

搭接进度网络完工概率分析

边立明 王卓甫 欧阳红祥 李红仙

(河海大学国际工商学院 江苏 南京 210098)

摘要 在建立搭接进度网络完工概率模型的基础上 ,分别提出了用 MC(Monte Carlo)方法计算搭接进度网络完工概率的步骤和搭接进度网络完工概率的简化分析 .实例分析表明 本文方法取得的结果精度较高 .

关键词 搭接进度网络 施工进度 完工概率

中图分类号 :TV511 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2003)01-0100-04

1 问题的提出

工程施工项目完工概率分析是工程项目施工进度控制中的重要环节 ,而进度网络是施工进度控制和完工概率分析的有力工具 .根据进度网络的结构形式 ,可将其分为双代号进度网络、单代号进度网络和搭接进度网络 ,其中搭接进度网络具有普遍意义 ,它可以替代双代号进度网络和单代号进度网络 .在工程项目施工进度控制中 ,经常需要用搭接网络来描述施工进度 .因此 ,要分析施工进度完工概率 ,就需要研究搭接网络的完工概率计算问题 .

可用 MC(Monte Carlo)方法计算双代号进度网络完工概率^[1 2] ,当然 ,根据搭接网络时间参数的计算公式^[3] ,也可用该方法计算搭接进度网络完工概率 .MC 方法存在计算大型网络计划完工概率时间长、计算网络时间参数复杂等局限性^[4] .许多学者在经典 PERT(Program Evaluation and Review Technique)的基础上 ,探讨双代号网络计划的简化计算方法 ,并取得了一些成果^[5 6] .但这些成果并不适用于搭接网络 ,因此 ,本文拟对搭接进度网络完工概率的简化计算作一探讨 .

2 搭接进度网络完工概率分析模型

2.1 时距工序

定义 搭接进度网络计划中相邻工序的搭接关系用“时距”来表达 ,假设存在一道工序 ,连接该相邻两工序 ,使它们间成为衔接关系 ,且该工序的持续时间为原相邻两工序的“时距” ,则称该工序为时距工序 .

引进时距工序后 ,只需将搭接进度网络中相邻工序的搭接关系处理为 PERT 网络中的衔接关系 ,即可得广义 PERT 网络进度计划 .

2.2 搭接关系处理和广义进度网络

搭接进度网络的基本搭接关系有 4 种 :从开始到开始(STS) ,从开始到完成(STF) ,从完成到开始(FTS) ,从完成到完成(FTF) .另有两种混合搭接关系 :STS 与 FTF 的混合搭接 ,STF 与 FTS 的混合搭接 .混合搭接要求同时满足两种搭接 .

工序 I 到工序 J 存在 STS 搭接关系 ,且时距 $STS_{I,J}$ 为 t 时 ,如图 1 建立对应 PERT 进度网络的关系如图 2 所示 .

图 2 中 ,⑩为双代号网络的结束点 ,①、①分别为工序 I 和 J 的始节点 ,工序 (i,j) 是持续时间为 t 的时距工序 ,虚箭线表示为虚工序 ,仅用以表示工序间的逻辑关系 ,而持续时间为零 .

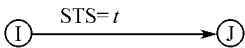


图 1 STS 搭拉关系示意图
Fig.1 STS precedence relationship

图 2 的处理,是因为工序 I 和 J 之间的衔接要求从 I 工序开始后,经时间 t ,J 工序才能开始.

其他各种搭接关系的表示和上述类似,如图 3.

图 3 中各种搭接关系的时距工序,当时距存在不确定性时,同样可用解决 PERT 网络中相同工序的方法去处理.

针对搭接进度网络的各种搭接关系,引进时距工序,将各种关系采用图 3 中的方法处理后,即可得包括常规施工工序、时距工序和虚工序的广义进度网络.

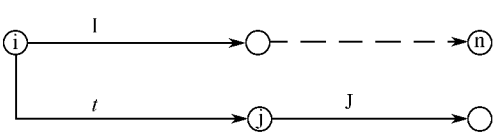


图 2 处理后的 STS 搭接关系
Fig.2 Processed STS precedence relationship

搭接关系	处理后的搭接关系

图 3 各种搭接关系示意图
Fig.3 Various kinds of precedence relationships

3 广义 PERT 进度网络中时距工序持续时间分析

将搭接进度网络转换成广义 PERT 进度网络后,广义 PERT 进度网络中的时距工序和其他工序在属性上主要差别在于时距工序不消耗资源,而在其他方面没有本质的区别.时距工序的持续时间在实际施工中可能会遇到确定型和随机型两种情况.

3.1 确定型时距工序

确定型时距工序即时距工序的持续时间为确定的.例如,一般混凝土施工后,要经一定的时间间隔才能继续紧后工序的施工,此时的时距工序的持续时间就基本上可认为是确定的.当然有时也和养护条件有关.

3.2 随机型时距工序

a. STS 型时距工序.当常规工序的持续时间具有随机性时,时距工序的持续时间也可能有随机性.对 STS 型时距工序,其持续时间是相邻两工序的紧前工序开始后的一段时间,经这一段时间后,紧前工序已为紧后工序提供了一定的开始施工的条件,紧后工序可插入与紧前工序平行施工.显然,当施工工序持续时间存在随机性时,时距工序的持续时间也具有随机性,而且其随机性的特点应和紧前工序持续时间不确定性的特点类似.因此,STS 型时距工序的持续时间可用其紧前工序持续时间的百分数表示.

b. FTS 型时距工序. 不确定 FTS 型时距工序的持续时间, 一般来说和相邻工序持续时间的特性关系不大, 而主要与施工工艺及施工组织有关. 可用“三时”估计法估计工序持续时间, 然后计算其特征值^[14].

c. STF 型和 FTF 型时距工序. 对 STF 型和 FTF 型时距工序, 其持续时间的随机性比较复杂, 常既和前后工序持续时间的特性有关, 又和施工工艺及施工组织有关. 一般也只能用“三时”估计法估计工序持续时间, 然后计算其特征值.

4 广义 PERT 进度网络完工概率计算

根据实际施工情况, 对时距工序处理后, 得广义 PERT 网络. 此时其进度网络完工概率的计算完全和一般的 PERT 进度网络相同, 可用 MC 模拟仿真方法. 对大型网络计划, 可用修正的 PERT 方法进行进度网络完工概率计算.

4.1 广义 PERT 进度网络完工概率的 MC 模拟仿真分析

对于中小型网络, 用 MC 模拟仿真方法计算进度完工概率是比较有效的, 其计算步骤如下 (a) 根据施工逻辑关系和搭接关系, 建立广义的 PERT 进度网络 (b) 估计施工工序和时距工序的持续时间, 并计算工序持续时间的特征值^[14] (c) 产生伪随机数, 并对各工序的持续时间进行抽样 (d) 根据各工序的抽样时间, 用 CPM 法计算广义 PERT 进度网络的计算工期 T_i (e) 重复步骤 (c)~(d) N 次, 得 N 个 T_i , 即计算工期序列 $\{T_i\}$ (f) 对 $\{T_i\}$ 进行统计分析, 得计算工期的特征值 (g) 由规定工期和计算工期的特征值, 分析计算出进度完工概率^[1].

4.2 广义 PERT 进度网络的简化计算

经典 PERT 方法的局限性已被人们有所认识^[6], 此处采用线路合成方法, 并引进当量概率的概念, 对 PERT 方法进行修正, 详细参见文献 [7].

5 实例分析

某大型水利枢纽工程, 其水电站厂房 3# 机组施工网络进度计划为一搭接网络进度计划. 其各施工工序的逻辑关系和持续时间估计值见表 1, 要求分析其工程进度完工概率.

本工程施工搭接网络进度计划的大部分搭接关系主要是为考虑混凝土施工后的养护问题, 且基本上是 FTS 搭接关系. 养护时间的长短和养护条件又有一定的联系. 因此, 其时距工序持续时间就有一定的随机性.

对 FTS 搭接关系, 采用图 3 中 FTS 所示的方法处理.

采用 MC 方法和修正 PERT 方法^[7]进行计算, 计算结果见表 2.

表 1 某水电站 3# 机组施工工序逻辑和持续时间表

Table 1 Logic and duration of construction procedure of No.3 unit in a hydropower project

工 序 (i, j)	乐观的估计 时间/d	最可能的估计 时间/d	悲观的估计 时间/d	紧前工序	工 序 (i, j)	乐观的估计 时间/d	最可能的估计 时间/d	悲观的估计 时间/d	紧前工序
(1, 2)	0.7	1	1.3		(15, 16)*	6.0	6.0	6.0	(14, 15)
(2, 3)	18.0	20	22.0	(1, 2)	(15, 17)*	6.0	7	8.0	(14, 15)
(3, 4)	2.5	3	3.5	(2, 3)	(15, 18)*	2.0	2	2.0	(14, 15)
(4, 5)	2.5	3	3.5	(3, 4)	(16, 19)	3.0	4	5.0	(15, 16)
(5, 6)	2.5	3	3.5	(4, 5)	(17, 21)	2.5	3	3.5	(15, 17)
(6, 7)	8.0	10	12.5	(5, 6)	(18, 22)	3.0	4	5.0	(15, 18)
(7, 8)	0.8	1	1.3	(6, 7)	(18, 23)	13.0	15	17.0	(15, 18)
(8, 9)	1.5	2	2.5	(7, 8)	(19, 20)	6.0	7	8.0	(16, 19)
(8, 11)*	6.5	7	7.5	(7, 8)	(20, 25)*	6.0	7	8.0	(19, 20)
(8, 13)	3.5	5	6.5	(7, 8)	(21, 24)	0.7	1	1.3	(17, 21)
(9, 10)	3.5	5	6.5	(8, 9)	(22, 23)*	6.5	7	7.5	(18, 22)
(10, 11)	0.7	1	1.3	(9, 10)	(23, 25)	2.5	3	3.5	(18, 23)(22, 23)
(11, 12)	8.0	10	12.0	(10, 11)(8, 11)	(24, 26)*	6.0	7	8.0	(21, 24)
(12, 14)	2.5	3	3.5	(11, 12)	(25, 26)	3.5	5	6.5	(23, 25)
(13, 14)*	7.0	7	7.0	(9, 13)	(26, 27)	0.7	1	1.3	(20, 25)(23, 25), (24, 25)
(14, 15)	2.5	3	3.5	(12, 14)(13, 14)					

* FTS 型时距工序

表 2 施工搭接网络进度计划完工概率计算结果

Table 2 Computational results of schedule risk of construction precedence network

计划工期/d	MC 方法			修正 PERT 方法		
	计算工期/d	标准差	完工概率/%	计算工期/d	标准差	完工概率/%
90	92.996	1.668	3.6	93.000	1.717	4.1
95	92.996	1.668	88.5	93.000	1.717	87.9

6 结 语

- a. 在工程施工中,搭接施工是经常遇到的一种施工组织方式,因此,研究施工进度完工概率,有必要研究基于搭接进度网络计划的完工概率.
- b. 本文提出了搭接进度网络完工概率分析计算方法,将工序间的搭接时距假定是一工序,即时距工序,然后转化为广义 PERT 进度网络图,该方法实现简单、易于操作.
- c. 时距工序的持续时间为时距,但不消耗资源.对于基本的搭接关系,时距工序的持续时间可为确定的,也可为不确定的;对于混合搭接关系,受到双重搭接关系的约束,其时距工序的持续时间可为确定的,也可为不确定的,这取决于施工工艺和施工组织的具体情况.
- d. 从表 2 可见,用 MC 方法和用修正 PERT 方法计算广义 PERT 进度网络的完工概率,结果比较接近,因而修正 PERT 计算方法有较高的计算精度.

参考文献：

[1] 徐哲,冯允成.网络计划的完工概率分析[J].系统工程理论与实践,1998(4) :25—28.

[2] BADIRU A B. A simulation approach to PERT network analysis[J]. Simulation, 1999, 57(4) :245—255.

[3] JGJ/T 121—99,工程网络计划技术规程[S].

[4] 王卓甫,陈登星.水利水电施工进度计划的完工概率分析[J].河海大学学报(自然科学版),1999, 27(4) :83—87.

[5] LU Ming, ABOURZK S M. Simplified CPM/PERT simulation mode[J]. J Contr Engrg and mgmt, ASCE, 2000, 126(3) :219—226.

[6] 朱海南.最优资金流施工进度计划的完工概率分析[J].系统工程学报,1999, 14(1) :35—42.

[7] 王卓甫,杨高升,杨建基.水利水电施工中应用 PERT 的完工概率问题[J].河海大学学报(自然科学版),2002, 30(1) :44—48.

Risk analysis of precedence networks

BIAN Li-ming , WANG Zhuo-fu , OUYANG Hong-xiang , LI Hong-xian
(International Business School , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China)

Abstract : On the basis of the risk analysis model for precedence network schedule , the computational programs for the risk of precedence networks by the Monte Carlo (MC) method and the simplified analysis method were proposed . The results are of high accuracy .

Key words : precedence network ; construction schedule ; completion probability