

基于蒙特卡洛方法工期评估

姚猛^{1*}, 王龙², 周雅哲¹, 史晓丹³

¹中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊

²中国石油长庆油田规划计划部, 陕西 西安

³中油管道物资装备有限公司, 河北 廊坊

收稿日期: 2021年8月10日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年12月6日

摘要

全球新冠疫情的发展给全球原材料供应体系、工业物资生产以及港口贸易带来诸多障碍, 表现在各国为应对新冠疫情而采取的货币政策造成原材料价格剧烈波动, 以及关键长周期供货物资生产运输不确定、港口贸易滞后常态化等因素给海外石油工程EPC项目全寿命周期的执行带来了风险和挑战。本文将采用三角分布方法对项目关键路径的5个模拟任务进行工期模拟, 再结合蒙特卡洛方法计算出项目总工期的最优工期, 为后疫情情况下海外工程建设项目优化工期、资源配置提供依据, 降低项目执行风险。

关键词

EPC项目, 三角分布, 蒙特卡洛

Duration Evaluation Based on Monte Carlo Method

Meng Yao^{1*}, Long Wang², Yazhe Zhou¹, Xiaodan Shi³

¹China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei

²Planning Department of Changqing Oilfield, PetroChina, Xi'an Shaanxi

³China Oil Pipeline Materials and Equipment Co. LTD, Langfang Hebei

Received: Aug. 10th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Dec. 6th, 2021

Abstract

The development of the global COVID-19 pandemic has brought many obstacles to the global raw material supply system, industrial material production and port trade, which are reflected in the

*通讯作者。

dramatic fluctuations in raw material prices caused by the monetary policies adopted by countries in response to COVID-19, and uncertainties in the production and transportation of key long-cycle supplies, and normalized lag in port trade, which has brought risks and challenges to the implementation of the full life cycle of overseas petroleum engineering EPC projects. In this paper, five simulation tasks of the project critical path are simulated by using triangular distribution method, and the optimal project duration is calculated by combining with Monte Carlo method. It provides a basis for the optimization of time limit and resource allocation of overseas construction projects in the post-epidemic situation, and reduces the project execution risk.

Keywords

EPC Project, Triangular Distribution, Monte Carlo

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

项目工期是一个项目能否取得成功的关键参数,直接影响着项目最终经济效益。当前在新冠后疫情下,由于项目采办物资生产产能不足、港口运输停滞、以及海外人员动迁困难等因素,对传统方式预估项目工期造成干扰[1]-[10]。

传统工期预估采用 CPM、PERT、过往经验和专家估算等方法,难以贴合当前后疫情状态不可预见和极值工期出现的情况。借鉴于工期预测中的三角分布方法对后疫情情况下单任务三种极端情况下工期预测具备很强的适应性,为此,本文将通过运用蒙特卡洛进行模拟项目关键路径中 5 条任务工期,推算出项目工期最大概率值,以期为海外 EPC 项目执行工期风险提前预判,提高项目资源配置合理性。

2. 三角分布

三角分布又名辛普森分布,起源于美国北极星导弹项目,以应对该项目复杂庞大的任务链条和精确控制项目成本预算要求,其中在概率统计学里面,首先确定最小值 a , 最大值 b , 最可能值 c , 其概率分布如下式(1)。

$$f(x|a,b,c) = \begin{cases} \frac{(2(x-a))}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c, \\ \frac{(2(b-x))}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c \leq x \leq b, \end{cases} \quad (1)$$

3. 项目任务模型建立

为模拟项目总工期分布情况的将采用关键路径分析法(CPM),其中关键路径由 5 个 FS + 0days 关系构成(见图 1), 5 条任务各自极值工期的详细情况见表 1。

4. 蒙特卡洛模型建立

由于任务工期的不确定性因素增多,蒙特卡洛模拟模型可通过随机数的计算方法,大量随机采样,通过概率统计,能将满足条件的随机数进行统计,其实质是建立针对问题的数学模型进行足够数量的随

机数模拟试验, 采用概率论求得该数学模型的近似解。蒙特卡洛方法结合了统计概率学、运筹学、计算机科学等数学方法, 在后疫情情况下, 蒙特卡洛能借助计算机强大的运算能力模拟任务工期的三角分布情况, 在依据运筹学理论进行任务关键路线分析以及优选关键任务路径, 可通过计算机模拟统计出最优项目总工期, 降低不确定性, 在得出高精度度工期后, 更有利于在项目建设工程前期资源配置规划, 在实施阶段中合理衔接工序, 优化施工方案, 协调人、机、材运转, 提高项目成功率, 便于项目进度与成本控制。

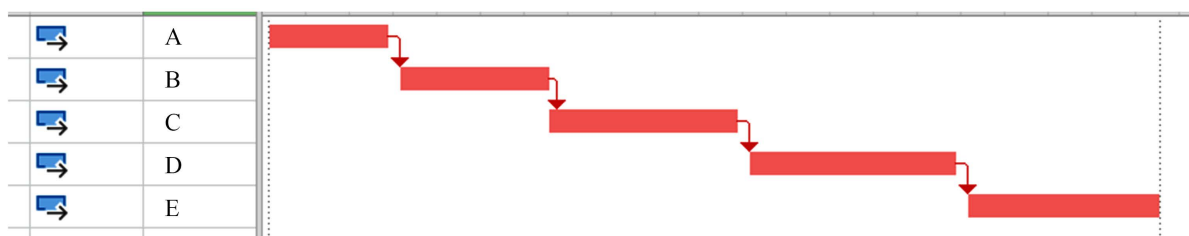


Figure 1. Critical path task schematic

图 1. 关键路径任务示意图

Table 1. Task duration value

表 1. 任务工期取值

项目任务名称	最小任务工期(D)	最有可能任务工期(D)	最大任务工期(D)
A	15	18	20
B	18	19	21
C	22	25	28
D	25	27	28
E	23	25	29

针对关键路径中存在的 5 条任务, 结合三角分布的最大值、最小值和最可能值, 建立 Monte Carlomo 模型, 使用 Excel 中 Rand 函数产生 0 到 1 之间的随机数, 通过该概率分布函数反算出任务工期, 最后算出项目总工期的思路。

项目总工期估算蒙特卡洛模型具体计算步骤如下:

- 1) 利用三角分布将各任务工期进行三角概率分布。
- 2) 生产随机数, 使用 Excel 中 Rand 函数生成 0 到 1 之间的随机数, 并且生产 1000 次随机数, 为后面工期模拟进行调用。
- 3) 模拟任务工期, 利用第 2 步产生的随机数, 根据微积分规则反向推导出对应随机数所仿真出的工期, 其计算公式如下:

$$\begin{cases} B_i = \frac{c_i - a_i}{b_i - a_i} \\ X_i = a_i + \sqrt{R_i (c_i - a_i)(b_i - a_i)} & R_i < B_i \\ X_i = b_i - \sqrt{(1 - R_i)(b_i - c_i)(b_i - a_i)} & R_i \geq B_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: B_i 为三角分布中的随机临界值; R_i 为 excel 中 Rand 函数所产生出在 0 至 1 之间随机值; X_i 为单任

务反推工期； a_i 、 b_i 、 c_i 为三角分布单个任务各自对应工期参数。

4) 确定总工期概率分布，在经过 1000 次随机值模拟后，整合统计出项目总工期概率分布。

5) 分析概率分布参数，分析第 4 步所产生的总工期情况。

5. 项目总工期分布情况

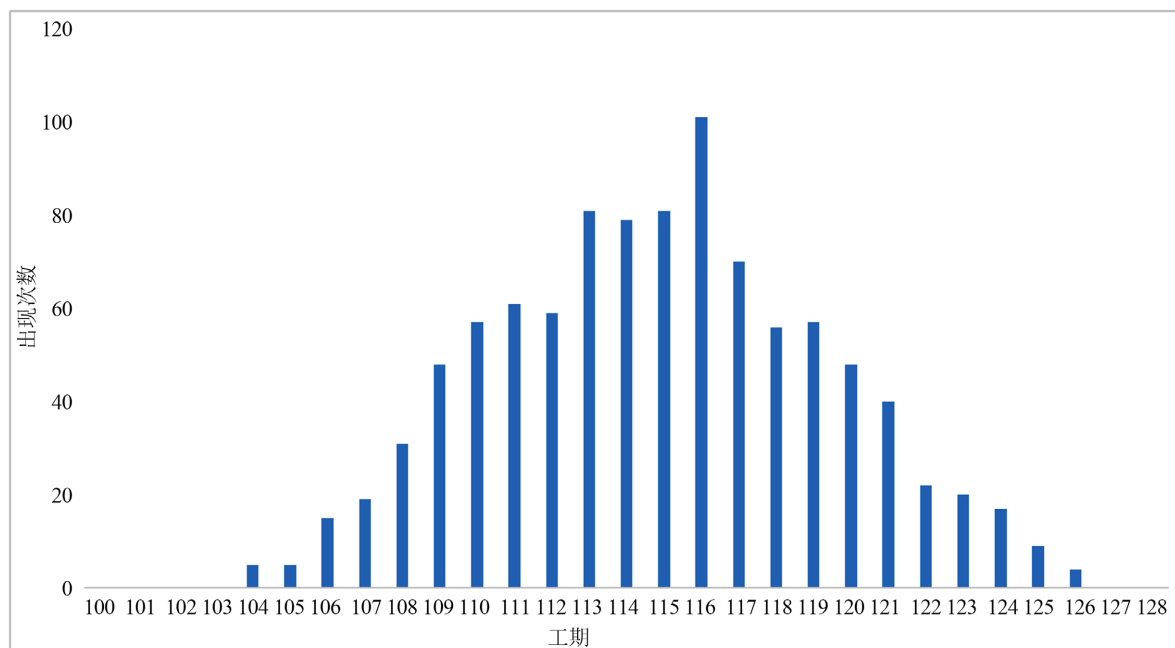


Figure 2. Total duration simulation probability distribution

图 2. 总工期模拟概率分布图

通过随机采样 1000 次蒙特卡洛模型拟合，在汇总 5 条任务的总工期，最终得出项目最有可能总工期为 116 天，见图 2。

本文采用的为三角分布中给定出三极值的最普通情况，针对特殊情况可进行相应和适当的改进，例如可采用改进型三角分布，或者三角分布与正态分布相结合的方式预估模拟，取决于项目实际情况下任务的形式，这样更能满足现实状况。并且在项目计划编制中，由于不同的单任务工期的概率波动可能导致关键路径的变化，为此需要将整个项目的任务逻辑关键确定后，在仿真模拟过程中，采用运筹学方法进行关键路径分析，以确保项目总工期统计分析的真实性。

6. 结束语

精确的工期是资源配置(人、材、机)的前提，既能有效控制项目执行成本，也可对项目进度进行高效监管，针对当前后疫情情况下，工业物资生产、港口贸易、人员动迁等不确定因素的增加，三角分布能很好地考虑到疫情因素下极端值，并通过设定随机数与对应不确定变量进行交汇，即在产生足够数量特定随机数情况下，根据反向积分推导出随机数与工期一一对应关系，在分析工期在该随机数样本中的概率分布情况下，能得出最大概率下项目的总工期，从而提高项目工期评估的准确性。

通过蒙特卡洛方法在足够多的样本情况下仿真模拟，在结合概率统计学和运筹学，分析模拟所得样本的结果，能对项目总工期进行测算，能很好地考虑到后疫情情况下，可能发生的各种突发情况，进而帮助总承包商进行资金和资源规划，在宏观层面上给项目总工期以理论支持，让项目工期更加贴合实际

项目发展规律, 确保项目正常高效推进。因此, 在后疫情情况下, 可将长周期关键物资、人员和设备动迁、现场特殊状况做好适当富余量, 在实际项目执行中, 蒙特卡洛三角分布工期预测方式能减低不确定性干扰, 提前预判各种突发状况概率, 也可作为项目执行的风险控制手段, 在今后海外 EPC 工程建设中, 伴随着项目复杂程度的提高、工期的增长以及各种疫情和国际形势与地区局势的不确定性情况的发展, 蒙特卡洛三角分布工期预测方法将能越来越突出发挥其独特的仿真模拟优势, 将为海外 EPC 工程项目工期计划提供必要的风险分析以及提高计划准确度。

参考文献

- [1] 薛海林. 基于改进蒙特卡洛法的工期风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [2] 陈瑞. 基于 PERT 和蒙特卡洛法的建设工程完工概率分析[J]. 水电能源科学, 2019, 37(5): 115-117.
- [3] 王卫东, 雷晓鸣, 杜香刚, 王继军, 贺小刚. 基于蒙特卡洛和 BIM 的 CRTS III 型板式无轨道铺设工期仿真[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(7): 1655-1661.
- [4] 郭琦, 何金静, 胡苗. 基于蒙特卡洛模拟的工程项目网络计划进度风险分析[J]. 项目管理技术, 2013, 11(11): 66-70.
- [5] 胡兰, 李涛. 基于围岩级别变更的隧道工期与造价风险研究[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(6): 39-43+65.
- [6] 刘永强, 邱云昌, 姚悦铃. 基于蒙特卡罗模拟仿真的工期估算[J]. 工程管理学报, 2014, 28(5): 88-92.
- [7] 王凯军. 铁路工程造价与工期模拟仿真研究与实践[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [8] 赵振宇, 游维扬, 吕乾雷. 基于遗传算法和蒙特卡洛模拟的并行工程设计工序优化[J]. 土木工程学报, 2009, 42(2): 139-144.
- [9] 谭健. 房地产合作开发项目施工阶段工期风险研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [10] 徐霄泉. 建设项目施工阶段工期风险分析[D]: [硕士学位论文]. 深圳: 深圳大学, 2016.