

文章编号:1005-0523(2010)03-0021-05

高层建筑主体结构施工过程仿真分析

袁廷伟, 蒋根谋, 杨克

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 中铁二局股份有限公司, 四川 成都 610031)

摘要:高层建筑主体结构标准层施工过程具有循环施工的特点, 采用传统计划编制方法具有一定的局限性。文章将 ABC 仿真系统应用到高层建筑标准层施工仿真中来, 并将 CPM 网络计划技术的优点融入到 ABC 仿真建模中, 使模型更加符合实际施工过程。通过仿真分析, 可以得到标准层施工工期及各项资源利用率; 通过敏感性分析, 可以得到最优的机械配置参数。工程实例表明, 采用这种建模方法模拟标准层施工过程是有效的。

关键词:ABC; CPM; 高层建筑; 标准层; 施工仿真

中图分类号:TU721

文献标识码:A

高层建筑施工过程由于存在层间关系, 其标准层的施工是一个循环重复的过程。若采用传统的计划编制方法 CPM 或 PERT 组织施工, 其网络结构就显得非常复杂, 且 CPM 及 PERT 都是属于静态的网络计划编制方法, 不能反映工序施工中的随机性。对这类循环施工的过程进行仿真, 目前 CYCLONE^[1] 建模方法已取得了较好的应用, 应用领域包括土方工程施工^[2]、隧道工程施工^[3]、水利水电工程施工^[4]等。另外, 也有学者将 GPSS-H 仿真软件^[5]、Petri 网理论^[6]等技术应用到循环进行的施工过程中, 也取得了一定的成果。本文将 ABC (Activity-Based Construction) 仿真系统运用到高层建筑标准层施工仿真中, 并根据其施工特点, 结合 CPM 网络计划技术建立合理的模型, 使仿真更符合实际施工过程。

1 ABC 仿真系统的基本原理^[7,8]

ABC 仿真系统是由 Jonathan Shi 教授于 1999 年开发出来用于项目进度、资源、费用的预测及优化的仿真系统。同 CYCLONE 类似, ABC 仿真方法同样适用于循环施工的过程。但 CYCLONE 模型元素多, 建模复杂, 需要一定的经验和技巧^[9]。ABC 模型元素仅由活动组成, 活动之间的逻辑关系由箭线表示。相对于 CYCLONE, 模型元素大为减少, 不论是建模和对模型的理解都简单很多。

ABC 仿真系统中活动是组成模型的最基本元素, 模型中的各项参数在活动属性中加以表示, 活动的属性一般包括以下内容。

(1) 活动持续时间分布。活动持续时间服从的概率分布, 仿真中系统从给定的分布中随机的抽出一个值作为活动的持续时间。

(2) 资源。在实际施工过程中, 任何一项活动的进行都必须有相应的资源参与, 资源是仿真中不可缺少的因素之一。仿真建模时, 必须对所需要资源种类、数量等参数予以说明。

(3) 过程实体。ABC 仿真系统中, 若逻辑关系上相邻的几个活动之间没有共同的资源, 则前面的活动完成后就要释过程实体给其紧后活动以告知紧后活动可以开始。常见的过程实体包括顾客、材料、控制信息等。

(4) 逻辑关系。表示活动执行的先后顺序。

(5) 优先等级。它定义了当多个活动共同竞争资源时, 某个活动相对于其他活动的优先程度。

收稿日期: 2010-04-12

中国知网 <https://www.cnki.net>

作者简介: 袁廷伟(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工程项目管理。

2 高层建筑主体工程施工仿真建模分析

2.1 高层建筑主体结构施工仿真建模方法

ABC 仿真模型具有简洁易懂的优点,对于循环进行的施工过程进行仿真,不但能得出工程施工工期,也能分析详细的施工过程,计算出资源利用率以及机械使用费用,这对于 CPM 方法是做不到的。在以往对高层建筑的仿真中,大部分都是针对单个施工段的施工过程进行分析,但实际中一般采取多施工段流水施工的组织形式,仅对单施工段进行分析显然是不符合实际的。而普通 ABC 模型缺乏对整体工程进行分析与安排的能力,很难将活动间的施工组织形式表达清楚。

CPM(Critical Path Method)是工程界常用网络计划技术,它能非常清晰的表达工序之间的逻辑关系,目前已得到了众多工程管理人员的认可。但 CPM 在处理具有循环进行的施工项目,如高层建筑标准层施工过程,其节点和矢线就非常多,中间有大量重复的过程。且 CPM 属于静态网络计划,不能表达工序施工时间的不确定性。

针对 ABC 仿真系统和 CPM 网络计划技术各自具有的特点,本文提出将二者结合起来建模的方法,即在 ABC 仿真建模时采用 CPM 的网络组织结构。这样建立的模型可分为两类,一类为 ABC 循环模型,用于模拟循环进行的施工过程,如混凝土浇筑过程;另一类为 CPM 网络模型,用于模拟非循环进行的施工过程,如钢筋、模板的安装过程。这样不仅可以通过仿真的方法对施工过程进行分析,也利用了 CPM 表达工序间复杂的逻辑关系,使模型更符合工程施工实际情况。

2.2 标准层施工过程建模分析

高层建筑施工的标准层施工是一个以测量放线、架设脚手架、支模板、安装钢筋及浇筑混凝土为主导工序的施工过程^[10]。标准层的每一层施工所需要的资源、需要完成的工作量都基本上是相同的,因此是一个循环施工的过程。另外,单层施工中混凝土的施工过程又是一个以混凝土装载、运输、浇筑和运输车返回为主要活动的循环过程。因此,可以将标准层施工过程划分为两个系统:层面施工系统和混凝土施工系统。

1) 层面施工系统

层面施工系统主要是在混凝土浇筑前层面上所进行的工作,主要包括测量放线、绑扎钢筋、支满堂脚手架、支模板等工作。这些工作一般施工程序比较繁琐,不易将其划分为一系列循环的活动,模型中将各工序按照一个活动来处理。对于其他的一些工作,如拆除模板等,由于其一般不在关键线路上,仿真中不予考虑。按照工作执行的顺序,可以将标准层面施工系统划分为如下活动,见表 1。系统中由于测量放线和隐蔽工程的验收两项工作持续时间较短,在此不考虑其资源的使用情况,而将其活动时间考虑在内。

表 1 层面施工系统活动

序号	标记	活动名称	资源种类
1	MS	测量放线	
2	WR	绑扎柱、剪力墙钢筋	钢筋工组
3	WF	安装柱、剪力墙模板	木工组
4	SI	支满堂脚手架	架子工组
5	BF	铺梁底模板	木工组
6	BR	绑扎梁钢筋	钢筋工组
7	FF	安装梁侧模、楼板模板	木工组
8	FR	绑扎楼板钢筋	钢筋工组
9	EC	隐蔽工程验收	

2) 混凝土施工系统

此处混凝土施工系统是指混凝土从搅拌站生产出来,经混凝土运输车运送到浇筑地点,再由浇筑机械输送到层面上进行浇筑、振捣、抹平的过程。本文假定混凝土生产率能完全满足浇筑的需求,即不考虑由于拌和站生产能力的不足而引起的工期延长。混凝土生产系统可以划分为如下活动,见表2。对于系统中的活动有如下描述。

- (1) 空车返回活动包括运输车返回以及返回过程中料罐的冲洗两个环节。
- (2) 混凝土的振捣、抹平作业与浇筑同时进行,将其合并到浇筑活动中。
- (3) 混凝土的养护工作一般在层间间歇的时间内进行,因此在仿真模型中也不予考虑。
- (4) 为方便分析,将层间间歇时间看做一个活动添加到模型中。

表2 混凝土施工系统活动

序号	标记	活动名称	资源种类
1	LD	装车	混凝土运输车
2	FT	重车运行	混凝土运输车
3	PC	浇筑循环	混凝土运输车混凝土泵送车混凝土工组
4	EB	空车返回	混凝土运输车
5	FP	层间间歇	

3 实例分析

某工程为下层商用,上层住宅的高层建筑,共四栋,每栋17层,其中4~16层为标准层,建筑高度为58米,建筑结构形式为框架-剪力墙结构。主体结构标准层施工采用流水施工段的组织形式,每栋作为一个施工段,4栋同时施工,共4个施工段。混凝土施工采用搅拌运输车运输,混凝土泵送车泵送的浇筑形式。层面施工活动进行所需要的资源如表1、表2所示。根据流水施工的组织形式,建立模型如图1所示。

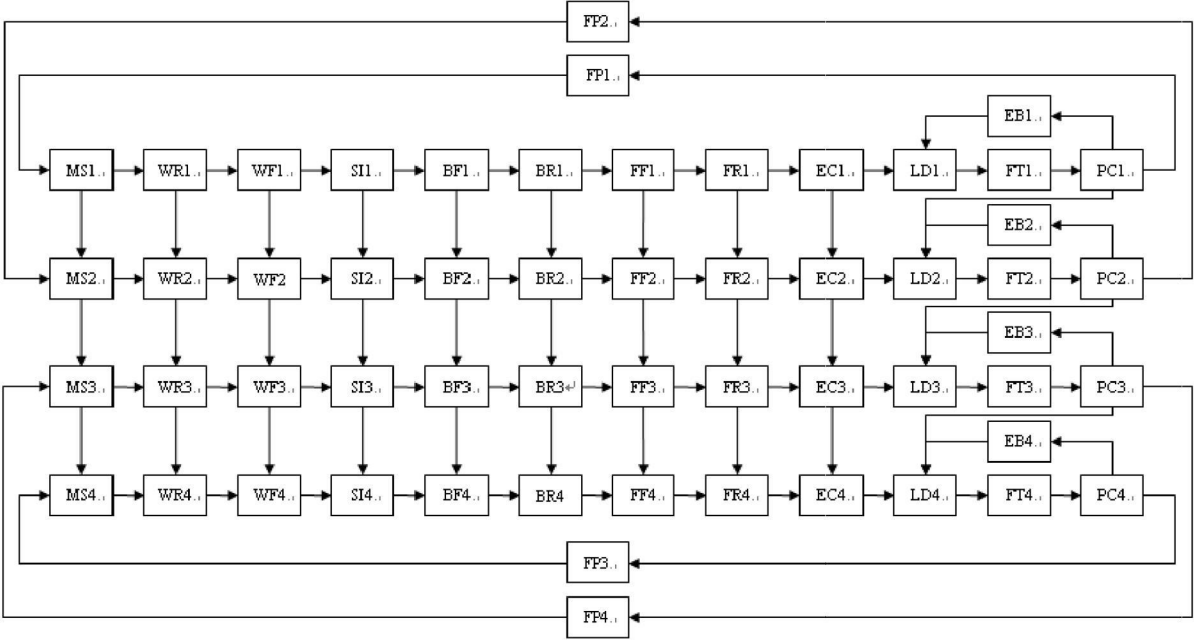


图1 高层建筑标准层流水施工仿真模型

3.1 计算结果分析

根据本工程实际资源使用计划,混凝土浇筑配备一台 HBT60A 混凝土输送泵和 2 辆混凝土搅拌运输

车。采用 ABC 软件将图 1 所示模型表达出来,运行模型 10 次,得出的仿真结果如表 3 所示,10 次结果的平均值为 2 017.78。可知在给定的资源条件下标准层的施工时间为 2 017.78 h。

表 3 高层建筑标准层施工仿真总时间

仿真次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
仿真时间/h	2 003.3	2 010.0	2 011.7	2 013.5	2 021.8	2 026.9	2 011.7	2 011.0	2 040.8	2 040.2

在标准层施工期间内,各项资源的利用率如图 2。从图中可以看出,由于钢筋的工作量较大,单个施工段上持续时间较长,钢筋工组的利用率也最高,为 85.07%。其它资源利用率依次为木工组 72.44%,混凝土运输车 33.04%,架子工组 24.1%,混凝土工组 15.06%,混凝土输送泵 15.06%。实际工程中,木工组的拆模工作、架子工组的满堂架拆除工作以及混凝土工组的养护工作都需占用一定的时间,但由于这些工作一般不在关键线路上,模型中未考虑在内,因此,实际施工中资源的利用率会高一些。

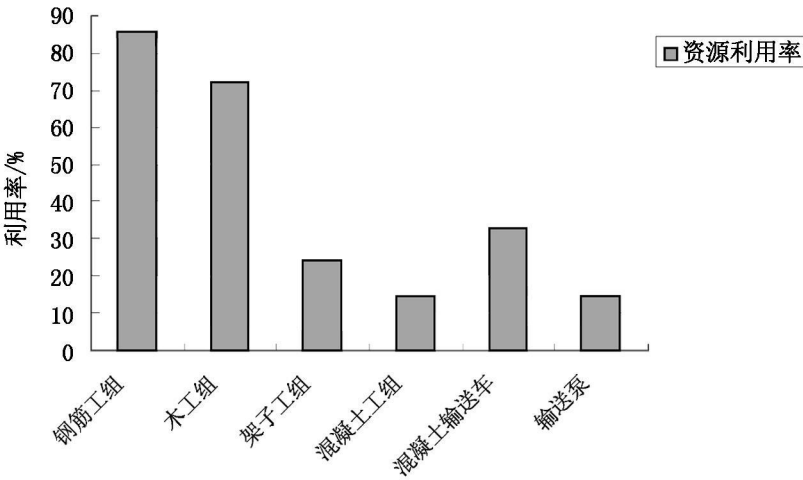


图 2 标准层施工期间内各项资源利用率

3.2 敏感性分析

此处仅对混凝土运输车数量进行敏感性分析。通过改变混凝土运输车数量,分别得到不同混凝土运输车情况下的工期及各项资源的利用率,计算结果如表 3。根据 7 种方案的计算结果绘制出混凝土运输车数量分别与工期、资源利用率的关系曲线,见图 3 和图 4。

表 3 不同数量混凝土运输车情况下工期及资源利用率

运输车数量	总工期/h	运输车利用率/%	钢筋工组利用率/%	木工组利用率/%	架子工组利用率/%	混凝土工组利用率/%	混凝土输送泵利用率/%
1	2 477.52	53.32	69.42	58.76	19.48	12.12	12.12
2	2 017.78	32.73	85.07	72.03	24.03	14.83	14.83
3	1 978.33	22.27	85.38	73.7	24.13	15.19	15.19
4	1 956.09	16.89	87.68	74.57	24.63	15.39	15.39
5	1 954.82	13.52	87.81	74.68	24.82	15.41	15.41
6	1 950.62	11.3	87.97	74.58	24.77	15.42	15.42
7	1 949.51	9.66	88.06	74.56	24.67	15.43	15.43

从图 3 中可以看出,随着混凝土运输车数量的增加,工期呈逐渐缩短的趋势。其中,运输车数量从 1 辆增加到 2 辆时,工期缩短的量最为明显,这说明由于运输车数量太少,运输能力不能满足混凝土输送泵的浇筑要求,致使输送泵空闲时间较多,浇筑效率较低。当运输车数量大于 4 辆时,运输车数量虽然增加,工期缩短的量也非常小。说明此数量的运输车的运输能力已能完全满足输送泵浇筑要求,输送泵的浇筑能力已经达到极限,运输车的排队等待时间增加。此时,若要减少混凝土工程的工期,就必须增加输送泵台数。

从图 4 中可以看出,随着混凝土运输车数量的增加,运输车的利用率逐渐降低,而其它资源的利用率却逐渐升高。对于运输车利用率降低的原因,是因为运输车数量增加,工期虽有缩短,但单个运输车的忙碌时间与所有运输车的施工总时间之比减小。对于其它资源,其数量不变,在工期缩短的情况下,其利用率有所提高;但随着运输车数量逐渐增加,工期缩短值越来越小,因此其利用率提高量也越来越小。

从上述分析可以看出,本工程运输车数量以 2~3 辆为宜。运输车为 2 辆时,工期为 2 017.78 h;运输车为 3 辆时,工期为 1 978.33 h。此时,若要想再缩短工期,就必须减少其它分项工程(如钢筋、模板工程等)的施工时间,这可以通过改变资源的数量来实现。

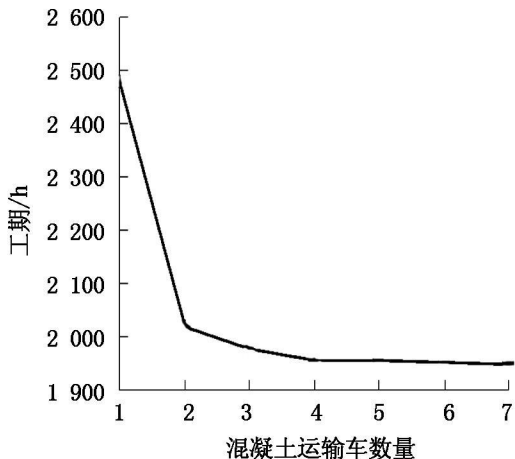


图 3 运输车数量与工期关系曲线

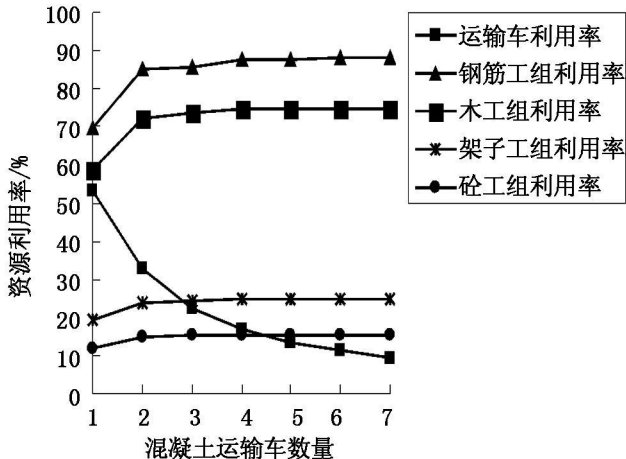


图 4 运输车数量与资源利用率关系曲线

4 结语

高层建筑标准层的施工是一个循环施工的过程,同时各施工段之间又存在着流水施工作业。在以往的文献中,大部分都是对单栋高层建筑进行的仿真,很少将流水施工的组织方式考虑在内,这样仿真得出的结果显然和实际是有一定出入的。本文采用 ABC 仿真系统对高层建筑标准层施工过程进行仿真,在建模时采用 CPM 网络结构来表达多个施工段流水施工的组织形式,使模型更符合实际工程施工情况,同时也克服了传统计划编制方法中存在的一些缺点。通过对某工程实例进行分析,表明了采用这种建模方法不但能对工程施工的进度进行分析,也能得到在多施工段流水施工的情况下各主要资源的利用率,为合理组织工程施工提供的依据。

参考文献:

[1] HALPIN D W, RIGGS L S. Planning and analysis of construction operation [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.

[2] 胡程顺, 毛校君. 循环网络模拟技术在土石方工程中的应用[J]. 中国工程科学, 2007, 9(10): 71-74.

[3] CHIHHSANG L, WEN T H, TAO M C, et al. Simulation of NATM tunneling construction in gravel formation-lessons learned from pakuashan highway tunnel project in taiwan[J]. ASCE, GeoHuman International Conference, 2009(2): 194-202.

[4] 钟登华, 李景茹, 郑家祥. 全过程动态仿真技术及其在水利水电工程施工中的应用[J]. 水利水电技术, 2002, 33(9): 24-36.

[5] 焦海贤, 王升斌, 等. 基于 GPSS/H 仿真软件的沥青路面机群施工系统仿真模型研究[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(1): 70-73.

[6] 杨学红, 胡志根. 基于 Petri 网隧洞施工过程的系统建模[J]. 水电能源科学, 2001, 19(4): 33-36.

[7] JONATHAN J S. Activity-based construction (ABC) modeling and simulation method[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999(10): 354-360.

[8] HONG Z, JONATHAN J S. Iconic animation for activity-based construction simulation[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2000, 14(2): 157-164.

[9] 钟登华, 李景茹, 等. 全过程动态仿真技术及其在水利水电工程施工中的应用[J]. 水利水电技术, 2002, 33(9): 22-36.

[10] 蒋根谋. 建筑施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

Simulation Analysis of Main Structure Construction Process in High-rise Building

Yuan Tingwei¹, Jiang Genmou¹, YangKe²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. China Railway ERJU Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The construction process of standard layer in high-rise building has a characteristic of circular construction. There is limitation to prepare plans using traditional methods. The paper applies ABC simulating system in simulation of constructing high-rise buildings, and integrates advantages of CPM network technology into simulating of modeling stage to make model more practical in the constructing process. Through simulation analysis, the construction period and resource utilization are obtained. Through sensitivity analysis, the optimized mechanical configuration parameters are gained. Construction examples show that it is effective to adapt this modeling method to simulate construction process.

Key words: ABC; CPM; high-rise building; standard layer; construction simulation

(责任编辑 王建华)

(上接第 20 页)

Characteristic Analysis of Vibration for Coupling System of High-Speed Train-Ballastless Track-Bridge System

Li Yuanxiang, Lei Xiaoyan, Zhang Bin

(Engineering Research Center of Railway Environment Vibration and Noise Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on kinetic characteristics of vehicle-ballastless track-bridge system, new types of vehicle and track-bridge elements are presented. Stiffness matrix, mass matrix and damping matrix of these two kinds of elements are deduced by finite element method and the Lagrange equation. The track system is separated into vehicle element and track-bridge element. Each car is taken as a vehicle element and track-bridge element is taken as a four layer beam element. Finally, an application example of the vibration characteristics of the entire system is analyzed.

Key words: vehicle element; ballastless-track-bridge element; coupling system; vibration analysis; high speed train

(责任编辑 刘棉玲)