

文章编号: 1672-9315(2011)05-0593-05

矿业工程项目施工工期可靠性预测研究^{*}

史玉芳¹, 解燕平², 陆路³

(1. 西安科技大学 管理学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710061; 3. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 工期是矿业工程项目管理的三大目标之一, 本文引入施工工期可靠性这一指标衡量矿业工程项目工期管理水平。基于蒙特卡洛模拟法与计划评审技术相结合提出了工程项目施工工期可靠性的预测模型。与传统计划评审技术方法相比, 用蒙特卡洛模拟法求解的优点在于通过模拟构造多个方案, 弥补了传统计划评审技术的假设条件造成的误差, 提高了计算精度, 更加符合实际工程的情况; 最后以一工程实例进行了应用。

关键词: 矿业工程项目; 施工工期可靠性; 蒙特卡洛模拟; 计划评审技术

中图分类号: F 407.9

文献标志码: A

0 引 言

矿业基本建设是保证我国矿业高速发展、迅速地提高各种有用矿物生产能力的重要条件。由于矿山工程投资规模大, 受地质因素复杂多变的影响, 建设周期长, 导致矿业工程项目的工期管理难度增大。工期延误问题是当今世界建筑业中普遍存在的问题, 对于国内矿业工程建设而言, 这个问题尤为突出。它是导致矿业工程项目进度、质量和投资目标失控及矿业工程项目建设各方发生纠纷的重要原因, 对建设项目的经济和社会效益有着不可忽视的影响。文中借鉴系统可靠性理论, 引入施工工期可靠性这一评价指标, 建立工期可靠性预测模型, 通过有效地预警克服矿业工程项目工期控制的滞后性和盲目性, 保证工程项目能按期完成。

可靠性工程起源于军事领域, 随后在航空、航天、电子、机械等领域广泛应用, 而在建筑领域有关可靠性的研究仅局限于建筑结构的可靠性, 施工管理领域仍处于探索阶段。截至目前为止, 国内尚未见有准确地对矿业工程项目施工可靠性的定义, 在文内将对这一概念内涵进行界定。虽然施工可靠性一直未作为一个专门的概念提出, 但与施工生产可靠性相关的一些工作, 随着施工生产技术和管理工作而早为施工管理人员所关注, 主要表现为工艺技术与施工方法的可靠性评判分析, 是一种狭义的可靠性研究。分析国内外学者的研究, 主要表现为在工程施工技术与组织管理中运用可靠性原理处理施工进度控制、质量控制、成本控制和安全管理等一些技术与管理的的问题上。20 世纪 80 年代初, 前苏联学者 C·A·乌沙茨基在其编著的《城市建设组织计划与管理》中综述了运用甘特图对流水施工的研究成果: 在施工流水作业模拟方法中利用统计分析方法, 按照正态分布对流水作业的可靠度进行了计算分析^[1]。网络计划技术中的 PERT、GERT、QGERT、VERT 这些方法, 都运用了概率方法进行可靠性分析^[2-3]。

在国内, 目前针对此方面的研究工作还较为少见。邓铁军提出了结构施工工期可靠性的定义, 指出其研究重点是探索施工工期如何保证结构按照设计所确定的结构使用期的可靠性^[4]。陆宁等分析了国内外对施工项目质量、成本、进度三大目标管理的研究成果, 提出了以施工工序为基本组件对施工项目三大目标的可靠性进行衡量和分析^[5]。

以上成果为施工可靠性的进一步研究提供了理论基础。在矿业工程项目施工过程中涉及到许多的

^{*} 收稿日期: 2011-07-12

基金项目: 陕西省教育厅人文社科专项科研资助项目(11JK0170)

© 2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通讯作者: 史玉芳(1980-), 女, 山东济南人, 博士, 讲师, 主要从事工程经济与项目管理教学科研工作。

不确定问题 矿业工程项目工期目标的成败或实现程度属于随机变量 ,与处理确定性问题相反的概率方法正在成为被广泛应用的方法。蒙特卡洛模拟法是研究可靠性问题的重要工具 ,基于蒙特卡洛模拟法与传统的 PERT 法相结合 ,针对施工可靠性中的施工工期可靠性进行研究。

1 矿业工程项目施工工期可靠性的预测

1.1 概念界定

1.1.1 矿业工程项目施工可靠性

根据国家标准规定 ,可靠性是指产品在规定的时期内 ,在规定条件下 ,在规定的时间内完成规定功能的能力^[6]。结合可靠性的概念 ,文中提出矿业工程项目施工可靠性的含义 ,是指矿业工程项目施工生产过程中 ,在规定的时间内 ,在限定的费用条件下 ,安全有效地实现规定的工程质量的的能力。该指标在此具有特定的内涵 ,即: 达到工期要求的可信性 ,实现将实际成本控制在目标成本内的经济性 ,达到质量标准所规定的实用性以及确保施工过程的安全性。因此 ,矿业工程项目的工期可信性、成本经济性、质量可达性和施工安全性的总和 ,即为矿业工程项目施工网络系统的可靠性 ,后面统一简称为施工可靠性。施工可靠性具体表现为工期可靠性、成本可靠性、质量可靠性和安全可靠性 4 个方面^[7]。

1.1.2 矿业工程项目施工工期可靠性

由此可见 ,矿业工程项目施工工期可靠性是施工可靠性的组成之一。矿业工程项目施工工期可靠性是指矿业工程项目在规定条件下 ,按规定时间完成施工任务的概率 ,是评价工程项目能否按计划进度完工的重要指标。

矿业工程项目施工工期可靠性取决于施工过程中影响进度的各种因素。因此 ,针对各施工过程 ,深入分析各种可能影响工程进度的因素 ,在此基础上预测其工期可靠性 ,为制定进度计划和进度控制措施提供依据。它一方面可以促进对有利因素的充分利用和对不利因素的妥善预防 ,使进度目标制订得更科学合理 ,更符合实际; 另一方面也便于事先制订预防措施 ,事中采取控制方法 ,事后进行妥善补救 ,缩小实际进度与计划进度的偏差 ,实现对进度的主动控制和动态控制。

1.2 矿业工程项目施工工期可靠性的预测思路

在实际施工过程中 ,各工作的实际完成时间是不确定性的 ,是一个随机变量 ,因此可以应用数理统计原理 ,分析随机变量的概率分布类型 ,并求得其在某种要求工期下的完工概率值。施工工期可靠性的测定可以通过以下 2 种途径:

一是对已完工程中各工作的历史数据进行样本统计与分析 ,据此确定其概率分布 ,进而测定其时间上的可靠性; 二是当历史数据不可得时 ,可通过蒙特卡洛模拟法预测工期可靠性。在实际中 ,矿业工程项目资料收集起来有一定难度 ,因此本文通过第二种途径对施工工期可靠性进行预测。

1.3 基于蒙特卡洛模拟与 PERT 相结合的方法预测施工工期可靠性

1.3.1 传统 PERT 方法

在传统 PERT 网络计划技术中 ,任意活动 i 用期望值 μ_i 和方差 σ_i^2 来表示其随机不确定性 ,活动持续时间被假设为符合某种概率分布的随机变量 ,通常假定其概率分布符合 β 分布。在 PERT 的实际计算中 ,为了简化计算 ,常用 3 点估计法估计各活动的持续时间 ,用 a 、 b 、 m 分别表示活动 i 的最乐观时间 ,最悲观时间和最可能时间^[8]。活动持续时间服从 β 分布时 ,其期望、方差可近似用下式计算

$$\mu_i = \frac{a + 4m + b}{6} , \tag{1}$$

$$\sigma_i^2 = \frac{(b - a)^2}{36} . \tag{2}$$

这样 ,以各活动持续时间的期望值 μ_i 当作活动的确定持续时间 ,将不确定型网络转化为确定型网络 ,即可按照 CPM 法计算时间参数和关键线路。总工期的期望值 μ 为关键线路上各活动持续时间期望值的和

$$\mu = \sum \mu_i , \tag{3}$$

总工期的方差 σ^2 为关键线路上各活动持续时间方差之和

$$\sigma^2 = \sum_{i \in CP} \sigma_i^2 ,$$

(4)

由中心极限定理可知 ,总工期服从 $N(\mu , \sigma^2)$ 的正态分布 ,则在要求工期 T_r 下的完工概率为

$$P(t \leq T_r) = \phi\left(\frac{T_r - \mu}{\sigma}\right) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt.$$

(5)

因此 ,传统 PERT 方法的操作步骤是

- 1) 请专家按 3 时估计法 给出所有活动的最乐观时间 a ,最悲观时间 b 和最可能时间 m ;
- 2) 将 a b m 3 个值代入式 (1) (2) 中计算每个活动的期望值 μ_i 和方差 σ_i^2 ;
- 3) 以各活动持续时间期望值为基础 ,按照 CPM 方法计算得到关键线路;
- 4) 运用式 (3) (4) (5) ,按要求工期 T_r 计算完工概率。

1.3.2 蒙特卡洛和 PERT 相结合预测施工工期可靠性

蒙特卡洛(Monte Carlo ,简称 MC) 模拟方法亦称为随机模拟方法 ,是一种利用计算机进行随机抽样或模拟实验的方法。蒙特卡洛模拟的实质是利用服从某种分布的随机数来模拟现实系统中可能出现的随机现象 ,通过对每一随机自变量进行抽样 ,代入数据模型中 ,确定函数值 ,在进行了大量次数的模拟试验后 ,得到函数的一组抽样数据 ,根据概率论中心极限定理和大数定理 ,由此便可以决定函数的概率分布特征 ,包括函数的分布曲线 ,以及函数的数学期望、方差、均方差等重要的分布特征^[9]。随着计算机的发展 ,蒙特卡洛模拟已成为一种实用有效的系统分析方法。

将蒙特卡洛模拟法与 PERT 方法结合使用 ,是在实际工程项目风险分析中被广泛应用的方法 ,可以在一定程度上弥补传统 PERT 的假设条件造成的误差。针对矿业工程项目各施工活动 ,通过产生随机数来抽取符合各活动持续时间概率分布的样本值 ,并以抽取的样本值为基础进行工期多次模拟计算。将模拟结果进行统计 ,求出该工程工期的期望值和方差。其模拟次数越多 ,得到的结果误差越小。模拟次数取决于置信水平和容许的误差^[10]。

基于蒙特卡洛模拟法预测工期可靠性的步骤如下:

- 1) 确定工程施工中各活动持续时间的概率分布 ,此处假定各活动服从 β 分布。
- 2) 建立矿业工程项目工期与各活动持续时间之间的数学模型为 $T = \sum_{i \in CP} t_i$,其中因变量 T 表示工程项目的工期 ,自变量 t_i 表示各活动持续时间在其概率分布下抽取的样本值。
- 3) 对每个活动在其概率分布下进行抽样并带入 $T = \sum_{i \in CP} t_i$ 根据 CPM 法计算出工期 T 。
- 4) 进行多次(设为 M 次) 抽样和计算 ,得到工期的一组时间序列 $(T_1 , T_2 , \cdots , T_M)$ 。
- 5) 对该序列进行数理统计 ,分析工期 T 的概率分布 ,按如下公式近似计算该工期的均值和方差

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_i ,$$

(6)

$$\sigma^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (T_i - \mu)^2 .$$

(7)

当模拟次数 M 足够达大时 ,由中心极限定理可知工期近似服从正态分布。

- 6) 给定要求工期或计划工期 T_r ,在求得的工期概率分布下 ,运用式 (5) 计算完工概率 ,完工概率值即为该工程项目的工期可靠性。

通常情况下 ,完工概率是用百分比表示的数值 ,而可靠性的取值是在 $[0 , 1]$ 之间的数值。为了与可靠性取值相一致 ,将完工概率转换成 $0 - 1$ 之间的数值作为工期可靠性的取值。

与传统 PERT 方法相比 ,用蒙特卡洛模拟法求解 PERT 的优点在于通过模拟构造多个方案 ,提高了计算精度 ,更加符合实际工程的情况。其缺点主要表现在计算量大 ,耗用机时较多 ,但随着计算机硬件技术的发展 ,此缺点已经逐步克服。

2 工程应用

2.1 工程背景

为计算简便,此处以某大型煤矿项目中的一个子工程示例其施工可靠性的计算过程。该子工程为 3 层框架结构办公楼,建筑面积 2 240 m²,要求工期为 195 d。以分部工程为工作单元对该网络计划进行划分,将该工程施工过程划分为 13 个工作单元(分部分项工程),其施工可靠性关系框图如图 1 所示。

图 1 中各工作单元名称、工程量、持续时间 3 时估计数据见表 1 所示。

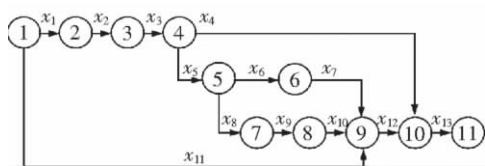


图 1 可靠性关系框图
Fig. 1 Reliability relationship

表 1 原始数据一览表
Tab. 1 Original data

符号	工作单元名称	工程量		持续时间/d		
		单位	数量	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
<i>x</i> ₁	土方工程	m ³	2 710	7	12	15
<i>x</i> ₂	基础工程	m ³	176	14	18	22
<i>x</i> ₃	主体工程	m ³	333	30	36	40
<i>x</i> ₄	屋面工程	m ²	746	12	16	19
<i>x</i> ₅	砌体工程	m ³	460	15	21	25
<i>x</i> ₆	外墙装饰	m ²	1 981	15	22	25
<i>x</i> ₇	散水台阶	m ²	86	7	10	14
<i>x</i> ₈	内墙抹灰	m ²	3 040	21	24	28
<i>x</i> ₉	楼地面	m ²	1 826	28	35	38
<i>x</i> ₁₀	门窗安装	m ²	648	9	16	20
<i>x</i> ₁₁	架子搭拆	m ²	2 499	127	140	173
<i>x</i> ₁₂	油漆涂料	m ²	2 116	13	16	20
<i>x</i> ₁₃	竣工验收	项	1	4	4	6

2.2 预测施工工期可靠性

以表 1 中工作单元持续时间的 3 时估计为基础,利用 Matlab 编程进行仿真计算 10 000 次,得到该工程完工总工期的概率分布直方图,如图 2 所示。

经过统计计算,总工期概率密度函数服从均值为 183.79,方差为 130.82(=11.44²)的正态分布。

因此,总工期服从正态分布 $N(183.79, 11.44^2)$ 。

按规定的要求工期 195 d,以总工期的概率分布为基础,令 $z = \frac{t - \mu}{\sigma}$,变量标准化以便服从标准正态分布 $z = \frac{195 - 183.79}{11.44} = 0.98$ 。

查正态分布数值表得概率值 $\phi(0.98) = 0.836 5$ 。

因此,在要求工期 195 d 内完工的概率,也即工期可靠性为 0.836 5。

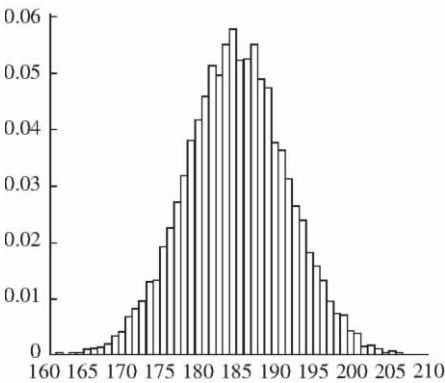


图 2 MC 仿真工期统计直方图
Fig. 2 Statistics histogram of time with Monte Carlo simulation

3 结 语

构建了矿业工程项目施工可靠性这一综合指标引入工程项目管理中,针对其中的施工工期可靠性进行了研究。基于蒙特卡洛模拟法提出了矿业工程项目施工工期可靠性的预测方法,将蒙特卡洛模拟法与 PERT 法相结合,弥补了传统 PERT 的假设条件造成的误差。与传统 PERT 方法相比,用蒙特卡洛模拟法求解 PERT 的优点在于通过模拟构造多个方案,提高了计算精度,更加符合实际工程的情况。其缺点主要表现在计算量大,耗用时较多,但随着计算机硬件技术的发展,此缺点已经逐步克服。

参考文献 References

[1] [苏]C. A. 乌沙茨基, 刘统畏. 城市建设组织计划与管理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
WUTZKI C A, LIU Tong-wei. Urban construction planning and management [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1988.

[2] 中国建筑学会建筑统筹管理分会. 工程网络计划技术规程教程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
Chinese Architectural Society. Course of network planning technique [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2000.

[3] Kerzner H. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling [M]. New York: John Wiley&Son Inc. Press, 2006.

[4] 邓铁军. 结构工程施工系统可靠性理论方法及其应用的研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
DENG Tie-jun. Research on theory and method of reliability in structural engineering construction system [D]. Changsha: Hunan University, 2007.

[5] 陆宁, 廖向晖, 王巍, 等. 大型施工项目管理可靠性综合控制的构架研究 [J]. 重庆建筑大学学报, 2007, 29(2): 132 – 134.
LU Ning, LIAO Xiang-hui, WANG Wei, et al. Comprehensive control technique of reliability in large construction project management [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(2): 132 – 134.

[6] 曹晋华, 李伟, 刘斌. 可靠性理论、方法及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
CAO Jin-hua, LI Wei, LIU Bin. Reliability theory, method & application [M]. Beijing: China Machine Press, 1994.

[7] 史玉芳, 李慧民, 陆宁. 工程项目施工系统可靠性及计算方法研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2011, 43(1): 125 – 130.
SHI Yu-fang, LI Hui-min, LU Ning. Research on construction system reliability of engineering project and its calculation method [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2011, 43(1): 125 – 130.

[8] 李林, 李树承, 王道平. 基于风险分析的项目工期的估算方法研究 [J]. 系统工程, 2001, 4(3): 151 – 155.
LI Lin, LI Shu-cheng, WANG Dao-ping. Based on risk-analysis' estimating method of project's duration [J]. Systems Engineering, 2001, 4(3): 151 – 155.

[9] 李宾. 模糊网络计划技术及模糊工期风险研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
LI Bin. The research on fuzzy network planning technology and fuzzy schedule risk [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.

[10] 徐志胜, 宋平. PERT 法评估特大桥梁工程施工进度风险 [J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(1): 83 – 87.
XU Zhi-sheng, SONG Ping. Evaluation of construction progress risk using PERT method in huge bridge project [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(1): 83 – 87.

Construction time reliability forecasting of mining project

SHI Yu-fang¹, XIE Yan-ping², LU Lu³

(1. College of Management, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. School of Economy and Management, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 3. College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Time is one of the three objectives for mining project, and construction time reliability as a appraisal index for time is introduced to measure time management level of mining project. Based on the method combined of Monte Carlo simulation and PERT, the forecasting model of construction time reliability is built. Compared with traditional PERT, the advantage of Monte Carlo simulation is to compensate the error caused by assumptions of PERT and to improve calculation accuracy. Finally, a case is chosen as the application of such theory and method.

Key words: mining project; construction time reliability; Monte Carlo simulation; PERT*