

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.04.008

施工进度 BIM 可靠性预测方法

李 勇

(黄淮学院 建筑工程学院, 河南 驻马店 463000)

摘 要:为实现 BIM 技术预测功能,采用可靠性理论、概率方法理论,考虑施工过程及进度影响因素的不确定性,分析了目标进度和预测进度的复杂关系,建立了施工进度随机预测模型。特别考虑了施工过程单因素影响条件,研究了单因素进度预测确定性和随机模型,以及基于单因素影响的预测进度可靠性分析方法。同时,探讨了基于 BIM 管理平台的施工进度可靠性预测集成管理方法。工程实例表明,所提方法对控制施工进度具有明显效果。

关键词:BIM 技术;施工进度;可靠性;预测模型;施工控制

中图分类号:F407.9 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)04-0051-06

Analysis on Predictive Methods of BIM Based on Construction Schedule Reliability

Li Yong

(School of Civil Engineering and Architecture, Huanghuai University, Zhumadian 463000, Henan, P. R. China)

Abstract: In order to realize the predictive function of BIM technology, the reliability theory and theoretical probability method are utilized to judge the uncertainty which exists in the process of construction. Meanwhile, the complicated relationship between construction schedule and prediction model is analyzed, the random prediction model for construction schedule is established as well. Particularly, the influencing condition about a single factor in the process of construction is taken into consideration. Determinate model and random model for construction time as well as reliability analysis method for the construction time prediction which is based on a single influencing factor are studied. At the same time, The integrated management method of reliability prediction about construction schedule which is on basis of BIM management platform is discussed. The case study shows that the proposed method has delivered dramatic results to the control of construction schedule.

Key words: BIM technology; construction schedule; reliability; prediction model; construction control.

施工进度管理关系到项目经济效益。由于施工过程的复杂性、动态性、不确定性等原因,使得工程实施中进度的预测与控制难度极大。BIM 技术和协同平台实现了工程进度和成本的可视化模拟展示,提高了进度和成本管理的效率。目前对工程进度的研究中, Bubshait 等^[1]提出进度视窗法应用于进度延误分析; Pierre 等^[2]考虑项目进度的不确定性和各工序

的资源联系,对进度的确定进行指导; Adriana 等^[3]提出了进度计划更新的模糊逻辑分析方法; Hanff 等^[4]提出基于 BIM 计算项目进度活动持续时间的模型; 李林等^[5]应用蒙特卡洛方法模拟确定进度的分布和期望; 孟文清等^[6]考虑了模糊网络的进度风险和完工概率,描述风险因素影响下工序持续时间的可能性; 中国广联达、鲁班、PKPM、斯维尔等研发

收稿日期:2013-10-20

基金项目:河南省中青年骨干教师资助计划(2012GGJS-217);驻马店市科技攻关计划(14323)

作者简介:李勇(1975-),女,博士,副教授,主要从事工程管理研究,(E-mail)li2853579@163.com。

出基于 BIM 技术的 5D 进度-成本模型软件。管昌生等^[7-8]对地源热泵地理管、抗震结构时变动力等工程有关问题的可靠度进行了深入分析研究。陆宁等^[9]对施工项目管理可靠性进行了分析研究。上述研究对施工进度的有效控制提供了很好的支持,但这些是工程进度控制模型的一般方法,目前还没有实现 BIM 施工管理平台与进度预测模型的集成系统,对实际施工进度的精细化预测、评估、控制有待于加强。笔者以 BIM 施工管理方法为基础,考虑进度及影响进度主要因素的不确定性和随机性,建立进度可靠度预测模型,探讨基于 BIM 施工管理平台的进度预测模型集成管理,以有效控制进度,优化施工资源配置,提高施工管理水平,提升建设行业效率和利润。

1 BIM 施工管理方法

BIM 即建筑信息模型,是近 10 年来在 CAD 技术基础上发展起来的一种多维(三维、n 维)模型信

息集成技术,可以使建筑物所有参与方都能够在数字虚拟的真实建筑物模型中操作信息(几何、物理和功能信息)和在信息中操作模型^[10]。BIM 具有可视化、协调性、模拟性、优化性、可出图性等特点。BIM 是数据信息的高度整合,其中模型是基础,信息是灵魂,软件是工具,协作是重点,管理是关键。

BIM 4D 施工进度管理,对工程进度形象化展示,实时模拟项目按计划“虚拟施工”,及时了解 and 管控项目进程,可进行工程部位、时间、任务类型等多维度进度分析。BIM 4D 施工进度管理融入精益建造 LC(Lean Construction)的末位计划员系统 LPS (Last Planner System)原理,强调权力下放,制定短周期(周、日)计划,运用拉动式生产方式,从后工序向前工序拉动,物流和信息流相结合,消除等待浪费,保证施工流程的连续性^[11],基于 BIM 的进度管理流程见图 1。在 BIM 4D 进度管理基础上,附加工程造价信息,形成 BIM 5D 进度-成本模型,可进行多角度的进度、成本、资源管理。

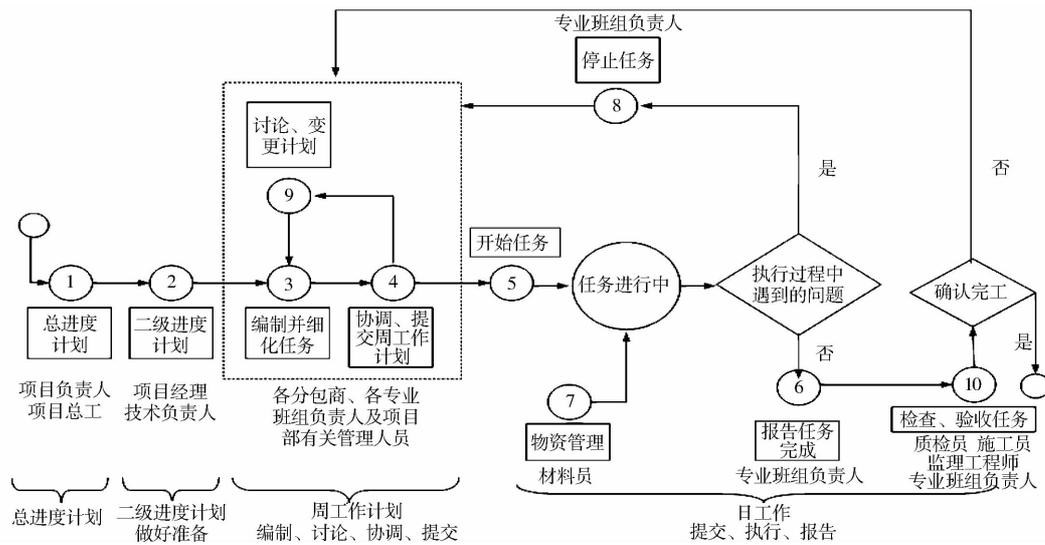


图 1 基于 BIM 的进度管理流程图

2 施工进度预测模型

2.1 影响施工进度的因素分析

影响建设工程进度的因素很多,有着不同的分类方法。归纳起来,可以综合为人的因素、物资供应、资金供应、技术水平、组织管理水平、施工条件和环境、设计变更、风险因素等 8 类^[12],主要表现如表 1。

表 1 影响施工进度的因素分类表

序号	影响因素第 1 级	影响因素第 2 级
1	人的素质	业主、设计、承包、监理、政府等
2	物资供应	供应及时性、质量、数量、规格、性能符合性

续表 1

序号	影响因素第 1 级	影响因素第 2 级
3	资金供应	工程款支付
4	技术水平	施工方案和施工技术、安全措施
5	组织管理水平	施工组织和管理水平、各方协调管理水平
6	施工条件和环境	自然环境、社会环境
7	设计变更	设计变更
8	风险因素	政治风险、经济风险、技术风险、自然灾害等

2.2 施工进度可靠性预测模型

2.2.1 预测进度模型设计 施工进度预测模型逻辑框架设计如图 2 所示,首先,将预测进度 T_V 分解成

若干个单元工作的预测进度 $T_Y^{(e)}$, 它们之间的数学关系为: $T_Y = \sum T_Y^{(e)}$, 每个单元工作预测进度 $T_Y^{(e)}$ 对应目标进度为 $T_M^{(e)}$ 。其次, 定义、计算 $T_M^{(e)}$ 、 $T_Y^{(e)}$ 的计算测度 $\|T_M^{(e)} - T_Y^{(e)}\|$ 和施工进度可靠度。其中, 控制指标在进行施工进度预测之前已确定。再次, 单元工作进度模块分析, 影响因素的概率分布, 得出进度预测表达式。最后, 将 $P(\|T_M^{(e)} - T_Y^{(e)}\|)$ 与控制指标 ϵ 进行比较, 直到满足 $P(\|T_M^{(e)} - T_Y^{(e)}\|) < \epsilon$, 输出单元工作的 $T_M^{(e)}$ 和 $T_Y^{(e)}$ 。

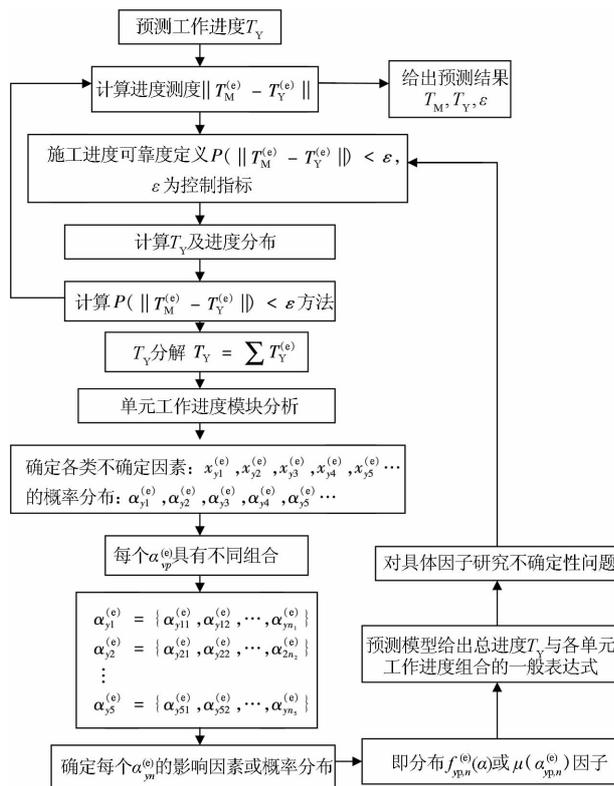


图2 施工进度预测模型逻辑设计图

2.2.2 预测进度模型 假设施工进度计划目标进度为 T_M , 预测进度为 T_Y , 影响进度的因素有 n 个, 如人、材技术、管理、环境、风险等。第 i 个影响因素 X_i 的状态值用 $x_i (1 \leq i \leq n)$ 表示, 它们构成一个影响因素的向量 $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 记目标进度为 $T_M = T_M(\vec{x})$ 、预测进度为 $T_Y = T_Y(\vec{x})$, 定义 $|T_M - T_Y|$ 为 T_Y 距 T_M 的偏离度, 记为

$$d = |T_M - T_Y|$$

预测结果有 3 种: $T_M - T_Y > 0$ 正偏离, 表示实际进度提前; $T_M - T_Y < 0$ 负偏离, 表示实际进度延迟; $T_M - T_Y = 0$ 零偏离, 表示工作按时完成。

某一影响因素发生变化对进度的影响程度称为影响度, 影响度通过综合测评来获得, 用符号 $\epsilon(\vec{x})$

表示, 预测进度的数学模型又可表示为如下形式:

$$T_Y(\vec{x}) = T_M + \epsilon(\vec{x})T_M = (1 + \epsilon(\vec{x}))T_M \quad (1)$$

式中: $|\epsilon(\vec{x})| < 1$, 根据工程进度实施情况, 通常 $\epsilon(\vec{x})$ 是一个微量。

2.2.3 确定单因素目标进度预测模型 这种情况进度预测相对较为简单。设单因素(如材料的供应量)影响进度的确定值为 v , 则由上述理论可知:

$\epsilon(v) = \delta - av \quad v \in (0, x_0)$, 其中 δ 也为微量。如果出现 $v > x_0$, 可按 $x = x_0$ 的取值, $\epsilon(v) = 0$ 。

预测进度

$$T_Y(v) = (1 + \epsilon(v))T_M = (1 + \delta - av)T_M \quad (2)$$

2.2.4 随机单因素目标进度预测模型 在施工的过程中, 假设单因素(如材料的供应量)存在随机性, 影响度 ϵ 、预测进度 T_Y 也即为随机变量。假定本因素服从期望为 μ 、方差为 σ^2 的已知正态分布, 即 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, 则由正态分布的性质和期望方差运算规则可得如下结论:

1) 影响度 $\epsilon(x)$ 取值: 服从正态分布, 记为 $E \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 。

其中: 期望 $\mu_1 = \delta - a\mu$, 方差 $\sigma_1^2 = a^2\sigma^2$ 。

2) 预测进度 T_Y 服从正态分布, 记为 $T_Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 。

其中: 期望 $\mu_2 = T_M + \mu_1 T_M = T_M + (\delta - a\mu)T_M$, 方差 $\sigma_2^2 = T_M^2\sigma_1^2 = T_M^2 a^2\sigma^2$ 。

定义一个进度功能函数 $Z(x)$, 其数学表达式为

$$Z = T_M - T_Y \quad (3)$$

$Z(x)$ 的取值分为以下 3 种情况: $Z = T_M - T_Y > 0$, 为预测进度的可靠状态; $Z = T_M - T_Y < 0$, 为预测进度的失效状态; $Z = T_M - T_Y = 0$, 为预测进度的临界极限状态。

预测进度的可靠状态和失效状态对应 2 种概率如下:

1) 预测进度处于可靠状态下的概率 $P(Z > 0)$, 称为可靠度, 通常用 P_s 表示。

2) 预测进度处于失效状态下的概率 $P(Z < 0)$, 称为失效概率, 通常用 P_f 表示。

引入可靠指标 β 来度量预测进度的可靠程度

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad (4)$$

β 与 P_f 值一一对应, β 值越大, P_f 值越小, 预测进度的可靠度就越高。

由于 $T_Y \sim N(\mu_{T_Y}, \sigma_{T_Y}^2)$, $T_M \sim N(\mu_{T_M}, \sigma_{T_M}^2)$ 利用正态分布的可加性可知 $Z \sim N(\mu_z, \sigma_z^2)$, 且相关参数关系如下:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_{T_M} - \mu_{T_Y}}{\sqrt{\sigma_{T_M}^2 + \sigma_{T_Y}^2}} \quad (5)$$

3 BIM 施工管理与进度预测模型集成

在 BIM 施工管理平台中,可显示任一单元工作的持续时间即计划开始时间、计划完成时间、实际开始时间、实际完成时间。而对实际完成时间通常是完成后手工输入,再预测本单元工作对后续施工进度影响,进而采取相应的纠偏措施,这样单元工作进度管理属于被动控制^[13-14]。

施工进度可靠性预测模型通过计算机程序,在 BIM 施工管理系统的后台实现集成^[15-17],可完成任一单元工作进度影响因素识别、进度预测、实际完成时间的定量、实时、动态的预测分析,进而进行实际完成时间修改、偏差预警分析和后续进度计划调整等,改变为单元工作进度控制的主动性和科学性,极大提高了施工进度管理水平。

BIM 施工管理与施工进度预测模型集成构架如图 3,进度集成控制系统见图 4,进度集成管理流程见图 5。

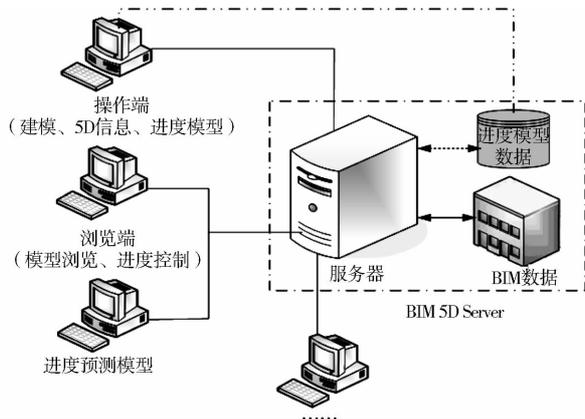


图 3 BIM 施工管理与施工进度预测模型集成构架图

4 工程实例

4.1 工程背景及 BIM 模型

天中伟业花园 12# 楼,建筑面积 10 169.36 m²,地下 1 层,地上 22 层,框架剪力墙结构,筏板基础,建筑 BIM 模型如图 6。项目总目标进度为 425 d,基础及地下室进度为 56 d,工程造价模型如图 7、8,施工进度网络计划如图 9。BIM 进度模拟分析如图 10。

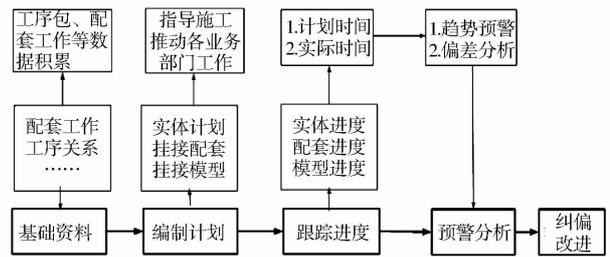


图 4 BIM 施工管理与进度预测模型集成控制系统图

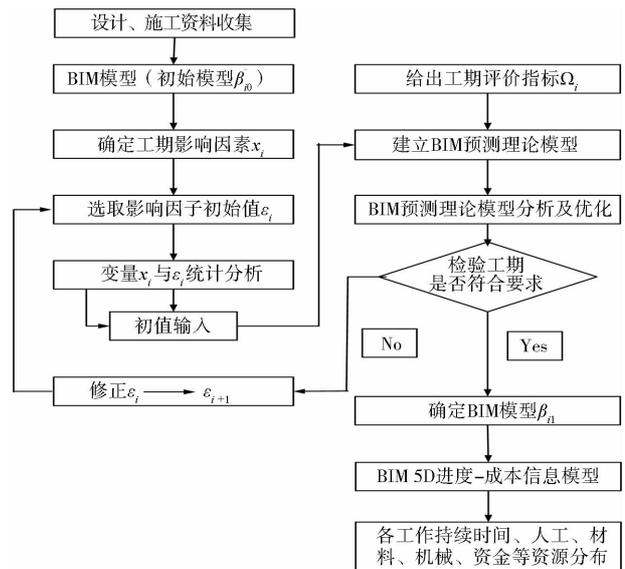


图 5 BIM 施工管理与进度预测模型集成管理流程图

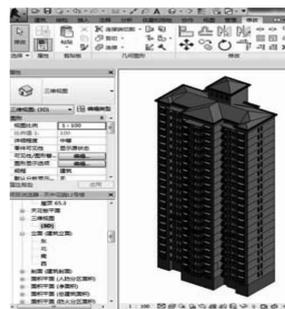


图 6 建筑 BIM 模型图

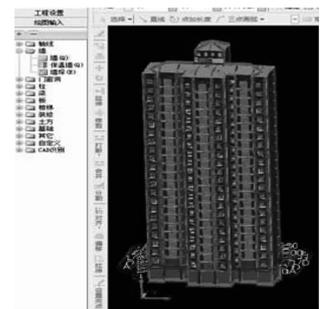


图 7 整楼造价模型图

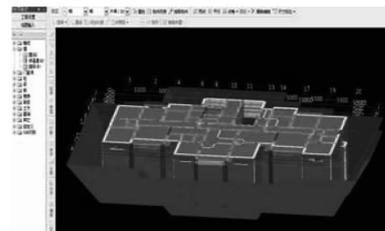


图 8 地下室造价模型图

4.2 基础及地下室施工进度预测模型

在施工过程中,以关键工作垫层、防水、筏板基础第 4 段为例,该工作持续时间为 10 d。筏板基础、

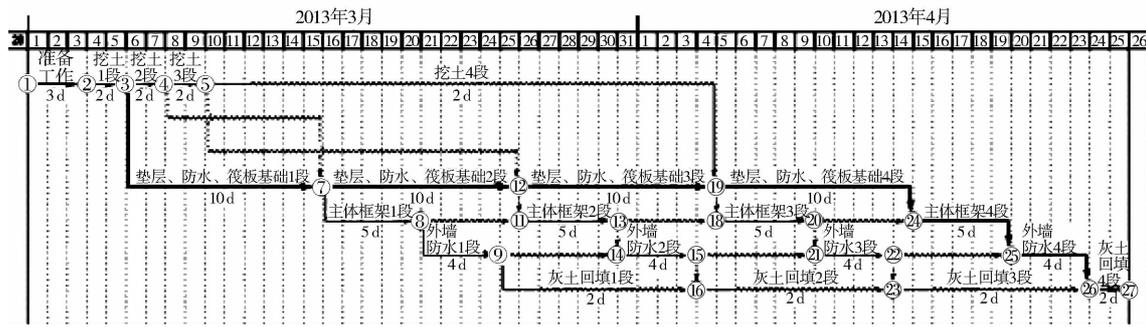


图9 基础及地下室工程施工进度计划图

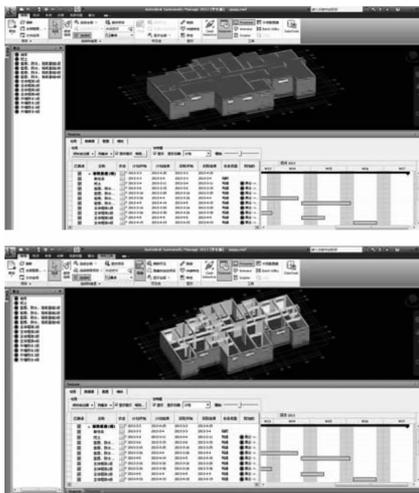


图10 BIM施工进度模拟分析图

垫层混凝土总量为 $2\,476.11\text{ m}^3$,第4段用量 619.03 m^3 。影响本工作的因素中,以商品混凝土供应为例。

商品混凝土供应情况对第4段筏板基础施工进度影响分析如下:

目标进度 $T_M = 10\text{ d}$,商品混凝土供应为随机量,根据以往商品混凝土供应统计记录得知,其服从期望 μ 为 65 m^3 ,方差为 25 的正态分布,记为 $Z \sim N(65, 5^2)$ 。影响度 $|\epsilon(x)| < \delta$,且 $\delta = 20\%$ 。

商品混凝土供应的影响度表达式为:

$$\epsilon(x) = \delta - ax = 0.2 - 0.0028x \quad x \in (0, 71.4)$$

若商品混凝土每天供应量 $x > 71.4\text{ m}^3$,则影响度 $\epsilon = 0$ 。

预测进度: $T_Y(x) = 10 + 10\epsilon(x)$ 。

T_Y 服从期望 $\mu_{T_Y} = T_M(1 + \delta - a\mu) = 10 \times (1 + 20\% - 0.0028 \times 65) = 10.18\text{ d}$,方差 $\sigma_{T_Y}^2 = T_M^2 a^2 \sigma^2 = 0.14^2$ 的正态分布,记为 $T_Y \sim N(10.18, 0.14^2)$ 。

商品混凝土供应量在 28 m^3 到 70 m^3 之间取值,记为 $x \in [28, 70]$

$T_Y(70) = 10.0\text{ d}$ 到 $T_Y(28) = 11.2\text{ d}$ 之间取

值的概率为

$$P(10.0 \leq T_Y \leq 11.2) = 0.9015$$

预测结论:按照商品混凝土供应状态,第4段筏板基础施工进度推迟 1 d 的概率为 0.9015。说明第4段筏板基础施工进度可靠性高。

5 结 语

从施工进度管理的系统性、实用性、主动性出发,围绕目标进度、实际进度、预测控制、进度优化等方面,考虑了施工过程中进度与各影响因素之间的不确定性和随机性,对进度进行可靠性数值模拟分析,建立了进度预测模型,并与 BIM 进度管理系统相集成,实现施工进度、人工、材料、设备、成本等资源实时、科学的动态管理和优化控制,弥补了现有进度信息管理系统循环周期过长、人为主观性的缺陷,极大提高了建筑施工进度和施工管理决策的科学化,丰富和拓展了 BIM 进度管理系统的研究,为施工进度动态管理提供了新的理论、途径和方法。当然,影响进度的不同单因素由于实际特点不同,计算时考虑的情况会有所差别,这个将在后续研究中进一步深化。

参考文献:

- [1] Bubshait A A, Cunningham M J. Comparison of delay analysis methodologies [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1998, 124(4): 315-322.
- [2] Bonnal P, Gourc D, Lacoste G. Where do we stand with fuzzy project scheduling? [J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2004, 130(1): 114-123.
- [3] Adriana V, Ordóñez O, Aminah R F. Fuzzy logic approach for activity delay analysis and schedule updating [J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2005, 131(1): 42-51.
- [4] Tulke J, Hanff J. 4D construction sequence planning-new process and data model [C]//Proceedings of CIB-W78 24th International Conference on Information

- Technology in Construction. Maribor, Slovenia, 2007: 79-84.
- [5] 李林, 李树丞, 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, 19(5): 77-81.
Li L, Li S C, Wang D P. Based on risk-analysis' estimating method of project's duration [J]. Systems Engineering, 2001, 19(5): 77-81.
- [6] 孟文清, 张立宁, 李万庆. 基于模糊网络的工程项目工期风险评估研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, 22(2): 73-75, 79.
Meng W Q, Zhang L N, Li M Q. Research on engineering project duration risk based on fuzzy network [J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science & Technology, 2005, 22(2): 73-75, 79.
- [7] 管昌生, 刘卓栋, 陈绪义. 地源热泵埋管随机热阻及可靠性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2010(3): 70-72, 82.
Guan C S, Liu Z D, Chen X Y. Reliability and random thermal resistance analysis on buried pipe of ground source heat pump [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010(3): 70-72, 82.
- [8] 管昌生, 陈绪义. 考虑参数随机特征的地源热泵换热器可靠性设计[J]. 暖通空调, 2010, 40(2): 73-75, 9.
Guan C S, Chen X Y. Reliability design of GSHP exchangers considering parameter random characteristics [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40(2): 73-75, 9.
- [9] 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, 140.
Lu N, Liao X H, Wang W, et al. Comprehensive control technique of reliability in large construction project management [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(2): 132-134, 140.
- [10] 何关培. BIM 在建筑业的位置、评价体系及可能应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(1): 109-116.
He G P. BIM position in AEC industry, its measurement system and possible uses [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2010, 2(1): 109-116.
- [11] 刘艳, 陆惠民. 精益建造体系下可持续建设项目管理研究[J]. 工程管理学报, 2010, 24(4): 432-436.
Liu Y, Lu H M. Sustainable construction project management under lean construction [J]. Construction Management Modernization, 2010, 24(4): 432-436.
- [12] 中国建设监理协会. 建设工程进度控制[M]. 北京: 知识产权出版社, 2013: 33-37.
- [13] 何清华, 韩翔宇. 基于 BIM 的进度管理系统框架构建和流程设计[J]. 项目管理技术, 2011, 9(9): 96-99.
He Q H, Han X Y. Schedule management system framework based on BIM building and process design [J]. Project Management Technology, 2011, 9(9): 96-99.
- [14] 马新利. 基于 BIM 技术的建设工程施工进度动态控制的探讨[J]. 门窗, 2012(9): 287, 289.
Ma X L. Based on BIM technology for the construction of the engineering construction progress dynamic control [J]. Door & Windows, 2012(9): 287, 289.
- [15] Hewage K N, Ruwanpura J Y. A novel solution for construction on-site communication-the information booth [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2009, 36(4): 659-671.
- [16] Sacks R, Treckmann M, Rozenfeld O. Visualization of work flow to support lean construction [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2009, 135(12): 1307-1315.
- [17] Aram S, Eastman C, Sacks R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain [J]. Automation in Construction, 2013, 35: 1-17.

(编辑 王秀玲)