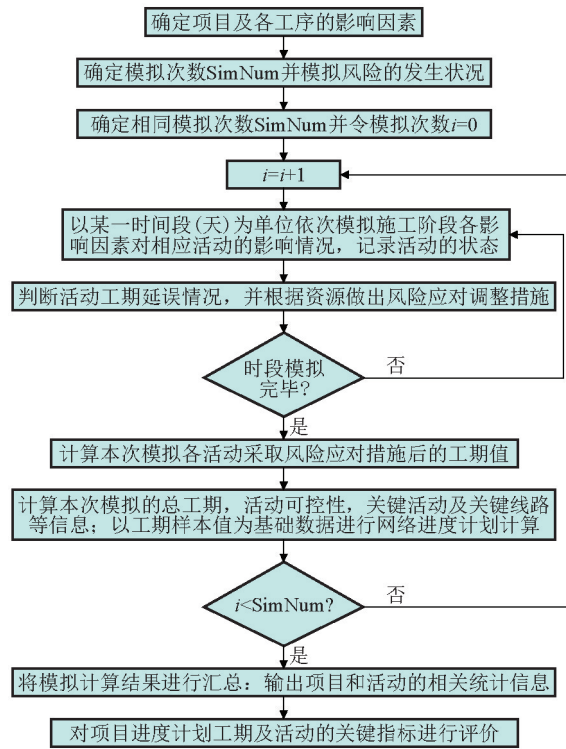


图3 基于可控性的模型流程图(乐观态度)
Fig. 3 Flow chart of controllability-based model (positive attitude)

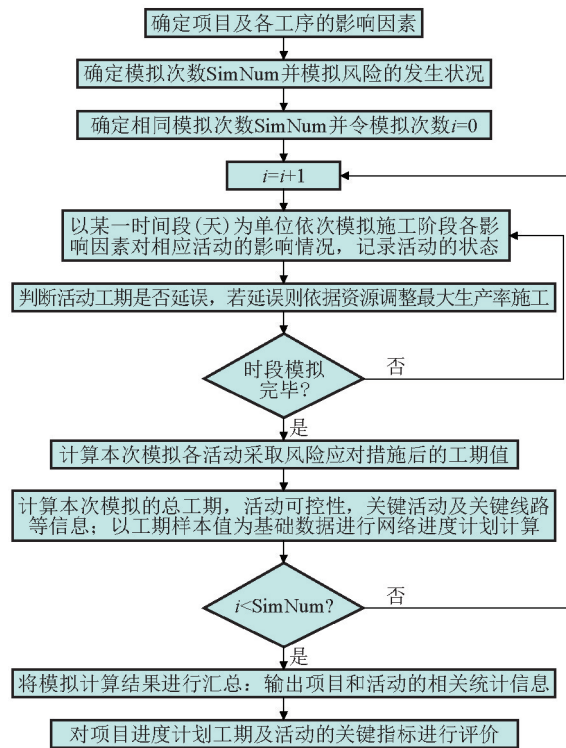


图4 基于可控性的模型流程图(保守态度)
Fig. 4 Flow chart of controllability-based model (conservative attitude)

网络进度计划包含8项工作A、B、C、D、E、F、G、H,各个活动实际实施期间可能遭遇的风险事件、计划配置的资源量以及计划阶段各个工作可以利用的资源量等如表1所示。表1中理想工期栏为不考虑任何风险因素下各个活动的工期;计划工期栏为计划者拟定的活动的工期;影响因素栏为对活动有影响的风险因素代码,案例中共考虑了4种因素,

代码分别为1~4,其每天发生概率分别为0.12、0.12、0.08、0.08,模拟中假定风险因素发生当天不能施工;资源类型为各个活动需要的资源的代码,共考虑了3种类型的资源 R_1 、 R_2 、 R_3 ,相应3种资源最大可利用量分别为20、16、10个单位;计划资源量为拟定网络计划时各个活动配置的资源量;资源可增加量是指当发生风险时,活动可以增加利用的最大资源量。

表1 各项工作网络进度计划信息表
Table 1 Schedule information of various activities

项目活动	理想工期	计划工期	影响因素	资源类型	计划资源量	资源可增加量	活动计划时间参数			
							ES	EF	LS	LF
A	5	6	1,3	R_1	10	10	0	6	0	6
B	4	5	2	R_2	8	8	0	5	4	9
C	6	7	2,3	R_1	10	10	6	13	11	18
D	8	10	1,4	R_1	10	10	6	16	6	16
E	6	7	3	R_2	8	8	5	12	9	16
F	2	2	3	R_1	5	10	16	18	16	18
G	10	12	2,3	R_3	10	0	18	30	18	30
H	9	10	4	R_3	10	0	16	26	20	30

各项工作之间逻辑关系如图5所示。

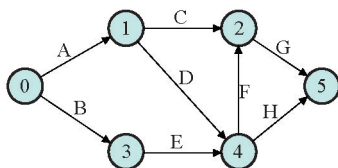


图5 各项工作逻辑关系的双代号网络图
Fig. 5 Activity-on-arrow network chart of various activities

1)不考虑风险应对措施仿真结果。按照表1给定的各个活动的理想工期和图5给定的逻辑关系,仅考虑四种因素发生后引起各个活动持续时间延误,而不考虑增加资源应对情况,采用Monte-Carlo仿真方法进行随机模拟,共进行了1万次模拟,模拟的案例的总工期分布如图6所示。

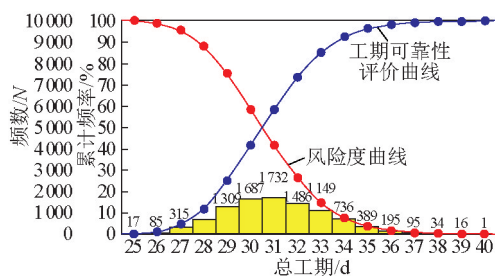


图6 不考虑风险应对措施的总工期分布
Fig. 6 Project distribution without measures against risks

由图6可以看出,按照理想工期项目完成的概率很少,1万次模拟中仅有17次项目按照理想工期完成,30d以内完成的累积概率是50%左右,相应最大模拟工期为40d。

2)采取相对乐观风险应对措施的仿真结果。以表1给定的各个活动的计划工期为目标,当发生风险事件后,以仍然满足计划工期为目标进行风险应对,采用Monte-Carlo仿真方法进行随机模拟,共进行了1万次模拟,模拟的案例的总工期分布如图7所示。

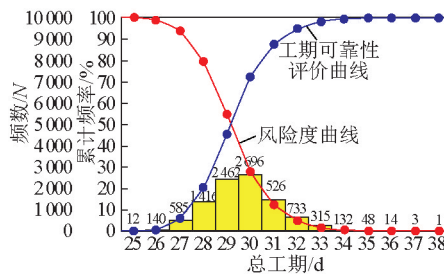


图7 采取相对乐观风险应对措施下的工期分布
Fig. 7 Project distribution on positive measures against risks

由图7可以看出:在采取相对乐观风险应对情

况下,在1万次模拟中,项目按照理想总工期25 d完成的次数为12次,计划总工期30 d完成项目的累积概率为70%,比不考虑应对的50%提高20%,相应最大模拟工期变为38 d,比不考虑风险应对缩短了2 d。

3)采取相对保守风险应对措施下的仿真结果。以表1给定的各个活动的计划工期为目标,当发生风险事件后,以立即投入可投入最大资源进行风险应对,采用Monte-Carlo仿真方法进行随机模拟,共进行了1万次模拟,模拟的案例的总工期分布如图8所示。

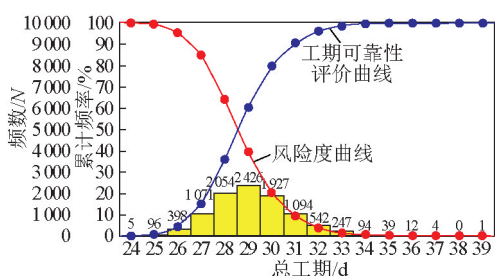


图8 采取相对保守风险应对措施下的工期分布
Fig. 8 Project distribution on conservative measures against risks

由图8可以看出,在采取相对保守风险应对情况下,在1万次模拟中,项目按照理想总工期25 d完成的次数为86次,比不考虑风险应对情况提高59次,比相对乐观的风险应对措施时提高了64次,同时还出现了24 d完成的情况。计划总工期30 d完成项目的累积概率为80%,比不考虑风险应对的50%提高30%,比相对乐观风险应对模拟情况提高10%。模拟的最大工期为37 d,比不考虑风险应对缩短3 d,比相对乐观风险应对天数缩短1 d,在模拟中还出现了一次39 d的情况。

4)总工期分布形式。对比图6~图8可以看出,在不考虑风险应对情况下,一方面,工程工期基本在29~33 d的几率相当高,约占60%以上。在考虑风险应对的情况下,当以较为乐观态度应对风险,工期为30 d的概率最大,可达25%以上,工程工期基本集中在28~31 d,约占70%以上;当以保守风险应对态度时,工期分布整体缩短,工期分布在27~31 d占75%以上,分布更加集中。

5 结语

工程建设过程中常常通过资源重新配置或提高资源利用率,以应对风险事件可能引起的工期延迟。本文提出了基于工期可控性的网络进度计划随机仿真评价方法,该方法以资源配置和利用裕度作为活动的可控性衡量指标,同时对保守态度应对风险和较为乐观态度应对风险两种措施情况下的工期可控性进行了分析,并提出了两种情况下的工期计算模型,通过Monte-Carlo随机仿真方法,对各个风险事件发生时间及其引起的活动持续时间延误、风险应对效果,以及对整个项目的工期分布进行了模拟,从而评价编制的网络进度计划的合理性。通过算例表明:相对于传统的基于工期和基于因素的Monte-Carlo仿真评价方法,基于工期可控性的仿真评价方法得到的结果更为合理,为实际工程的施工进度计划提供可靠的工期保证。

参考文献

- [1] 李万庆. 工程网络计划技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] Elmaghraby S E. Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models [M]. New York: John Wiley and Sons, 1977.
- [3] Wolfgang Tysiak. Risk Management in projects: The monte carlo approach versus PERT [C]// The 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. 2011: 906-910.
- [4] 李若刚, 王国祥, 李跃, 等. 关于网络计划模型中的时间不确定性的讨论 [J]. 系统工程与电子技术, 1997, 19(8): 40-45.
- [5] Bonny J B, Frein J P. Handbook of Construction Management and Organization [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1973.
- [6] Newbold R C. Project Management in the Fast Lane-applying the Theory of Constraints [M]. Boca Raton: St. Lucie Press, 1998.
- [7] Alan R Bowman. Developing activity duration specification limits for elective project control [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174: 1191-1204.
- [8] Cyril Briand, Jean-Charles Billaut. Cooperative project scheduling with controllable processing times: A game theory framework [C]// IEEE 16th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, 2011.
- [9] Van Slyke R M. Monte Carlo methods and the PERT problem [J]. Operation Research, 1963, 11: 839-860.
- [10] 褚春超. 工程项目进度管理方法与应用研究 [D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [11] 王卓甫. 工程项目管理风险及其应对 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

Research on simulation evaluation method based on duration controllability of network schedule

Pan Feifei, Wang Renchao, Cao Yonglei

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] As the fact that schedulers usually utilizing resources re-allocation and improving resource-utilization efficiency in coping with project delay caused by risk events, a stochastic simulation evaluation method based on duration controllability of network schedule was put forward. This method took the resource allocation and utilization of margin of the activity as controllable indicators, and considered different constructability of measures reaction to different occur time of risk events. Through the stochastic simulation of each risk events occur time, delay of activity duration and effect of the risk reaction, the distribution of project duration was simulated which was utilized to evaluate the rationality of the network schedule. A case indicates that, compared with traditional simulation evaluation methods such as duration-based and factors-based Monte-Carlo simulation, simulation results of the duration controllability-based is more reasonable.

[Key words] network schedule; stochastic simulation; risk reaction; duration controllability; evaluation