

文章编号:1001-831X(2003)01-0009-03

地下工程施工组织设计的 PERT 仿真^{*}

郝玉龙, 姜 伟

(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

摘 要: 地下工程施工过程是一个复杂的多因素影响的系统工程, 通过对施工进度计划的 PERT 网络模型进行计算机仿真, 得出了工期的概率分布和均值、各工序处于关键线路上的概率以及可引起关键线路转移的主要工序等, 可以科学合理地安排施工, 以最优的时间和资源消耗来完成整个工程的预期目标。

关键词: PERT; 地下工程; 施工组织

中图分类号: TP391.9; TU94

文献标识码: A

前言

网络计划技术是一种有效的系统分析和优化技术, 已被广泛应用到工程施工进度计划的编制中。网络计划是以网络模型的形式来表示工程进度计划, 工程中各项工作的相互联系和制约的关系在网络模型中可通过网络图的形式、按生产工艺严密地表达出来。其次可以计算出工程各项工作的最早或最晚开始的时间, 从而找出关键路线。如果网络中各活动的持续时间是确定的, 即各工序是如期完成的, 称为肯定型网络计划(Critical Path Method)。但在实际生产中, 往往会遇到一些难以预见的因素和客观条件变化, 其活动的持续时间是未知的, 这种网络称为非肯定型网络(Program Evaluation and Review Technique), 简称 PERT 网。

地下工程施工过程是一个复杂的多因素影响的系统, 系统中不可预见的因素较多, 如各种机械故障, 施工人员状态等都有可能影响到工程的进度。因此工程中每个工序的作业时间是随机的, 整个工程的完工日期(简称工期)也是随机的, 所以工程进度计划与控制采用非肯定型网络计划, 即 PERT 网络模型。PERT 网的传统算法是利用 3 点估计法将 PERT 转化为肯定型网络计划模型进行计算。这一方法削弱了各工序作业时间的随机性, 所计算的工期偏短、方差较大, 计划实施的可靠性

较低, 且确定的关键路线(随时间推移的关键工序序列)并不一定是真实的关键路线。因此我们必须保持各工序作业时间的随机性。

1 PERT 仿真过程

所谓的 PERT 仿真, 由计算机产生各工序作业时间服从给定分布的随机作业时间, 每次仿真产生一次随机作业时间, 相当于施工一次。每一次仿真, 工期和关键线路可能不同。经多次仿真, 反复计算, 最后得出工期的概率分布和均值; 每条线路成为关键线路的概率(概率最大即为关键线路); 各工序处于关键线路上的概率(关键度)以及可引起关键线路转移的主要工序等。

1.1 工序作业时间仿真

PERT 仿真, 首先要确定工序作业时间的概率分布。不同类型的工序作业时间具有不同的概率分布, 但所有工序的概率密度应满足以下特点: 存在区间(a, b), 区间内概率密度始终取有限正值; 区间内概率密度曲线呈单峰形状。

分布具有以上特征, 因此可用来表示工序作业时间的概率密度分布。

$$f(x) = \frac{(r+s)}{(B-A)^{r+s-2}} \binom{r}{r} \binom{s}{s} (x-A)^{r-1} (B-x)^{s-1} \quad (1)$$

* 收稿日期: 2002-07-16

作者简介: 郝玉龙(1977-), 男, 山东人, 博士研究生, 主要从事系统分析、智能建筑方面的研究。

其中 $A \leq x \leq B, r > 0, s > 0, A$ 为工序乐观作业时间, B 为工序悲观作业时间。设 M 为工作最可能作业时间, 据统计经验, 实际工期小于 A 或大于 B 的概率大约为 1%。由(1)得 分布的期望与方差为:

$$E(x) = A + (B - A) \frac{r}{r + s} \quad (2)$$

$$D(x) = (B - A)^2 \frac{rs}{(r + s)^2(r + s + 1)} \quad (3)$$

PERT 近似的设备工序的期望与方差为 $(A + 4M + B)/6$ 和 $(B - A)^2/36$ 。所以有

$$\begin{cases} \frac{A + 4M + B}{6} = A + (B - A) \frac{r}{r + s} \\ \frac{(B - A)^2}{36} = (B - A)^2 \frac{rs}{(r + s)^2(r + s + 1)} \end{cases} \quad (4)$$

因此根据经验估计的 A, B, M 的值, 由(4)便可确定相应的 分布, 进而得出符合 分布的随机变量, 如图 1 所示。

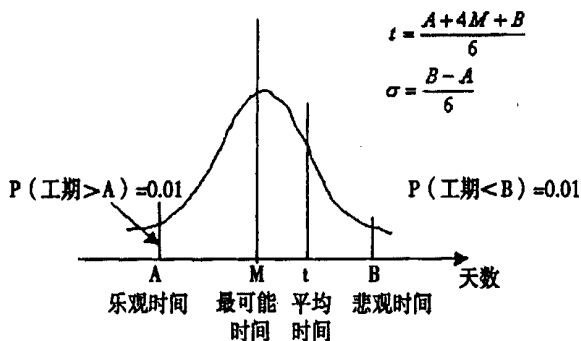


图 1 分布示意图

1.2 时间参数的计算

设在节点网络图中, 节点序号为 i 。

(1) 节点最早时间 BT_i 及方差 $(_{BT_i})^2$ 。

节点最早时间 BT_i 为从网络起点到达此节点的全部关键路线中时间期望值的最大值, 方差 $_{BT_i}$ 为此关键路线上的所有节点的方差之和。以递归形式表示如下: 设节点前一节点序号为 j , 当 $i = 1$ 时 $BT_i = 0; (_{BT_i})^2 = 0; BT_i = \max\{BT_j + t_e\}; (_{BT_i})^2 = (_{BT_j})^2 + (_e)^2; t_e, (_e)^2$ 为节点前工序作业时间的期望与方差。

(2) 节点最迟时间 LT_i 及方差 $(_{LT_i})^2$ 。

设 $LT_n = BT_n, (_{LT_n})^2 = 0$; n 为网络终点, 节点后一节点序号为 j , 则 $LT_i = \min\{LT_j - t_e\}; (_{LT_i})^2 = (_{LT_j})^2 + (_e)^2; t_e, (_e)^2$ 为节点后工序作业时间的期望与方差。

(3) 节点时差 DT_i 与方差 $(_{DT_i})^2$ 及节点前工序完成的概率。

节点时差: $DT_i = LT_i - BT_i$; 方差 $(_{DT_i})^2 = (_{LT_i})^2 + (_{BT_i})^2$, 节点前工期完成的概率 D 可根据 $DT_i / _{DT_i}$ 求出正态分布偏离值 Z 后查概率表得出。

1.3 PERT 仿真模型

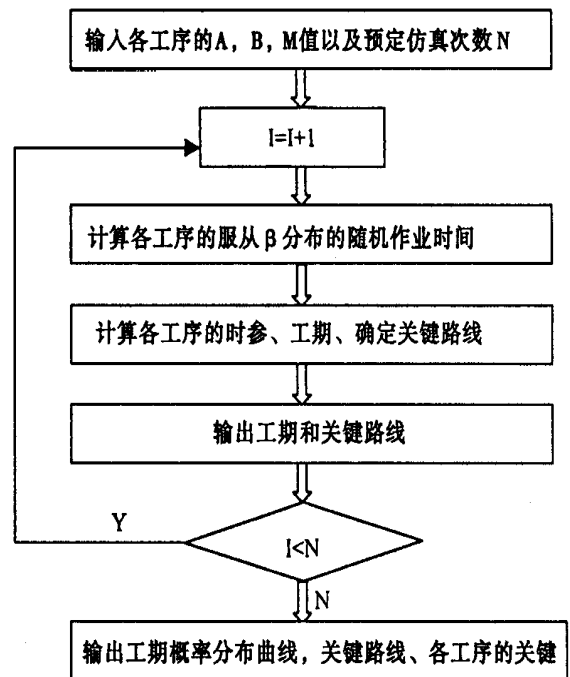


图 2 PERT 仿真模型

2 工程实例

已知一地下工程项目, 其含有的工序及相互关系如下, 并依据施工队伍和机具设备及施工现场具体条件, 确定出该项目工序明细表及各道工序的作业持续时间乐观估计 a 、最可能估计 m 、悲观估计 b 如表 1 所示。

工程项目中各工序逻辑关系及时间估计 表 1

工序名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P
紧前工序	—	A	A	B	B	C	D	G	E	I	H	F	L	J, K, M	N
时间 a	4	2.5	0.5	2.5	0.5	0.5	3.5	2.5	0.5	5	3	0.5	0.5	2.5	1.5
时间 m	5	3	1	3	1	1	4	3	1	6	4	1	1	3	2
时间 b	6	3.5	1.5	3.5	1.5	1.5	4.5	3.5	1.5	7	5	1.5	1.5	3.5	2.5

根据工序间的逻辑关系,可得网络图如下:

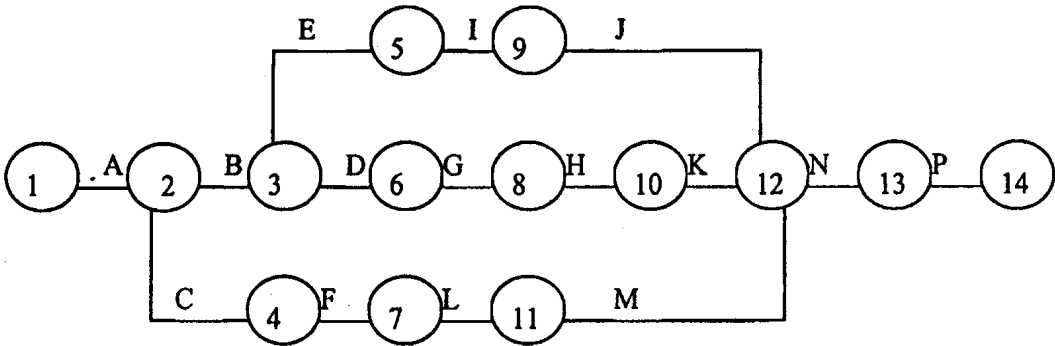


图 3 工程网络图

对此网络利用计算机进行 100 次仿真,得项目工期概率分布曲线如下图:

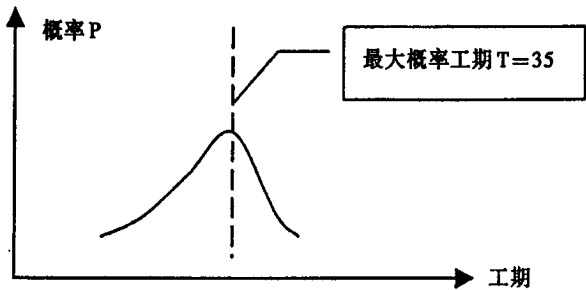


图 4 工期概率分布曲线

最大工期为 46.5 天,最小工期为 28.5 天,均值为 33.7 天,各工序的关键度如表 2 所示:

工程中各工序的关键度 表 2

工序	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P
关键度	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1

因此可以得出关键路线为:1—2—3—6—8—10—12—13—14。

3 结论

PERT 计算机仿真,较好的反映了工序作业时间的统计规律,所确定的关键路线可靠性高,从而

提高了计划实施的可靠性。实践证明,利用 PERT 网络模型计划控制工程进度,不仅可解决工程技术与施工管理中的许多问题,而且对技术复杂、投资多、队伍庞大的大型地下建筑工程项目,PERT 网络仿真技术是缩短工期、提高经济效益的最佳办法。

参考文献:

[1] 钱昆润,葛筠圃. 建筑施工组织与计划[M]. 南京:东南大学出版社,1996.
[2] 江景波,赵志缙. 建筑施工[M]. 上海:同济大学出版社,1995.
[3] 王守清. 计算机辅助建筑工程项目管理[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
[4] 谢行皓. 建筑工程系统仿真[M]. 北京:科学出版社,2001.

UNDERGROUND SPACE

Vol. 23 ,No. 1

(Serial No.93) Quarterly

March , 2003

CONTENTS & ABSTRACTS

DESIGN, CONSTRUCTION, MONITORING

Application of Pre-splitting Blasting Technology in the Cutting Slope QIU Xian-de et al. (1)

[**Abstract**] Based on many in situ experiments of pre-splitting blasting , the application of pre-splitting blasting technology in cutting slope is studied in this paper. According to the in situ experiments and geological conditions , the blasting schemes were optimized and excellent blasting effects were achieved. This paper would have great directive significance to the excavation of cutting slopes and give obvious social and economical benefits.

[**Keywords**] pre-splitting blasting ; blasting parameters ; cutting slope

Comparison of Techniques for Geological Prediction of Tunnels CHEN Jian-feng (4)

[**Abstract**] During tunneling , the precise prediction of rock properties ahead the tunnel face can effectively prevent the engineering accidents , improve construction progress and assure the project quality. The applied methods of geological prediction for tunnels are summarized into crack methods and non-crack methods with their advantages and disadvantages. Among non-crack methods , the Tunnel Seismic Prediction (TSP) has specific advantages such as long prediction distance , low prediction fee and short operation time etc. In this paper , the TSP principle along with the system of data acquisition and analysis is introduced. Some successful applications of TSP in tunnel construction are listed in the end.

[**Keywords**] tunnel ; prediction ; geology ; seismic wave ; TSP

Simulation of PERT in Design of Construction Management for Underground Engineering

..... HAO Yu-long et al (9)

[**Abstract**] The design of construction management in underground engineering is a complicated multifactor system. In this paper , how to simulate a PERT network model of construction schedule with computer is described in order to get the probability distribution of project time limit , working procedure on critical path etc , which can be used to arrange a project with the shortest time and resources.

[**Keywords**] PERT ; underground engineering ; construction plan

·THEORY AND EXPERIMENTAL STUDY ·

FEA on Feasibility of the Supporting by Enclosing Piles with Pre-stressed Anchor ... ZHU He-hua et al (12)

[**Abstract**] In geotechnical and underground structural engineering , under some loading conditions the soil body in contact with the prestressed anchor and enclosing piles may be cracked or slip. In order to express such loading char