

# 基于建筑信息模型的施工阶段进度-成本协同管理研究

张润沂<sup>1</sup>, 郭炎乐<sup>2</sup>, 付建华<sup>2</sup>, 李红玲<sup>3</sup>

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉市工程建设标准定额管理站, 湖北 武汉 430020;

3. 武汉宾孚建设工程顾问有限公司, 湖北 武汉 430050)

**摘要:** 建设项目施工进度与成本目标值分配及控制是达成项目综合目标的关键工作之一, 但由于相关计划活动数量众多且关联性强的特点, 形成了工作精度要求高和工作难度大的矛盾和瓶颈问题。在深入分析该问题的基础上, 利用 BIM 软件的搜索算法, 准确快速地提取相关计划活动的工程量; 然后依据合同单价, 计算相关活动成本; 并运用 5D-BIM 针对性地研发出改进的挣值绩效计算软件, 结合进度管理模块和成本管理模块, 形成进度-成本协同管理平台; 将成本-进度信息输入平台内, 能准确生成挣值曲线, 提供施工阶段进度-成本协同管理决策信息。实证分析结果表明, 该方法能提高项目管控效率与联动性, 提供更加有效的辅助决策支持。

**关键词:** 进度-成本协同管理; 5D-BIM; 施工阶段; 改进挣值法; 挣值曲线

中图分类号: TU714

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2021)02-0302-07

## Research on joint management of schedule and cost based on BIM in construction stage

ZHANG Runyi<sup>1</sup>, GUO Yanle<sup>2</sup>, FU Jianhua<sup>2</sup>, LI HongLing<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan Engineering Construction Standard Quota Management Station, Wuhan 430020, China;

3. Wuhan Binfo Construction Engineering Consulting Co., Ltd, Wuhan 430050, China)

**Abstract:** The allocation and control of the construction's schedule and cost target value in the construction project is one of the key tasks to achieve the overall project objectives. However, due to the large number of related planned activities and the strong correlation, the contradiction and bottleneck of high precision and difficult work has been formed a problem. Based on the in-depth analysis of the problem, using Revit's search algorithm to get the quantities of the relevant planned activities accurately and quickly. Then calculating the relevant activity costs based on the contract unit price; Using 5D-BIM to develop improved earned value performance calculation software, combined with schedule management module and cost management module, forms a schedule-cost collaborative management platform; Inputting cost-schedule information into the platform, accurately calculate and generate earned value curve, and provide construction stage schedule-cost collaborative management decision information. The empirical analysis results show that this method can improve the efficiency and linkage of project management and control, and provide more effective auxiliary decision support.

**Key words:** joint management of schedule and cost; 5D-BIM; construction stage; improved earned value method; earned value curve

进度与成本是传统建设项目管理的重要组成部分, 两者在施工过程中密切相关、相互影响<sup>[1]</sup>。传统建设项目管理模式通常侧重于将两者分别进行控制, 但在建筑工业化和信息化环境中, 加之建设工程项目施工阶段面临复杂情况, 传统管控模式会导致建设项目管理的碎片化、割裂化, 缺乏信息联动性。因此, 亟需开展施工阶段的进度与成本协同管理研究, 以提高建设项目管理效率。

如何将建设项目的进度控制与成本控制进行集成, 现有的研究已经十分广泛。徐洪刚<sup>[2]</sup>等就从系统的角度, 利用集成控制论, 将成本与进度集成控制; Teicholz<sup>[3]</sup>等以百分比分配概念, 在成本分解结构(CBS)和工作分解结构(WBS)之间定义了一种映射机制。尽管传统的进度-成本集成理论已经十分丰富, 但是建设项目中的信息共享度低、共享慢而导致的进度延误、成本超支的情况仍普遍

收稿日期: 2020-08-24

修改稿日期: 2021-03-17

基金项目: 2019 年武汉市城建局科技计划项目(201957)

第一作者: 张润沂(1995—), 男, 硕士生, 主要研究土木工程建造与管理。E-mail: 1789589763@qq.com

存在。BIM 技术作为信息化管理的工具为建设项目的管理提供了新思路。由于其能够有效集成建设项目的进度信息和成本信息,有学者建立了 5D-BIM 进度-成本协同管理信息平台<sup>[4]</sup>,借助平台功能实现了两者的集成。虽然,BIM 技术的应用使得建设项目信息集成和协同共享度更高<sup>[5]</sup>,但是两者的联动性仍然不强,施工过程中进度与成本信息缺乏有效的监控、反馈及预警。因此,若能在 5D-BIM 平台基础之上加入一个挣值分析管理模块,利用挣值法生成的挣值曲线作为进度-成本的管控依据,将能有效提高项目管理效率。

对建设项目成本及进度信息进行挣值分析的核心就是将建设项目成本精确分配到各个计划活动中。然而,由于不同工程的计划活动相互关联,在不同的计划活动中的成本分配是十分复杂、耗时且容易出错的<sup>[6]</sup>。为了降低将成本分配复杂性,项目管理人员通常会设定里程碑任务,即通过将许多相关活动的成本相加来获得与该里程碑任务相关的活动总成本,再利用里程碑节点开发挣值曲线。尽管这种简化的方法可以节省时间,但是这种粗略的挣值曲线只能得到某个固定时间点的建设项目进度-成本信息,会降低建设项目的进度控制与成本控制的精度。因此,本研究利用 Revit 的一种搜索算法解决计划活动中复杂的成本分配问题;并且开发改进的挣值绩效计算软件,生成挣值曲线、计算进度以及成本偏差,用于建设项目进度-成本动态协同管理。

根据以上研究思路,本文依据 5D-BIM 的概念建立进度-成本协同管理平台,并加入挣值分析模块;在此基础上,利用 Revit 的一种搜索算法解决计划活动中复杂的成本分配问题;最后,利用改进的挣值绩效计算软件生成挣值曲线,实现了建设项目进度-成本协同管理并进行实证分析,为解决建设项目进度-成本联合管理问题提供方法支持。

## 1 基于 BIM 的进度-成本协同管理平台分析

要将进度与成本进行协同管理,需将成本信息与进度信息进行集成,并进行两者的监控、计算以及预警。因此,本文以常规 BIM-5D 平台的概念为基础,再加入挣值分析管理模块,以实现建设项目进度-成本信息集成、监控和计算的协同管理平台。

### 1.1 协同管理平台架构

本文结合 BIM 技术构建建设项目施工阶段进度-成本协同管理信息平台,该平台以广联达 BIM-

5D 软件为基础,并结合计价软件、Revit 等对项目施工阶段的成本以及进度进行集成管理,平台架构如图 1 所示。

平台共有三个功能模块:进度信息管理模块、成本信息管理模块以及挣值分析管理模块。采用广联达 BIM-5D 软件作为 BIM 服务器,通过建模软件生成初始 BIM 模型,其他模块功能如下:

(1)进度模块主要功能包括:进度控制与进度分析。在施工准备阶段进行施工模拟,提前对建设项目中可能遇见的施工问题进行预警。

(2)成本模块主要功能包括:成本分析与成本核算。用于成本计划编制,并提取相关计划活动的工程量,为后续挣值计算提供数据输入。

(3)挣值分析模块主要功能包括:挣值计算和偏差检测。用于将进度信息和将成本信息导入后,生成初始进度-成本信息模型;其次,通过挣值分析模块对项目绩效进行计算;最后,将分析结果反馈给平台,管理人员依据分析结果调整成本及进度计划。

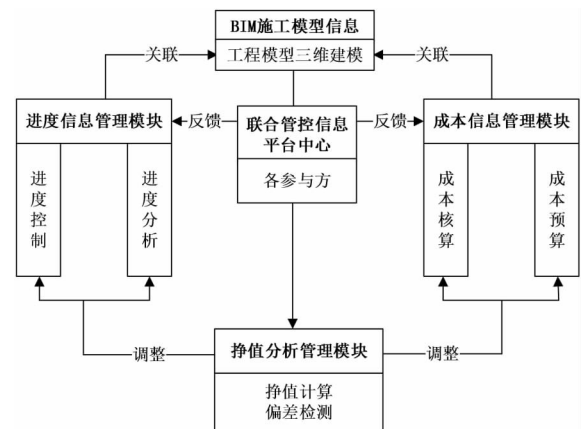


图 1 进度-成本协同管理平台架构

Fig. 1 The architecture of schedule-cost collaborative management platform

### 1.2 进度-成本信息集成流程分析

在建立协同管理平台后,将对整个进度-成本信息集成的关键步骤进行梳理,这是利用 BIM 进行施工阶段进度-成本管控的必要前提,主要包括以下三个步骤:

#### (1)3D 模型建立

BIM 模型采用关联性来描述建筑单元,以墙、窗、梁、柱等建筑构件而为基础对象,并将建筑单元的各种真实属性通过参数的形式进行模拟,进行相关数据信息描述<sup>[7]</sup>。

#### (2)WBS 分解及成本预算编制

WBS 应把项目的控制范围、任务、目标以及

控制要求等, 分解成可满足要求的基础工作单元. 在完成项目 WBS 后, 统计各规定各工程量的综合单价, 完成项目的成本预算编制.

### (3) 基于 5D-BIM 的进度-成本模型关联

把项目的各个活动集合的持续时间、工程量以及费用进行定义以后, 将每个集合赋予相应的 WBS 编码, 最后根据工程量清单与项目进度计划之间的对应关系, 建立项目进度信息和成本信息之间的联系, 如图 2 所示.

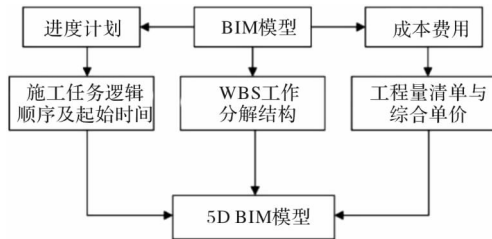


图 2 基于 5D-BIM 的进度-成本模型关联

Fig. 2 Schedule-cost model correlation based on 5D-BIM

### 1.3 挣值模块分析

挣值分析是对建设项目进行进度-成本协同管理的核心环节. 本平台建立的挣值分析模块的两个功能由 Autodesk Revit 和本文开发的一个建设项目进度-成本目标偏差实时动态测算软件来实现. 前者的主要功能是对各个计划活动进行成本分配; 后者的主要功能则是对成本-信息数据进行计算和监控, 以下对该模块功能进行详细介绍.

(1) 挣值指标计算: 利用 BIM 的一种搜索算法, 完成计划活动的成本分配后, 从平台将每个计划活动工程量、预算单价等相关信息导出; 整理后, 再导入到开发的测算软件中, 软件可以自动计算该建设项目某阶段的挣值指标, 并生成计划工作预算费用 (BCWS)、已完工作的实际费用 (ACWP)、已完工作的预算费用 (BCWP) 三条挣值曲线, 用以判断项目当前的成本与进度状况.

(2) 偏差检测: 软件生成挣值指标后, 会自动与现阶段项目的实际情况对比, 将项目的进度偏差和成本偏差以进度绩效 (SPI) 与成本绩效 (CPI) 的形式表示. (SPI < 1, 进度落后; SPI > 1, 进度提前; CPI 的判段与 SPI 类似). 并且会根据当前的项目进度, 计算按照此进度, 项目的预计工期, 用于项目管理者对建设项目进度的宏观把控.

依据项目当前的进度状况, 在“项目绩效判断”区域的“进度判断”判断框内会显示“进度提前”、“进度落后”或“进度持平”. 同样在“成本判断”框内, 会显示“成本超支”、“成本节约”或者“成本持平”三种状态. 图 3 显示了软件生成挣值指

标的部分界面.

图 3 挣值绩效界面

Fig. 3 The Interface of earned value performance

## 2 项目活动的成本分配与挣值曲线建立

对建设项目进行成本-进度协同管理的关键是将项目成本精确地分配给每个计划活动, 并利用挣值法计算各个挣值挣值指标, 生成挣值曲线. 本节说明将如何进行成本分配以及依据成本分配的结果建立挣值曲线.

### 2.1 计算活动成本

表 1 给出了成本估算表的部分内容, 该表包括项目编码、名称、单位、数量、单价以及总费用. 下面通过一个活动 a“放置一楼横梁/楼板的钢筋”, 来说明成本如何进行成本分配.

假设完成活动 a 分别需要 5 t 10 以内Ⅲ级钢筋和 10 t 10 以外Ⅲ级钢筋, 则活动 a 的总成本 C 即为两个成本项目的总和:

$$C = 5 \times 4\,560 + 10 \times 4\,209 = 270\,090 \quad (1)$$

表 1 成本估算表部分内容

Tab. 1 The part of the cost estimate table

编码	名称	单位	数量	单价 /元 · t <sup>-1</sup>	总费用 /元
C01267@2	钢筋(Ⅲ级 10 以内)	t	30.208	4 560	137 747.75
C01267@3	钢筋(Ⅲ级 10 以外)	t	52.774	4 209	222 126.23
C00054	水泥(C30)	t	672.812	350	235 484.05

实际上对于一个活动的成本计算的复杂度取决于其含有的相关成本项目的多少. 当一个活动涉及到许多成本项目, 同时计算多个不同活动的成本时, 整个计算过程将变得十分复杂且容易出错; 并且, 确定不同活动之间的成本分配将变得十分耗时. 因此, 若采用 BIM 技术对活动的成本项目进行提取, 将大大减少计算时间并且提高准

确率。

## 2.2 挣值曲线的建立

挣值曲线的建立是在进度曲线(S曲线)的基础上进一步延伸, 因此本节先介绍S曲线建立过程, 则挣值曲线地建立也可依据同样的原理而得到。

### 2.2.1 S曲线的建立

进度曲线(S曲线)是累积进度随时间变化的图形表示, 其纵坐标表示累积的项目进度(用已完成百分比表示), 横坐标表示时间, 一般用于控制建设项目的进度。衡量项目的进度通常采用加权的方法, 即活动的百分比权重乘以活动的完成百分比。由于赋权的过程是相对主观的, 因此需计算相关计划活动的成本, 然后转换为百分比(预算成本除以总成本)来确定项目进度。所以, 必须在衡量进度时确定相关活动成本。以下说明如何建立一个S曲线。

图4中包含三个项目活动,  $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_3$ 。假设每个活动的成本在活动的持续期间内均匀分配, 则一项活动的每日费用, 等于该活动的总费用  $C$  除以活动的持续时间  $t$ 。那么, 每日总费用是当天安排的活动的每日费用之和, 即:

$$C = (C_1/t_1) + (C_2/t_2) + (C_3/t_3) \quad (2)$$

特定日期的累计成本则是从第一天到该天所有成本的总和。通过将累积成本除以项目总成本, 累积成本也可以表示为累积百分比。最后, 以累积成本的百分比为依据绘制, 则可以得到相对于时间的进度曲线。

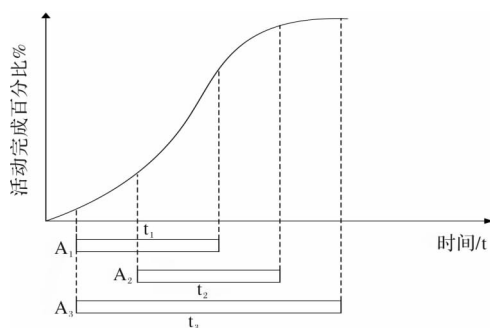


图4 进度曲线

Fig. 4 The curve of schedule

### 2.2.2 建立挣值曲线

挣值法通常用计划工作的预算费用(BCWS)、已完成工作的预算费用(BCWP)、已完成工作的实际费用(ACWP)三个参数来表示建设项目的成本与进度的状况。

(1)成本偏差  $C_v$

$$C_v = BCWP - ACWP \quad (3)$$

$C_v < 0$ , 成本超支;  $C_v < 0$ , 成本节约;  $C_v = 0$ , 成本平衡;

(2)进度偏差  $S_v$

$$S_v = BCWP - BCWS \quad (4)$$

$S_v < 0$  进度落后;  $S_v > 0$ , 进度提前;  $S_v = 0$ , 进度平衡;

依据构建S曲线的原理, 同样可以用来绘制出挣值曲线; 图5为绘制的挣值曲线, 由BCWS的定义可知, 已建立的S曲线与BCWS曲线为同一条曲线。

由图5可知, 在活动  $A_1$  结束时, 图中的  $S_v < 0$ ,  $C_v < 0$ , 故该时间点建设项目的进度落后, 成本超支。如此, 挣值曲线的建立将建设项目的进度控制与成本控制进行了有效集成, 项目管理人员可以依据挣值曲线来判断项目进度与成本的状态, 便达到了进度-成本协同管理的目的。

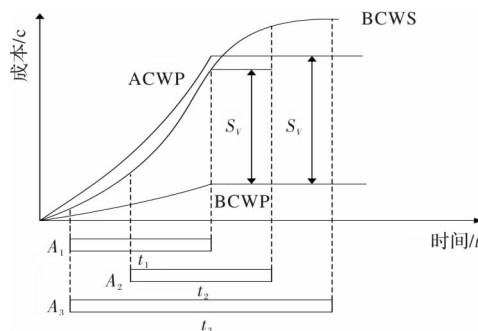


图5 挣值曲线

Fig. 5 The curve of earned value

## 3 协同管理方法

本研究提出了一种基于BIM技术来建立挣值曲线以达到建设项目进度-成本协同管理的方法。其主要步骤包括: (1)建立BIM模型, 并将成本与进度信息进行集成; (2)采用开发的搜索算法提取相关项目活动的工程量; (3)计算活动成本; (4)利用开发的进度-成本动态软件建立挣值曲线。因(1)已在本文第一节中进行介绍, 故不再赘述。

### 3.1 BIM模型的信息参数设置

已经建立的BIM对象都可以与相关的成本项目相关联, 例如: 钢筋、混凝土等。每个BIM对象都应包含以下几个设计参数: (1)几何参数和附加设计参数: 用于提取每个BIM对象中的工程量; (2)成本项目参数: 用于识别与BIM对象相关的成本项目。

#### 3.1.1 几何参数和其他设计参数

几何参数的数据用来进行BIM对象涉及到的成本项目的工程量计算, 如: 计算混凝土工程量

可以从体积(体积=长×宽×高)进行计算;计算模板面积则可以从面积(面积=长×宽)进行计算.但是有些成本项目无法直接用设计参数计算,如:嵌入墙体內的钢筋数量.此时可以用其他设计参数,如:钢筋层之间的水平和垂直间距、钢筋层的数量、钢筋层的数量等;利用其他参数间接算出无法直接计算的成本项目.

### 3.1.2 成本项目参数

本文采用 Navisworks 软件中 Quantification 模块的目录模板来创建 BIM 对象的唯一识别参数.其有项目目录和资源目录两种管理资源,项目目录依据国标清单,定义项目的 WBS 编码及结构,以确定当前项目的分解形式;在资源目录里根据定义项目的 RBS(资源分解结构)编码,以确定各构件的材料资源,如混凝土型号和钢筋型号等.设置好后,将 BIM 对象与目录中的名称一一进行映射,避免由于构件参数设置不同造成的映射混乱.

### 3.2 利用搜索算法提取相关活动工程量

在进行搜索之前必须确定相关成本项目的搜索标准.本研究提出的搜索算法针对不同类型的计划活动定义了各种搜索条件(按楼层, BIM 对象,成本项目等).以活动 a“放置一楼横梁/楼板的钢筋”为例来说明搜索步骤.活动 a 中涉及两个 BIM 对象横梁和楼板,且涉及到两种钢筋,则每种 BIM 对象的钢筋工程量提取步骤如下:

(1)搜索“10 以内Ⅲ级钢筋”,搜索条件“一楼”,“横梁”;

(2)设定数量计算公式,计算钢筋的数量;

(3)对“横梁”的另一个成本项目“10 以外Ⅲ级钢筋”重复步骤(1),(2);

(4)对另一个 BIM 对象“楼板”的成本项目“10 以内Ⅲ级钢筋”,重复步骤(1),(2);

(5)对“楼板”的另一个成本项目“10 以外Ⅲ级钢筋”,重复步骤(4);

### 3.3 计算活动费用

将计算的成本项目的工程量整理并储存在 Excel 文件中,以便后续计算每个活动的成本.本研究采用广联达计价软件来进行计算.将 Excel 文件上传到软件后,检索每个成本项目的单价,通过将“单价×工程量”的形式来计算其成本.最后,将所有成本项目汇总,得到每个活动的总费用.

### 3.4 建立挣值曲线

将软件计算的活动成本输出到 Excel 文件进行汇总整理;基于一项活动的成本在整个活动期间

内均匀分配的假设,则活动的每日费用等于该费用除以活动时间.值得注意的是,这些活动成本为直接成本,所有活动的成本之和是一个项目的直接总成本<sup>[8]</sup>.对于项目的间接成本,可以认为每个间接成本都可以与一个虚拟活动相关联,则其在整个活动期间内均匀分配;也就是说,间接成本不影响挣值曲线的生成.

本研究开发了一个挣值绩效计算软件可以用来生成挣值曲线,并计算项目的进度偏差和绩效偏差(软件部分界面见图 6);将相关数据导入后,即可得到项目的挣值曲线.由于传统的挣值法应用是基于项目完成总工程量分析计算得出的结果,没有对关键线路上的工序进行单独控制分析,存在一定的缺陷,不能够反映项目的实际情况.因此,该软件是基于改进的挣值法而开发.

即对拟分析的施工过程中某一段计划活动的进度-成本具体情况时,利用 Project 软件识别其中的关键线路,并对关键线路上的活动的成本以及进度状况运用挣值法进行计算.

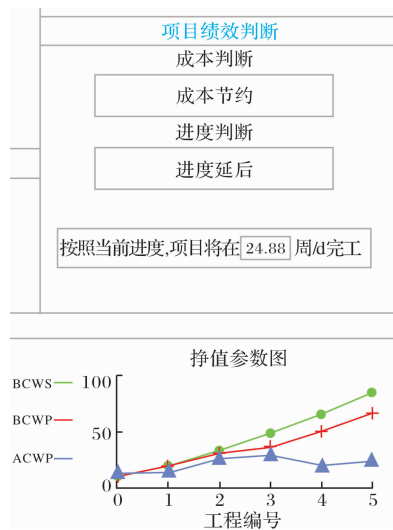


图 6 软件部分界面截图

Fig. 6 The screenshot of part of the software interface

## 4 实证分析

### 4.1 项目概况

选取某建设项目的土建工程作为研究对象展开分析,该建筑物长 47.5 m,宽 18.2 m,高 9.1 m,研究区域包括:基础层、首层、第二层以及屋面层.

### 4.2 进度-成本协同管理

将该项目中土方工程的相关数据导入到进度-成本联合管理平台中,对项目的 2018 年 6 月-2018 年 7 月的数据进行分析,依据施工计划进度安排,选择关键线路上的四个观测点.点 1:6 月 23 日;



点 2: 6 月 26 日; 点 3: 6 月 30 日; 点 4: 7 月 3 日。利用生成的挣值分析曲线图(图 7), 能更直观地了解项目的偏差情况。依据工程经验, 设置偏差阈值为  $a=5\%$ ,  $b=6\%$ 。(a 和 b 分别指的是在进行进度绩效(SPI)偏差计算和成本绩效(CPI)偏差计算时, 允许项目在偏差范围内而不采取纠偏措施的最大阈值)

将相关信息从协同管理平台的进度信息模块以及成本信息模块中提取并导入到挣值分析模块中, 经软件处理后可以得到挣值指标以及挣值曲线图, 选取点 1(2018 年 6 月 23 日)进行分析:

表 2 观测点 1 的挣值指标

Tab. 2 The earned value indicator for observation on point 1

观测点 1	SV	CV	CPI	SPI
改进挣值指标	-22 206.19	-26.44	1.00	0.80
普通挣值指标	-201 245.36	-1 110	0.82	0.92

生成的挣值曲线图如图 7 所示, BCWP 对应  $C_E^*$ ; BCWS 对应  $C_B^*$ ; ACWP 对应  $C_A^*$

分析改进的挣值指标可得:

$$SPI^* = 0.80 < 1 - a = 0.95 \quad (5)$$

$$1 - b = 0.94 < CPI^* = 0.80 < 1 + b = 1.06 \quad (6)$$

$SPI^*$  表明该阶段的进度滞后, 成本持平, 且需要采取纠偏措施加快项目进度。

项目管理者可根据平台提供信息及时找出偏差原因, 并修改施工计划。实际情况表明, 由于基坑开挖时, 基坑质量未达到要求, 因此导致返工, 导致工期拖延, 而此时成本并未超支。

若按照传统的挣值法对建设项目成本-进度信息进行分析, 经计算可得:

$$SPI = 0.92 < 1 - a = 0.95 \quad (7)$$

$$CPI = 0.82 < 1 - b = 0.96 \quad (8)$$

表明该阶段的进度滞后, 成本超支, 且需要同时采取纠偏措施加快项目进度, 减少成本开支。

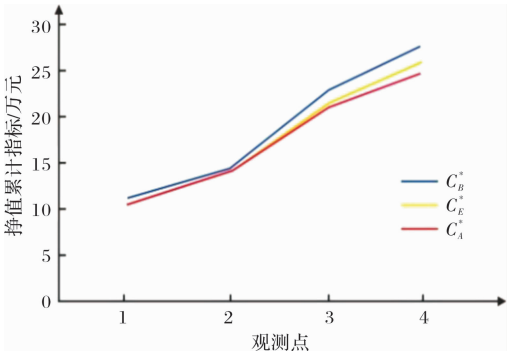


图 7 挣值指标分析

Fig. 7 The analysis of earned value indicator

由上述结果可知, 传统的挣值法在此时面临

失效, 会给项目决策者带来错误的信息, 使得决策失误。若根据传统挣值法的计算结果, 项目管理者需采取多项措施, 既要对成本也要对进度进行纠偏; 但是, 此时成本并没有超支, 对成本的纠偏措施造成了项目建设资源的浪费, 降低了项目的管理效率, 而本研究的模型更能符合项目实际情况, 为决策提供有效支持, 提高项目的管理效率。

5 结论

(1) 本文依据挣值法开发的改进挣值绩效计算软件, 用于生成挣值曲线以及成本进度判断。该软件功能可靠, 计算高效, 提高了建设项目的进度及成本控制的精度。

(2) 基于活动和成本项目之间的关系, 所提出的模型定义了搜索算法中的应用的标准, 精确识别要提取工程量的 BIM 对象, 减少了工程量提取的时间, 提高了成本分配的准确性。

(3) 本文结合 Revit、Project、BIM-5D 等软件, 在传统的管控平台之上加入了挣值模块, 提出了新的成本-进度协同管理平台, 并形成了有效的进度-成本协同管理方法。实证分析结果证明, 该方法能对建造过程中的成本、进度信息起到良好的监控效果, 提供更加直观的决策信息, 具有推广价值。

参考文献 References

[1] 陈祥赞,董娜,熊峰,等. 基于 BIM 的某项目进度与成本控制研究[J]. 施工技术, 2014, 43(S2): 580-583.  
CHEN Xiangyun, DONG Na, XIONG Feng, et al. Research on Schedule and Cost Control of a Project Based on BIM, [J]. Construction Technology, 2014, 43(S2): 580-583.

[2] 徐洪刚,胡鹏飞. 工程项目成本、进度、质量集成控制的研究[J]. 科技管理研究, 2006(3):132-133.  
XU Honggang, HU Pengfei. Research on integrated control of cost, schedule and quality of engineering project[J]. Science and Technology Management Research, 2006(3):132-133.

[3] TEICHOLZ, P M. Current needs for cost control systems. In Project controls; needs and solutions [J]. ASCE,1987, 47-57.

[4] 毕磊,于水,丁琼,等. 基于 5D-BIM 的高桩码头工程施工进度-成本实时控制[J]. 水运工程, 2017, (3): 189-193.  
BI Lei, YU Shui, DING Qiong, et al. Duration and cost real-time control of high-piled wharf construction

- based on 5D-BIM. [J]. Port&Waterway Engineering, 2017, (3): 189-193.
- [5] 黄建文,毛宇辰,王东,等. 基于 BIM 的碾压混凝土坝施工进度-成本协同管理[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(5): 66-72, 88.  
HUANG Jianwen, MAO Yuchen, WANG Dong, et al. Construction schedule-cost joint control of RCC dams based on BIM[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(5): 66-72, 88.
- [6] WANG K C, WANG W C, WANG H H, et al. "Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves." Automation in Construction 72 (2016): 397-410.
- [7] 胡长明,熊焕军,龙辉元,等. 基于 BIM 的建筑施工项目进度-成本联合控制研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2014, 46(4): 474-478.  
HU Changming, XIONG Huanjun, LONG Huiyuan, et al. Research on schedule-cost joint control of building construction project based on BIM. [J]J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2014, 46(4): 474-478
- [8] 陈伟,武亚帅,邹松,等. 基于 SEM 的装配式建筑建造成本影响因素分析[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(5): 50-55.  
CHEN Wei, WU Yashuai, ZHOU Song, et al. Construction cost factor analysis of prefabricated building based on structural equation model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 36(5): 50-55
- (编辑 桂智刚)

---

(上接第 274 页)

- LI Shuting, WANG Yuequn, ZHOU Kun. Study on the Construction Mode of "Land-saving Type" Campus Building Space [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2010(12): 45-48.
- [12] NICK M, SHARON W. Future Schools: Innovative Design for Existing and New Buildings [M]. RIBA Publishing, 2015, 45-50.
- [13] 黄明华,杨郑鑫,巩岳. 县城义务教育阶段学校适宜性指标体系研究[J]. 城市规划, 2011(4): 78-82  
HUANG Minghua, YANG Zhengxin, GONG Yue. Research on the school suitability index system of county compulsory education [J]. City Planning, 2011 (4): 78-82.
- [14] 邹广天. 建筑计划学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
ZOU Guangtian. Architectural planning [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.
- [15] CORDUA Christian H, MONGE David J, et al. The Open City and the School[J]. Architecture and Design, 2015, 85(2): 34-39
- [16] 王枫. 面向 2035 的中小学智慧学校建设: 内涵、特征与实践[J]. 中国教育学刊, 2018(9): 66-68.  
WANG Feng. 2035 Primary and middle school smart school construction: connotation, characteristics and practice [J]. Chinese Journal of Education, 2018 (9): 66-68
- (编辑 桂智刚)