

# 基于 Monte Carlo 仿真的重大型号工程进度风险研究

吴伟<sup>1</sup>, 惠晓滨<sup>1</sup>, 沈建明<sup>2</sup>, 张凤鸣<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军装备部 北京 100843)

**摘要:**对重大型号工程进度风险的识别和估计方法进行了讨论,研究了总工期风险的蒙特卡罗仿真方法,并结合实例对某型号项目研制进度风险进行了定量分析。

**关键词:**进度风险;风险分析;蒙特卡罗仿真

**中图分类号:**TB114.2   **文献标识码:**A   **文章编号:**1009-3516(2003)05-0007-03

重大型号工程项目,如新型飞机、新型导弹的研制等,是一个庞大而复杂的系统工程,从项目进度的角度看,它有以下特点:投资规模大,项目实施周期长;技术问题多,技术难度大,因技术攻关拖延进度的现象比较普遍。作为型号工程,项目完工时间的执行往往非常严格。这些特点决定了重大型号工程项目进度风险管理的复杂性,要求用更先进、更有效的方法对进度风险进行分析<sup>[1]</sup>。

蒙特卡罗(Monte Carlo)方法是一种利用重复的统计实验来求解具有随机特性问题的方法<sup>[2]</sup>,也称为随机模拟方法或随机抽样技术。由于进度风险的存在,型号项目各工序的完成时间是随机的,项目总的完成时间也是随机的,因此,可以用蒙特卡罗方法对型号项目进度网络图进行仿真,从而可以得到更为精确的项目进度风险分析。

## 1 进度风险研究的蒙特卡罗仿真方法

### 1.1 进度风险的描述

进度风险(Progress Risk)主要指项目实施中各工序的工期风险和总工期风险。实施进度风险管理的目的是要辨识影响各工序工期的风险因素,确定项目网络计划进度的统计分布,向管理者提供关于进度完成的风险值以提醒其采取措施,为决策和决策审查提供必要的信息。进度风险的大小具体取决于技术风险、工程计划安排的合理性、资源的充分性、人员的经验和企业的管理状况等。

型号工程的进度风险是由于在武器系统型号研制过程中存在着难以控制和预料的因素,使得项目的工期不可避免地带有一定的不确定性,因而存在着一定的风险。

工期的风险值可用  $R_{T_s} = 1 - F_{T_s}$  估计<sup>[3]</sup>,式中:  $R_{T_s}$  为按指定工期  $T_s$  完成工程的风险值;  $F_{T_s}$  为工期  $T_s$  的近似累积概率。此定义与一般风险定义有差别,它仅考虑风险发生概率,未考虑风险危害程度,有利于项目工期网络计划的仿真分析。

### 1.2 工序进度风险的识别和估计

当型号工程的网络计划分解的足够详细时,各工序工期风险的估计将变得容易,在型号项目的进度管理中,主要有如下两种方法。

#### 1.2.1 概率估计方法

长期型号发展的实践积累了大量有关进度的数据和资料,通过对这些资料 and 数据的统计分析,可以得到某类工序工期时间的概率分布,进而可以估计目标项目的工期时间。

收稿日期:2002-11-07

基金项目:空军科研基金资助项目

作者简介:吴伟(1971-),男,河北承德人,讲师,硕士,主要从事智能信息处理与装备管理等研究;

张凤鸣(1963-),男,重庆梁平人,教授,博士生导师,主要从事智能信息处理与决策、装备管理等研究。

一种认识是型号研制各工序时间都服从  $\beta$  分布<sup>[4]</sup>,这也是使用计划评审技术(PERT)进行进度分析时所作的假定,可根据工序的最乐观时间  $a$ 、最保守时间  $b$  和最大可能时间  $m$  来得到各工序的进度风险,计算过程如下。① 计算工序时间  $t_{E_i}$  和工序时间方差  $\sigma_i^2$ :  $t_{E_i} = u = (a + 4m + b)/6$ ;  $\sigma_i^2 = (b - a)^2/36$ 。② 计算项目按期完成的概率  $P_{T_s}$ : 设  $T_s$  为某一规定的完工时间,  $T_E = \sum_{i=1}^n t_{E_i}$  为进度网络图中关键路线上的工序时间之和, 则根据中心极限定理知任务按期完成的概率  $P_{T_s} = P(-\infty < x < T_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{T_s - T_E}{\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$ 。③ 计算项目不能按期完成的风险值  $R_{T_s}$ : 根据  $R_{T_s} = 1 - F_{T_s}$ , 可得任务不能按期完成的风险值  $R_{T_s} = 1 - P_{T_s}$ 。

另一种认识是认为对于工期要求紧迫的重大武器系统研制项目来说,可以假定工程项目提前完工的概率是 0,这时,工序工期的推迟服从瑞利(Rayleigh)分布<sup>[5]</sup>。

由于型号研制工作工序繁多,每种工序都有它自身的特点,工序的工期也都有相应的概率分布形式,这需要进行更多的数据统计分析,从而有更为精确的工期风险描述<sup>[6]</sup>。

### 1.2.2 多层次风险因子专家评判法

概率估计方法对于已有数据积累的类似工序可借鉴的新工序、影响因素可频率化、概率分布事先已知等条件下的工序时间确定不失为一种有效方法。然而对于大型综合性开发项目、受人及环境的非确定因素及不可知因素影响较大的项目,如研究性项目、一些新开发的探索性工程项目以及影响因素不可频率化计算等的计划项目,上述使用预知概率分布来估计时间参数的方法就不是很适用,为此,可以使用工序进度风险多层次专家评判法。

工序进度风险多层次专家评判法是一种系统工程的综合集成方法,它的具体流程是按照风险管理的一般程序,首先对影响工序工期按时完成的风险因子进行识别,得到一个多层次的风险因子体系,并用层次分析法(AHP)分析处于同一层因子之间的相对权重,然后,可以选择相当数量的专家,从型号的项目总师到一般技术人员,从生产车间的负责人到一般工人,从研制的甲方到研制乙方,让这些专家从不同的侧面来评判各风险因子对进度的影响并给出量化值,最后,对应每个专家的评估,使用 AHP 方法可以得到一个工序的工期数据,所有的工期数据就是一个统计样本,可以利用这个样本来估计该工序的工期分布。

工序进度风险多层次专家评判法具有操作性强、客观准确的特点。它以不同层次各风险因子对进度的影响量作为专家评判的单元,用 AHP 来综合权衡各位专家的最终评判结果,能尽量避免评判过程中的不客观因素,减少盲目性。同时,该方法目标明确,过程精确,在型号工程项目管理的实践中有较多的应用。

### 1.3 总工期风险的蒙特卡罗仿真

蒙特卡罗仿真或抽样是从一个概率分布中使用随机数或伪随机数抽样的传统技术。这种技术是完全随机的,即任一个给定的样本可能落入到输入分布范围内的任何地方。当然,更多的样本是提取自具有较高发生概率的分布区域内。进度风险的仿真是风险管理中的风险分析环节,它是通过足够多的仿真迭代来进行的,每次迭代都根据进度网络图中各工序的工期分布对它们进行一次取样,寻找该次迭代的关键路线,并计算总进度工期。将多次迭代得到的总工期数据按区间统计频数,便可得到总工期近似的分布密度函数,有了总工期的分布密度函数就可以用  $R_{T_s} = 1 - F_{T_s}$  计算总工期的风险值。

网络图中各工序的工期分布可以用 1.2 中的两种方法,对于工期数据分布比较理想的可以用概率估计的方法;对于缺少历史数据或者没有理想分布形式的工序可以用多层次风险因子专家评判法进行。总工期风险的蒙特卡罗仿真的模型见图 1。

## 2 重大型号工程进度风险研究实例

图 2 是某型号研制项目进度管理的网络图。

该系统型号研制的历史较长,各工序工期的分布比较理想,可以认为服从  $\beta$  分布。表 1 是各工序以月为单位的工期数据,其中  $a$  是最乐观完成时间,  $m$  是最大可能完成时间,  $b$  是最保守完成时间。

使用伪随机数对这些工期数据进行蒙特卡罗仿真,经过数千次的仿真后,就得到了项目总工期频率分布曲线图,见图 3,依据此图可以知道整个型号项目在某限定时间内完成的概率值和风险值,并可知整个工程项目在当前资源约束条件下的最可能完成时间是 43 个月。

表1 某型号研制项目工序进度数据

工序	a	m	b
①-②	5	6	7.5
①-⑦	19.5	24	28
②-③	3.5	4	5
②-④	9	12	14.5
③-④	4.5	6	7
④-⑤	3	4	5.5
⑤-⑥	5.5	6	6.5
⑥-⑨	10.5	12	15
⑦-⑧	5	6	7
⑦-⑨	8.5	10	13
⑧-⑨	6.5	8	10
⑨-⑩	3	4	5.5

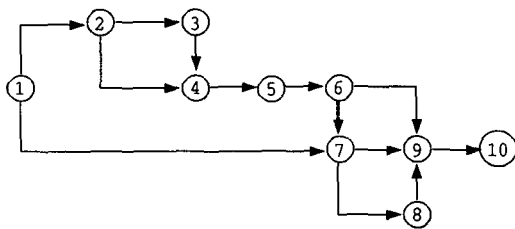


图2 某型号研制项目进度网络图

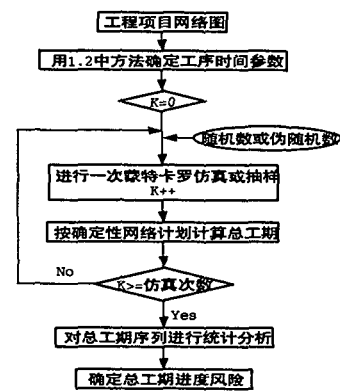


图1 进度风险蒙特卡罗仿真模型

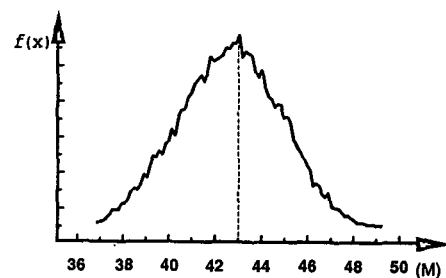


图3 总工期频率分布曲线

### 3 结束语

以上方法在重大型号项目进度管理实践中取得了较好效果,它可以更客观地分析项目的进度风险,为型号发展决策提供更多的支持。该方法存在的主要问题是蒙特卡罗抽样在迭代次数较少时有堆聚现象,如果由于实际条件限制不能进行足够次迭代,建议使用拉丁·海波库比抽样技术。

#### 参考文献:

[1] 刘仁水, 聂磊. 型号研制的网络计划编制[J]. 航空标准化与质量, 2001, (3): 9-12.  
 [2] 杨耀臣. 蒙特卡罗方法与人口仿真学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.  
 [3] 徐哲, 冯允成. 网络计划进度的风险分析[J]. 系统工程理论与实践, 1998, (4): 24-28.  
 [4] Soroush H M. The most critical path in a PERT network: A heuristic approach[J]. European Journal of Operational Research, 1994, 78: 93-105.  
 [5] 张怀强, 李积源, 黎放. 武器系统研制进度风险分析方法研究[J]. 海军工程大学学报, 2000, 19(2): 93-96.  
 [6] 白思俊. 网络计划的计算机辅助分析[M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1991.

(编辑: 姚树峰)

## Progress Risk Research of Major Model Projects Based on Monte Carlo Simulation

WU Wei<sup>1</sup>, HUI Xiao-bin<sup>1</sup>, SHEN Jian-ming<sup>2</sup>, ZHANG Feng-ming<sup>1</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Equipment Department of Air Force, Beijing 100843, China)

**Abstract:** The progress risk research in identifying and estimating of major model projects is described first, then a method of progress risk analysis based on Monte Carlo simulation is provided and a case study is presented in detail to illustrate the total process of the method.

**Key words:** progress risk; risk analysis; Monte Carlo simulation