武炜,崔邯龙,张丽丽.震后建筑进度 BIM 估计模型改进[J].地震工程学报,2018,40(4):841-847.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.841

WU Wei,CUI Hanlong,Zhang Lili.Improvement of the BIM Estimation Model for Post-earthquake Construction Schedule[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(4):841-847.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.841

震后建筑进度 BIM 估计模型改进

武 炜[1], 崔邯龙[2], 张丽丽[1]

(1. 北京工业职业技术学院, 北京 100042; 2. 河北工程大学土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 传统震后建筑进度 BIM 估计模型,未考虑精益管理对建筑施工的影响,造成建筑成本浪费较多,影响后期建筑施工进度。本文构建基于 BIM 和精益管理的震后建筑进度评估模型,根据模型细分震后建筑进度评估过程,在此基础上根据 BIM 实施三维算量,采用进度计划编制子模型获取各分项工程量,确定建筑施工的主要进度计划,实现对建筑进度计划的编制;通过虚拟施工和现实施工两条主线,利用进度控制子模型实现对施工状态的模拟和精益管理。以此为基础,进行挣值分析比较计划施工成本、实际施工成本和挣值曲线,获取震后建筑的施工进度与成本情况。实验结果说明,本文构建的模型可对震后建筑进度和工程成本进行精准估计,能够减少成本浪费。

关键词: 震后; 建筑进度; BIM; 估计模型; 精益管理; 挣值分析

中图分类号: TU722 **文献标志码**:A **文章编号**: 1000-0844(2018)04-0841-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.841

Improvement of the BIM Estimation Model for Post-earthquake Construction Schedule

WU Wei[1], CUI Hanlong[2], ZHANG Lili[1]

(*1.Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China;*
2.College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: The traditional BIM estimation model of post-earthquake construction schedules ignores the effect of lean management on the construction schedule, thus wasting construction costs and affecting the later stages of the construction schedule. In this work, an evaluation model of post-earthquake construction schedule is constructed on the basis of BIM and lean management. In the proposed model, the evaluation of post-earthquake building schedule is subdivided. Then, three-dimensional calculation is implemented on the basis of BIM, and the submodel of schedule planning is used to obtain subproject quantities. The main schedule plan of building construction is determined, and the construction schedule plan is established. Construction state is simulated and refined by using the schedule control submodel in virtual and practical construction. On the basis of simulation and practical results, the planning construction cost, actual construction cost, and earned value curve of the post-earthquake construction project are analyzed and compared, and

收稿日期:2017-08-20

基金项目:国家自然科学基金(51378169);北京市教育委员会科技计划一般项目(KM201610853002)

第一作者简介:武 炜(1976-),女,河北宣化人,博士,讲师,研究方向:建筑结构,建筑施工技术。E-mail:weiwu1976@126.com。

the construction schedule and cost of the project are obtained. Experimental results show that the proposed model can accurately estimate the schedule and costs of post-earthquake construction projects.

Keywords: post-earthquake; construction schedule; BIM; estimation model; lean management; earned value analysis

0 引言

震后重建地区普遍存在建筑进度延误、建筑成本远超出预期的困扰,行业内专业人士普遍认为有效的施工进度估计模型是建筑项目成功的关键因素,构建震后建筑进度估计模型也因此具有非常重要的意义。随着建筑科技含量逐渐提高,建筑的建设工艺也越来越复杂,采用过去的施工进度管理模型无法满足当前对震后建筑施工管控的需求,BIM 技术在建筑施工管理中可以对建筑进度进行把控、降低施工延误概率、创造巨大效益,在很多建筑项目中推广使用[1];精益管理可在建筑施工完成的基础上,最大程度地提高材料的利用率,缩短开支,也因此被广泛应用于建筑施工管理中。

文献[2]研究了建筑施工进度优化过程中的 BIM 技术应用情况,但是该模型不能对建筑计划施工和实际施工进行有效对比,施工进度优化存在误差;文献[3]将模糊算法应用于建筑施工进度估计模型中,对建筑施工进行有效预警,不过该模型主要是从算法理论的角度进行施工进度估计,未考虑实际施工中存在的影响因素,导致该模型无法准确进行建筑进度估计;文献[4]研究震后建筑建设的整个供应链过程,但其对建筑进度估计得到的结论较少,无法实证震后建筑进度的有效估计。

基于上述文献中的问题,本文对震后建筑进度 BIM 估计模型进行改进,将 BIM 技术与精益管理进行有效结合,构建基于 BIM 和精益管理的震后建筑进度管理模型,并将挣值分析用于计算地震实际施工成本和计划编制成本的差值中,实现对震后建筑进度的准确估计。

1 震后建筑进度 BIM 估计模型改进

1.1 基于 BIM 和精益管理的震后建筑进度管理模型

本文将 BIM 技术与精益管理相融合,并将挣值分析计算施工计划编制成本与实际成本的差异运用其中,实现对震后建筑进度 BIM 估计模型的改进[5],改进后的模型如图 1 所示,该模型以 BIM 和精益管理为基础,从技术角度将编制的施工计划与实际的施工方案进行整合;精益管理则采用 LPS、准时制等设施将施工进度控制在组织和实践层面。

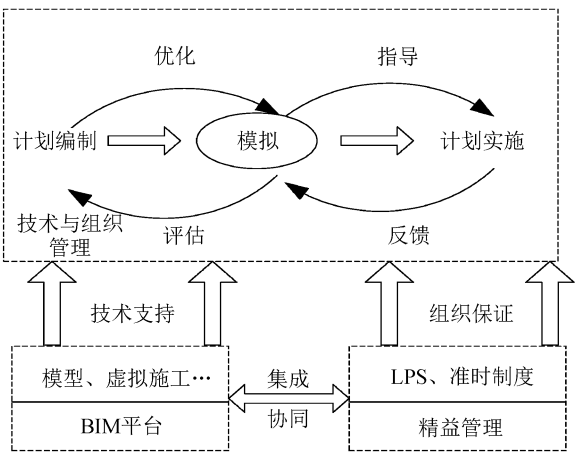

图 1 基于 BIM 和精益管理的震后建筑进度管理模型

Fig.1 Schedule management model for post-earthquake construction based on BIM and lean management

与过去的震后建筑进度 BIM 估计模型不同,本文模型把震后建筑进度管理划分为施工计划编制、施工进度模拟以及建筑施工实施三个部分[6]。震后建筑进度管理的核心在于技术与组织管理中由计划编制、模拟与计划实施组成的闭合圆环,该圆环表示震后建筑施工管理中由虚拟到现实间的迭代变化过程,圆环左侧由计划编制和模拟构成,在 BIM 平台获取的建筑施工进度基础上,依靠 BIM 的可视化虚拟施工实现对左侧圆环的科学操作评估,基于评估结果实现对施工计划的优化改进[7];圆环右侧由模拟和计划实施两部分构成,震后建筑的进度编制应在施工之前,通过编制的建筑进度计划来对建筑施工进行有效指挥,建筑施工进度应实时反馈到 BIM 平台,便于后续建筑工作的开展。从模型的操作性能方面,本文改进的模型由进度计划编制子模型和进度控制子模型构成,把原本的单一模型转变为由多个子模型构成,将模型的功能进行细化,提升震后建筑进度的估计效果。

1.2 进度计划编制子模型

建筑施工计划的编制需要有效的组织力量,只

有在多方共同协作下建筑施工过程中出现的相关施工问题才能得到妥善处理。在精益管理条件下,建筑施工应组建一个由震后建筑施工计划编制人员和建筑施工人员构成的团队[8],确保在震后建筑施工过程方便施工进度能够有序进行,在团队和组织平台共同协作下,进度计划的编制子模型如图 2 所示。

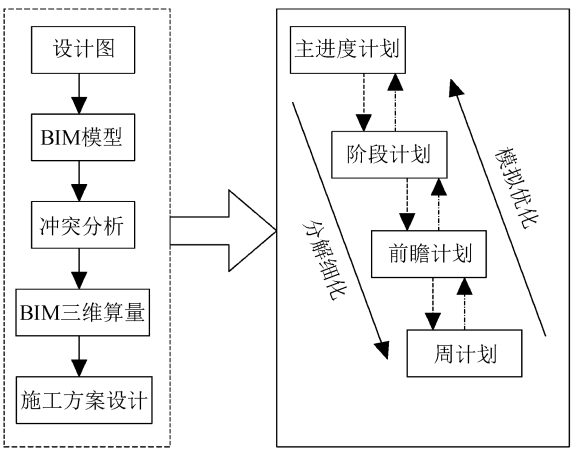

图 2　进度计划编制子模型

Fig.2　Schedule planning sub-model

根据建筑施工图,通过 BIM 平台获取不同的数据模型,然后对不同的数据模型实施冲突分析,分析结果若出现冲突,可在 BIM 平台上与计划编制者实时沟通,方便建筑施工方及时对冲突提出有效的解决方案[9],或计划编制者对冲突处进行修改并将修改结果及时反馈给建筑施工方;若分析出的数据模型间不存在冲突,或发生的冲突已经解决,可通过 BIM 实施三维算量计算[10],获取各分项工程的工程量,并结合建筑要求论证建筑进度方案,确定建筑施工的主要进度计划。

精益管理中 LPS 原理将实际震后建筑施工特点和规律进行了综合分析,将建筑施工的主要进度计划分为 3 个不同阶段,包括里程碑阶段、前瞻阶段和周计划。在建筑施工工人的施工意见、工程材料的剩余情况以及预计材料的配给基础上,实现对周计划的优化[11],考虑到震后建筑施工的难度和较广的涉及范围,因此对前两个阶段的复杂优化过程本文不予介绍。

1.3　进度控制子模型

震后建筑施工进度的控制受到多重因素干扰,为了确保施工进度有序进行;需要做到尽早发现存在的问题并有效解决。图 3 所示为进度控制子模型,实施单元是以周计划进行,主要由虚拟施工和现实施工两条主线[12]构成,一条为从制定进度计划到精益采购与供应、精益施工到施工输出绩效;另一条和上期建筑施工进度相结合,采用 BIM 进行连续的 4D 施工状态模拟,用于对后续建筑施工进度的指导。其中,4D 技术能够把与施工进度相关的时间信息与动态的 3D 模型相连接,从而进行 4D 施工进度模拟。4D 施工进度模拟主要是通过计算机软件建立 3D 模型,并借助各种可视化的设备对项目进行虚拟描述,再附加上时间维度后,利用 WBS 关联施工进度计划,从而为项目管理者提供三维可视化平台,使施工过程可视管理化成为可能。4D 施工进度模拟不但可以模拟整个项目的施工过程,而且对一些需要使用复杂技术方案的施工也能够进行过程与进度的模拟。

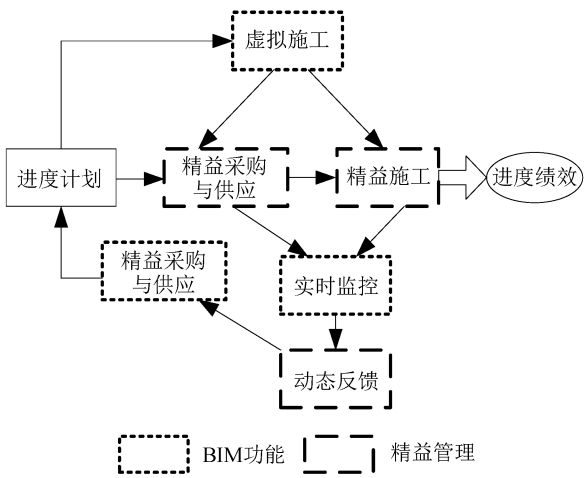

图 3　进度控制子模型

Fig.3　Schedule control sub-model

精益采购与供应有助于提升建筑施工质量,节约成本,实现建筑进度与质量及成本的最优化。针对震后建筑进度的核心[13],本文设置虚拟和现实两条反馈路径:将虚拟施工结果运用于精益采购与供应过程,该过程通过 BIM 平台进行实时查看,将建筑施工情况以跨组织施工或施工内部协调的方式对施工进度进行实时更新,另外一条精益施工的反馈路径实时过程同第一条反馈路径相同。

1.4　挣值分析

将挣值法用于本文震后建筑进度 BIM 模型的改进,方便获取震后建筑实际施工过程中的建筑进度与估计进度的误差以及项目实际成本与估计成本的误差[14],实现对建筑项目的施工进度和项目成本进度的有效掌控。以下为挣值法的基本参数。

(1) 计划值(PV),表示在建筑项目完成时需要的全部预算金额,其按照计划工程量的完成情况表

达式如公式(1)所示：

$$PV=A\times B \tag{1}$$

A 表示计划工程量，B 表示预算单价。

(2) 实际值(AC)，表示在震后建筑施工中的某阶段完成任务量花费的实际费用，该值可将项目实际执行过程中的消耗指标重点反应出来。

(3) 挣值(EV)也可用 $BCWP$ 表示，其用于表示建筑施工过程中某施工阶段实际完成的工程量预算时单价的费用，其表达式如式(2)：

$$EV=D\times F \tag{2}$$

D 表示已完成工程量，F 表示预算单价。

通过将挣值分析中三个参数进行比较和计算，能够获取用于评价震后建筑项目进度的评价指标[15]，分别为施工进度差异 SV、成本差异 CV、进度绩效指标 SPI 以及成本绩效指标 CPI，其计算过程和代表意义见表 1 所列。

表 1 挣值分析评价指标及意义

Table 1 Evaluation indexes and significance of earned value analysis

评价指标	计算过程	实际意义
进度偏差(SV)	$SV=EV-PV$	$SV<0$ 实际进度落后于计划进度 $SV=0$ 实际进度与计划进度相同 $SV>0$ 实际进度快于计划进度
成本偏差(CV)	$CV=EV-AC$	$CV<0$ 实际花费金额高于计划金额 $CV=0$ 实际花费金额与计划金额相符 $CV>0$ 实际花费金额低于计划金额
进度绩效指数(SPI)	$SPI=EV/PV$	$SPI<0$ 实际进度低于计划进度 $SPI=0$ 实际进度与计划进度相同 $SPI>1$ 实际进度快于计划进度
成本绩效指数(CPI)	$CPI=EV/AC$	$CPI<0$ 超出计划 $CPI=0$ 与计划相符 $CPI>1$ 低于计划

为了清晰地看出震后建筑的施工进度与成本情况，列图对比计划施工成本(BCWS)、实际施工成本(BCWP)和挣值曲线(ACWP)。计划施工成本为前期制定计划时确定的施工成本，实际施工成本指实际施工时所使用的成本，挣值曲线为已完成工作量的实际费用，是进度的时间参数，随项目推进而不断增加。三者的详细对比结果如图 4 所示。

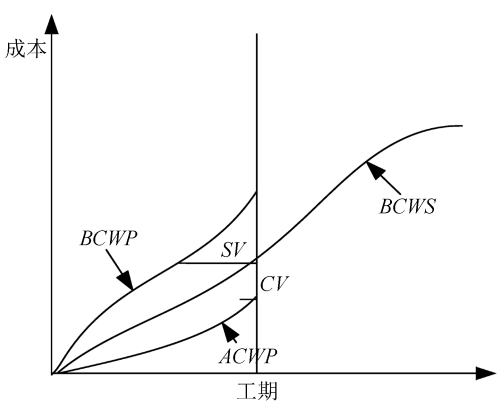

图 4 挣值分析进度-成本状态图

Fig.4 Schedule-cost state diagram of earned value analysis

2 实验分析

为验证本文模型的有效性，对本文模型进行实际的震后建筑案例仿真实验，实验以某地区地震后的某建设项目为例，对该项目的进度控制全过程进行模拟分析，该建筑为一栋地上三层，建筑面积为 9 787 km^2 的商场，该项目的关键经济技术指标见表 2 所列。实验一方面利用软件操作展示本文模型对震后建筑进度估计的流程，另一方面以实际的施工项目为例验证本文模型的有效性。

表 2 项目关键经济技术指标

Table 2 Key economic and technical indexes of the project

建设内容	建筑说明
建筑分类等级	公共建筑
建筑结构安全等级	二级
建筑结构形式	框架结构
建筑安全使用期限	50 年
建筑抗震设防烈度	6 度
建筑的抗火等级	一级
建筑实际面积	9 787 m^2
建筑层数	三层
建筑整体设计高度	26 m

实验采用 Autodesk 中 BIM 软件中的 Revit，构建该建筑的三维模型用本文模型对该建筑的施工计划进行编制，实验主要对该建筑的主体部分进行模拟分析，根据 Revit 软件构建的建筑三维模型如图 5 所示。

对项目进行三维模型分析后，应用本文模型进行施工计划编制，项目施工计划编制结果见表 3 所列。

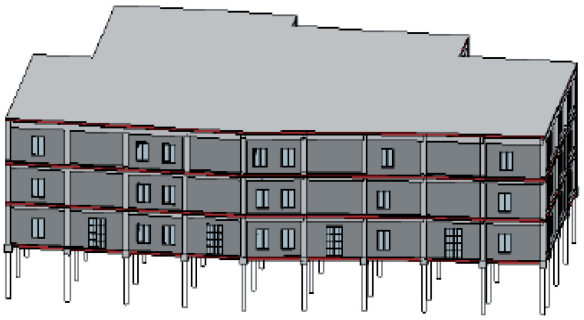

图 5　建筑三维模型图

Fig.5　3D model of building

震后建筑施工现场有管理人员每天对现场的施工状况进行采集,将建筑的施工完成情况进行有效汇总,实验选择该建筑的承建日期为 2017 年 5 月 5 日,本文模型计划估计该建筑结束日期为 2017 年 8 月 19 日,该项目实际施工完成进度用表 4 和表 5 表示,实际的建筑进度可随着建筑施工的进行随时更新,实验重点分析该建筑一楼和二楼的工程实际进度发展情况。

分析表 3、表 4 和表 5 数据可知,采用本文模型对该建筑项目一楼的施工进度估计与该项目实际的

表 3　项目施工计划编制结果

Table 3　Results of project construction plan

施工顺序	任务名称	建设工期/d	施工开始时间	计划完成时间
1	建筑基础	21	2017-05-05	2017-05-25
2	一楼柱子	5	2017-05-26	2017-05-30
3	一楼梁板	5	2017-05-31	2017-06-04
4	一楼楼板	4	2017-06-05	2017-06-08
5	二楼柱子	5	2017-06-09	2017-06-13
6	二楼梁板	4	2017-06-14	2017-06-17
7	二楼楼板	5	2017-06-18	2017-06-22
8	三楼柱子	4	2017-06-23	2017-06-26
9	三楼梁板	5	2017-06-27	2017-07-01
10	三楼楼板	6	2017-07-02	2017-07-07
11	楼梯	6	2017-07-08	2017-07-14
12	砌体墙	20	2017-07-15	2017-08-03
13	门	4	2017-08-04	2017-08-07
14	窗	12	2017-08-08	2017-08-19

表 4　项目实际施工完成进度(一楼)

Table 4　Actual construction progress of the project (First floor)

任务名称	实际开始时间	实际完成时间	估计耗费工期/d	实际工期/d	任务完成率/%	估计偏差
建筑基础	05-05	05-25	21	21	100	0
一楼柱子	05-27	05-30	5	4	100	0
一楼梁板	05-31	06-04	5	5	100	0
一楼楼板	06-05	06-08	4	4	100	0

表 5　项目实际施工完成进度(二楼)

Table 5　Actual construction progress of the project (Second floor)

任务名称	实际开始时间	实际完成时间	估计耗费工期/d	实际工期/d	任务完成率/%	估计偏差/%
二楼柱子	06-09	06-13	5	6	100	25
二楼梁板	06-14	06-17	4	4	100	0
二楼楼板	06-18	06-22	5	4	100	−25

建设进度一致,建筑、一楼柱子、一楼梁板和一楼楼板的实际建设进度与计划编制结果完全一致,说明本文模型对震后建筑进度的估计效果较好;从该项目二楼实际施工完成进度结果可以看出,虽然二楼柱子施工和楼板施工的实际施工工期与本文模型估计的工期不同,但二楼整体施工结束的时间与本文模型估计的结束时间一致,综合模型分析结果可知本文模型对震后建筑进度估计效果较好。

将本文方法与文献[4]中方法进行对比,从本文模型估计出的项目进度计划中选择两个时间点进行项目进度监控,选择的监控点分别是该建筑一楼和二楼完成建设的日期 2017 年 6 月 8 日和 2017 年 6 月 22 日,基于计划完成工程量的统计结果,依照预算单价获取计划完成工程量的预算金额 635

万元。依照项目实际的工程完成状况,获取已完成工程量的预算金额,若挣值与完成工作的百分比之间为线性相关,可得到已完成工程量的预算金额597 万元,通过对实际完成工程量以及其它变动情况的均衡估计,可获取完成工程量实际花费 613 万元,6 月 22 日的挣值参数计算过程与上述一致。不同方法模型得到两个监测点的挣值参数如表 6 所列。

基于表 6 通过对两个监测点的绩效评价指标结果进行计算,得到如表 7 所列的挣值评价指标。

表 6 不同模型下挣值参数表(单位:万元)

Table 6 Earned value parameters using different models (Unit: ten thousand yuan)

监测日期	本文模型			文献[4]模型		
	PV	*EV*	*AC*	*PV*	*EV*	*AC*
2017 年 6 月 8 日	635	597	613	895	762	729
2017 年 6 月 22 日	1 336	1 380	1 464	1 786	1 720	1 864

表 7 不同模型下挣值评价指标

Table 7 Evaluation indexes of earned value using different models

监测日期	本文模型				文献[4]模型			
	SV	*CV*	*SPI*	*CPI*	*SV*	*CV*	*SPI*	*CPI*
2017 年 6 月 8 日	−37	−15	0.93	0.96	1	−3	0.65	0.72
2017 年 6 月 22 日	43	−83	1.02	0.93	12	5	2.35	0.64

分析表 7 数据可知,第一个监测点处的 *SV* 值小于 0,说明项目实际的进度小于本文模型的估计进度,*CV* 值小于 0,表明该项目超支,通过进度绩效指标 *SPI* 和成本绩效指标 *CPI* 结果可知,该项目的实际施工进度和成本均低于本文模型的计划,说明该项目的实际施工进度缓慢且成本超支。同样分析第二个监测点可知该项目的成本超支更突出,因此可以得出,本文模型可使管理者实时准确的对建筑施工进度进行有效把控,对成本进行动态监控。而表 7 中文献[4]模型第一个监测点的 *SV* 值大于 0,虽然数值较小,但说明该种算法的估计进度不准确,短于实际进度,无法实现对实际进度的跟进。同理,其他指标也无法准确对震后建筑进度跟进,且无法准确估计成本。

3 结论

本文将 BIM 技术与精益管理相融合构建震后建筑进度 BIM 估计模型,并将挣值分析计算施工计划编制成本与实际成本的差异运用其中,共同实现对震后建筑进度 BIM 估计模型的改进。实验结果表明,相较于其他模型,本文模型能够对成本进行动态监控,对震后建筑进度估计效果好,可使管理者实时准确的对建筑施工进度有效把控。

参考文献(References)

[1] 欧阳焜.BIM 多因素随机性工程项目进度预测模型研究[J].建筑技术,2017,48(4):395-398.
OUYANG Kun.A Research on Multiple Factors Randomness Project Schedule Forecasting Model Based on Bim Technology [J].Architecture Technology,2017,48(4):395-398.

[2] 柳茂.基于 BIM 技术的建筑施工进度优化研究[J].现代电子技术,2017,40(3):103-105.
LIU Mao.Research on Building Construction Schedule Optimization Model Based on BIM Technology[J].Modern Electronics Technique,2017,40(3):103-105.

[3] 何敏杰,徐立丰,王强强,等.基于模糊算法的施工进度动态分析模型与进度预警机制[J].土木工程与管理学报,2017,34(3):86-90.
HE Minjie,XU Lifeng,WANG Qiangqiang,et al.Construction Progress Dynamic Analysis Model Based on Fuzzy Algorithmand Early Warning Mechanism Research Progress[J].Journal of Civil Engineering and Management,2017,34(3):86-90.

[4] 岳乌云高娃.地震后重建过程中的建筑最低成本分析[J].地震工程学报,2017,39(6):1150-1155.
YUE Wuyungaowa.Lowest-cost Analysis of Buildings During Post-earthquake Reconstruction.[J].China Earthquake Engineering Journal,2017,39(6):1150-1155.

[5] 于晓明.建筑企业 BIM 应用能力评估体系研究[J].施工技术,2017,46(12):113-118.
YU Xiaoming.Research on BIM Application Ability Evaluation System for Construction Enterprises[J].Construction Technology,2017,46(12):113-118.

[6] 李勇.施工进度 BIM 可靠性预测方法[J].土木建筑与环境工程,2014,36(4):51-56.
LI Yong.Analysis on Predictive Methods of BIM Based on Construction Schedule Reliability[J].Journal of Civil,Architectural & Enviromental Engineering,2014,36(4):51-56.

[7] 张欢欢，蔡宁，蒋宇一，等.面向异构资源环境的 BIM 道路施工进度优化方法[J].计算机工程与设计，2016，37(4)：1042-1050.
ZHANG Huanhuan，CAI Ning，JIANG Yuyi，et al. Optimization Algorithm of Road Construction Process Based on BIM and Heterogeneous Resource Environment[J].Computer Engineering and Design，2016，37(4)：1042-1050.

[8] 孙澄宇，柯勋.建筑设计中 BIM 模型的自动规范检查方法研究[J].建筑科学，2016，32(4)：140-145.
SUN Chengyu，KE Xun. Method of Automatic Design Code Checking for BIM Models[J]. Building Science，2016，32(4)：140-145.

[9] 刘照球，张吉.结构分析 BIM 模型框架和数据转换应用[J].工业建筑，2015，45(2)：178-183.
LIU Zhaoqiu，ZHANG Ji.BIM-based Structural Analysis Model and Data Conversion Application[J]. Industrial Construction，2015，45(2)：178-183.

[10] 王婷，池文婷.BIM 技术在 4D 施工进度模拟的应用探讨[J].图学学报，2015，36(2)：306-311.
WANG Ting，CHI Wenting.Discussion on the Application of BIM Technology in the Field of 4D Construction Schedule[J]. Journal of Graphics，2015，36(2)：306-311.

[11] 孙少楠，沈春.基于灰色系统理论的水利水电工程 BIM 信息交互成熟度模型研究[J].水力发电，2017，43(12)：45-48.
SUN Shaonan，SHEN Chun. Application of Gray Relevancy Method in BIM Information Interaction Maturity Model Research of Water Power Project[J]. Water Power，2017，43(12)：45-48.

[12] 张绍华，焦毅，陈钢.支持协同治理的建筑信息模型云平台建模与架构研究[J].计算机工程，2016，42(11)：95-101.
ZHANG Shaohua，JIAO Yi，CHEN Gang.Research on Modeling and Framework of Building Information Model Cloud Platform Supporting Collaborative Governance[J].Computer Engineering，2016，42(11)：95-101.

[13] 赵龙，闵世平，赵亮亮.BIM 模型在路基压实检测技术中的应用[J].铁道工程学报，2015，32(4)：36-41.
ZHAO Long，MIN Shiping，ZHAO Liangliang.Application of BIM Models in Detection Technology of Subgrade Compaction[J].Journal of Railway Engineering Society，2015，32(4)：36-41.

[14] 卫鹏，刘建坤，周前，等.大规模区外来电失去背景下电网响应机制的研究[J].电力工程技术，2016，35(3)：13-16.
WEI Peng，LIU Jiankun，ZHOU Qian，et al. Study on Grid Response Mechanism to Large-scale Outer Power Loss[J]. Electrica Power Engineering Technology，2016，35(3)：13-16.

[15] 王亚慧，张龙，韩宁.建筑电气系统故障诊断方法研究[J].计算机仿真，2014，31(2)：436-440.
WANG Yahui，ZHANG Long，HAN Ning.Research on Fault Diagnosis of Building Electrical System[J].Computer Simulation，2014，31(2)：436-440.