

基于 BIM 技术的桥梁工程施工成本控制

陈宝健¹, 范冰辉², 刘益宝²

(1. 福建船政交通职业学院 管理工程系, 福建 福州 350007;

2. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘要: 将建筑信息模型(BIM)技术结合动态纠偏成本控制理论,提出基于 BIM-5D 的挣得值分析法。该方法包括三维模型创建、BIM-5D 工程量统计、挣得值参数计算及 S 型曲线分析等过程。将该方法应用于对某跨海大桥的施工成本分析。结果表明,该方法准确反映了项目的成本控制水平,揭示了影响成本控制的因素,并针对性地提出了成本纠偏的措施。

关键词: 桥梁工程;成本控制;动态纠偏;BIM;挣得值

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2019)03-0236-06

Cost control of bridge construction based on BIM technique

CHEN Baojian¹, FAN Binghui², LIU Yibao²

(1. Department of Management Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China;

2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: A BIM-5D based earned value analysis method was proposed, combining the building information model (BIM) technique with the dynamic correction of cost control theory. The method consists of three-dimensional model building, BIM-5D engineering statistics, earned value parameter calculation and S-shaped curve analysis. The method was applied to the construction cost analysis of a cross-sea bridge. Results indicate that, the method accurately reflects the cost control level of the project, reveals factors affecting the cost control and puts forward the cost correction measures.

Keywords: bridge engineering; cost control; dynamic correction; BIM; earned value

当前,许多桥梁施工单位由于成本控制工作不规范、系统化程度低下,无法明确区分整个成本控制的重点、关键点和一般点,难以实现施工成本的精确控制。BIM 技术作为一个重要的工程信息化工具,将项目信息的收集、管理、交换、更新、储存集成在一个平台上,让项目的不同阶段、不同参与方以及相关应用软件都可以在平台上实现信息的实时交流和共享,从而实现项目规划、设计、施工、运营、维护的全生命周期管理,提高项目工作效率和工程质量^[1]。目前,BIM 技术在桥梁工程上主要运用于桥梁设计阶段与施工阶段的桥梁建

模、碰撞检查、钢筋设计、工程量统计、施工模拟等。实践证明,BIM 技术可以实现项目设计阶段的可视化展示,大幅提高施工图纸质量,提升设计与施工效率^[2-4]。虽然 BIM 技术在桥梁施工与设计阶段已经有相关研究,但是在桥梁成本优化方面的研究则相对较少。

本文结合施工成本动态控制的基本原理,研究 BIM 技术在桥梁施工成本中的应用,并通过案例分析探讨基于 BIM 的施工成本控制的优势和适用性。

1 基于 BIM 技术的桥梁工程施工成本控制方法

1.1 施工期间成本控制方法

施工阶段成本控制经常采用动态纠偏控制理论^[5],即工程项目在制定科学合理的计划成本时,根据对可能产生成本偏差的因素进行实际分析,找出偏差,并且预测这种偏差对后期工程可能产生何种影响进而采取合理方法降低或者消除偏差,以实现计划成本目标的工程管理方式。动态纠偏控制的主要方法有挣得值分析法 (earned value analysis, EVA)、线性回归法、指数平滑法、灰色预测法四种。其中,挣得值分析法是在工程项目施工过程中分析目标成本、工程进度及实际成本之间关系的一种方法,其优势是分析目标明确,可以克服过去控制因素单一的缺点,可判断进度、费用执行效果,以对施工过程中产生的成本做科学合理的控制^[5]。挣得值原理如图 1 所示。图 1 中的计算指标包括^[6]:

BCWP (budgeted cost for work performed) —— 已完成工作量的预算费用,是指到工程建设的某一时刻为止,项目已经完成的工作,所产生的资金投入总值。业主以已完工作的预算费用值给承包工程的施工单位支付工程费,称为挣得值。

$$BCWP = \text{已经完成工作量} \times \text{预算单价} \quad (1)$$

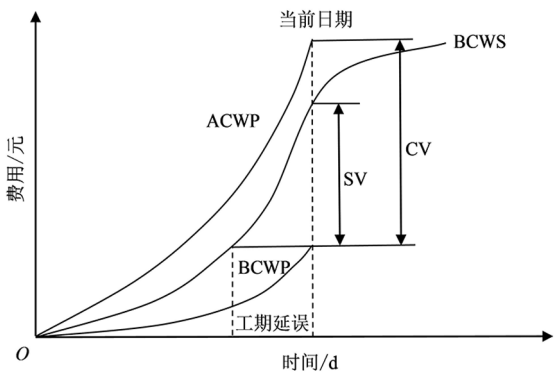


图 1 挣得值法原理

Fig.1 Principle of the earned value method

BCWS (budgeted cost for work scheduled) —— 计划工作预算费用,即以工程进度计划为依据,到项目建设的某一天为止应该完成的工作,根据工程预算需要的资金总值。

$$BCWS = \text{计划工作量} \times \text{预算单价} \quad (2)$$

ACWP (actual cost for work performed) —— 已完成工作量的实际费用,是指在工程建设到某一时刻为止实际完成某些工作所耗费的人力、物力、财力的总值,它所反映的是建设项目在执行工程计划时的实际消耗。

$$ACWP = \text{实际完成工作量} \times \text{实际单价} \quad (3)$$

CV (cost variance) —— 费用偏差。正成本偏差表明项目根据计划的要求进行成本控制的效果良好,即项目节支;费用偏差为负值时意义相反。

$$CV = \text{已完工作量预算费用} - \text{已完工作量实际费用} \quad (4)$$

SV (schedule variance) —— 进度偏差。当工程项目在执行过程中的进度偏差为正值时代表工程进度提前;进度偏差为负时,则意义相反。

$$SV = \text{已完工作量预算费用} - \text{计划预算费用} \quad (5)$$

CPI (cost performed index) —— 费用执行指标。当项目执行过程中的进度偏差为正时,表示项目进度提前;当进度偏差为负时,则意义相反。

$$CPI = \frac{\text{已完工作量预算费用}}{\text{已完工作量实际费用}} \quad (6)$$

SPI (schedule performed index) —— 进度执行指标。当项目进度指标大于 1 时,项目将提前完成;如果进度执行指数小于 1,则意义相反。

$$SPI = \frac{\text{已完工作量预算费用}}{\text{计划工作预算费用}} \quad (7)$$

工程项目执行过程中,可以得到某一时刻的拟完工计划成本,联系实际完成工作的实际成本和已经完成工作的计划成本值,计算这三个数值之间的差异。根据计算结果可以将挣得值的概括为以下六种情况:

(1) $CV = BCWP - ACWP > 0$; $SV = BCWP - BCWS > 0$,则表明在工程项目的建设过程中资源材料的投入较早,导致成本超过预算。所以,可以抽调部分资源投入,相对延缓工程进度。

(2) $CV = BCWP - ACWP > 0$; $SV = BCWP - BCWS > 0$,则表明项目截至某一时刻的实际耗用的成本费用低于工程计划值,则表明人力或者材料资源投入较晚;同时,工程进度相比计划值提前,工程建设效率很高。此时,如果项目的实际建设情况和计划对比偏差不大,可以保持现状。

$$(3) \quad CV = BCWP - ACWP > 0; \quad SV = BCWP -$$

$BCWS < 0$, 则表明项目在实际建造过程中, 资源投入过晚, 并且实际建设速度过慢; 同时, 项目的建造效率高。所以应当增加建筑材料和人工投入, 赶上前期延误的工期。

(4) $CV = BCWP - ACWP < 0$; $SV = BCWP - BCWS < 0$, 则表明项目实际建造中各种资源的投入很晚, 工程的建设效率低下, 同时项目的实际进度相比计划进度偏慢。此时应增加人工投入, 提高项目的建设效率, 从而提高工程实际进度。

(5) $CV = BCWP - ACWP < 0$; $SV = BCWP - BCWS > 0$, 则表明工程项目的资源投入相比计划要求提前; 工程项目的建设效率较低, 但实际进度较快。此时, 可适当减少部分人员和资源的投入, 同时提高施工效率。

(6) $CV = BCWP - ACWP < 0$; $SV = BCWP - BCWS < 0$, 表明项目的资源相比计划要求的投入较早; 同时工程进度偏慢。此时应当调整人员分配, 提高施工效率, 并合理控制材料的使用。

1.2 BIM 技术控制成本的优势

在施工阶段利用 BIM 技术进行成本控制主要有以下优势:

(1) 模型更新更加便捷。BIM 模型中的二维视图跟三维视图是相互关联的, 如果工程发生变更, 可以对相应的二维、三维任何一项直接修改, 快速完成设计模型变更。同时, 对比实际项目和三维模型发现施工过程中的可能出现或已经出现的问题, 不断完善整个三维模型, 减少返工和物料投入浪费, 降低成本^[7]。

(2) 工程计量更加准确。BIM 技术对每个构件定义了属性, 使用 REVIT 软件建立的三维模型能导出各种与工程相关的明细表。例如中工程项目的施工阶段, 可以导出含有构件、钢筋、和混凝土等物料明细表, 减少建设工程建造过程中的计算工作量, 通过 BIM 技术及时做好工程计量工作的审核防止工程进度款超付, 并提高结算的准确度^[8]。

(3) 物料管理更加精细。在施工过程中, 可以将所用钢筋的型号、厂家、混凝土的类型及各种物料的使用信息记录在模型中, 形成物料管理系统, 一旦发生工程成本偏差, 能从数据库中及时找出原因, 避免由于材料问题导致的供应商、施工方、业主之间的责任纠纷, 实现工程项目精细化管理^[9]。

1.3 基于 BIM-5D 模型的挣得值分析法

BIM-5D 是在三维模型的基础上增加时间和成本维度, 集成了工程量信息、工程进度信息、工程造价信息, 不仅能统计工程量, 还可以将结构构件的三维模型和施工计划进度的具体工作链接起来。由此, 本文提出 BIM-5D 成本控制模型(见图 2), 采用 BIM-5D 模型结合挣得值分析法对施工阶段进行成本控制: 首先根据工作分解结构(work breakdown structure, WBS)建立大桥的 BIM 模型; 同时, 基于 MS Project 软件编制进度计划, 并编制相关结构构件的材料、劳动力和机械等资源投入的清单, 在 Autodesk Navisworks 平台导入以上三者的信息, 生成 BIM-5D 模型。根据建立的 BIM-5D 模型, 可抽取基于 WBS 的进度数据和工程量清单, 并对已完工程的实际费用和计划工程的预算费用进行汇总和比对。

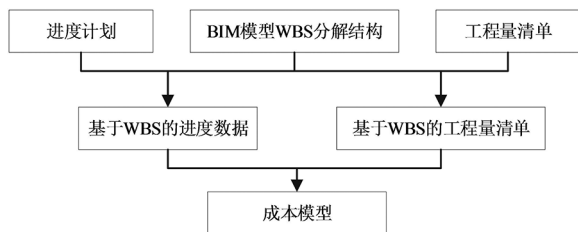


图 2 进度与成本的关联模型

Fig.2 Association model between schedule and cost

对比传统的成本关联模式, 运用 BIM-5D 模型可以在工程项目的施工过程中将资金投入实时动态表示出来。建设单位可以在模型中看到资金及资源的具体使用情况; 同时, 把施工单位的资金及材料使用计划具体分配到构件中。在项目施工阶段, 可以在某一时刻汇总目标计划费用和实际费用, 对比两者之间的偏差, 找出导致成本偏差的原因并及时采取合理方法进行修正。

2 案例分析

2.1 背景工程

福建某跨海特大桥是沿海大道及连接线工程中关键性的控制节点, 全长 3 564.5 m。主桥采用主跨 150 m 连续梁, 全长 316 m, 跨径组合为 (83 + 150 + 83) m; 北引桥采用标准跨径 40 m 先简支后连续预应力混凝土预制 T 梁, 全长 925 m, 跨径组合为 23 m × 40 m; 南引桥采用标准跨径 40 m 先简支后连续预应力混凝土预制 T 梁, 全长

2 323.5 m,跨径组合为 58 m × 40 m。

2.2 大桥 BIM 模型创建

本文使用 REVIT 软件进行大桥的 BIM 模型创建。REVIT 软件的基本单元是包含通用属性集和相关图形表示的图元组一族,如:基本墙族、结构柱族、框架梁族等等。但已有 REVIT 族库主要针对建筑工程,因此,大桥 BIM 模型创建的需使用 REVIT 软件提供的预定义族完成桥梁构件族的创建。结合跨海大桥的 WBS 分解结构,本项目共创建 22 种桥梁构件族,60 种族类型,绘制了 1 667 个族实例。限于篇幅,模型创建的详细过程不再赘述。

2.3 工程量统计

基于大桥的 BIM 模型,可以快速地统计出施工期任意时点的工程量。例如,项目完成施工时,使用 BIM 计算的混凝土方量合计 12 901.58 m³,主桥箱梁部分工程量计算如表 1 所示,而传统设计方法的混凝土方量是 13 040.1 m³;二者相差很小。同样,由 BIM 模型计算得到盖梁方量合计 3 511.37 m³、预制 T 梁方量合计 19053.1m³、现浇连续段方量合计 1 480.42 m³、横隔板方量合计 1 720.77 m³。通过 BIM 模型计算的结果与传统造价分析方法得到的结果对比参见表 1。

表 1 BIM 模型计算的结果与传统方法结果对比

Tab.1 Comparison of the calculation results by the BIM model and the traditional method

(m³)

族	BIM 方法 工程量	传统方法 工程量	误差
箱梁	12 901.58	13 040.10	-138.52
盖梁	3 511.37	3 522.90	-11.33
墩身	3 101.70	3 095.70	6.00
承台	3 088.40	3 088.40	0.00
桩基础	30 199.12	28 466.00	1 755.52
桩顶系梁	539.24	561.20	-21.96
墩柱及系梁	2 415.78	2 441.30	-25.52
预制 T 梁	18 250.75	18 149.90	100.85
T 梁现浇部分	3 201.19	3 180.50	20.69

2.4 资源投入计划

本项目合同工期为 36 个月,以 2016 年 4 月

15 日为开工日期,至 2019 年 4 月 24 日为交工时间。限于篇幅,仅示出部分分项工程的混凝土资源投入计划见图 3 所示。

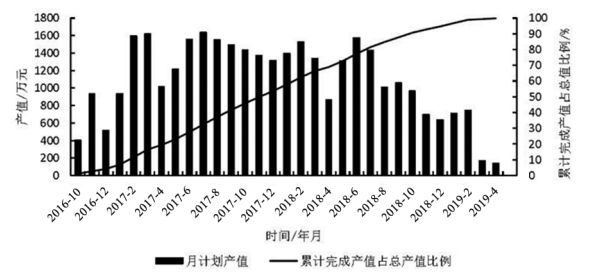


图 3 部分分项工程的混凝土资源投入计划曲线

Fig.3 Resource input planning curve for the concrete of some subdivisional work

2.5 挣得值参数计算

使用 BIM-5D 数据模型提取工程项目 2016 年 10 月至 2017 年 10 月的计划成本、实际成本数据。根据《福建某跨海大桥施工台账》,可以攻取 T 梁预制、T 梁架设、盖梁、系梁、承台等各个桥梁构件施工的具体时间,如表 2 所示。

表 2 2017 年部分分项工程实际进度

Tab.2 Actual progress of some subdivisional work in 2017

墩号及 部位	钢筋绑扎 时间	模板安装 时间	混凝土浇筑 时间
右幅 7#系梁	0325~0327	0327	0328
左幅 8#系梁	0413~0414	0414	0415
右幅 8#系梁	0410~0412	0413	0413
左幅 9#系梁	0428	0428	0429
右幅 9#系梁	0502	0503	0504
左幅 10#系梁	0608	0611	0612
右幅 10#系梁	0608	0608	0609

注:表达时间的数值,前两位表示月份,后两位表示日期。

根据福建某跨海大桥 BIM 模型导出《构件明细表》可以获取各个桥梁构件的工程量,以墩柱的混凝土为例,提取出的墩柱混凝土工程施工的工程量,计算实际成本如表 3 所示(限于篇幅,仅列举部分墩柱的工程量)。

使用相同的方法可以计算得到桩基础、盖梁、系梁、T 梁、箱梁等构件的混凝土工程的 ACWP。计算部分分项工程混凝土的 BCWP 见表 4。计算 BCWS 见表 5。

表 3 部分墩柱混凝土已完工作实际费用

Tab.3 Actual cost of work completed of some part of the pile concrete

时间	实际工程 进度	C50 混凝 土量/m ³	实际 单价/元	实际 费用/万元
2017-03	1#-左幅-2 根	12.28	570	0.70
	1#-右幅-2 根	15.86	570	0.90
	7#-右幅-2 根	21.18	570	1.21

表 4 部分分项工程混凝土已完工作预算费用

Tab.4 Budgeted cost of work performed for the concrete of some subdivisional work

时间	混凝土 型号	预算 单价/元	工程量/ m ³	预算 费用/万元	合计/ 万元
2017-03	C40	470	3 114.46	146.38	
	C45	510	188.40	9.61	183.26
	C50	540	505.03	27.27	

表 5 部分分项工程混凝土计划工作预算费用

Tab.5 Budgeted cost for work scheduled for the concrete of some subdivisional work

时间	混凝土 型号	预算 单价/元	工程量/ m ³	预算 费用/万元	合计/ 万元
2017-03	C40	470	4 848.06	227.86	
	C45	510	230.10	11.74	268.83
	C50	540	541.33	29.23	

2.6 S 型曲线绘制及参数分析

根据表 3~表 5 的数据,将大桥 2016 年 10 月至 2017 年 10 月已完工程的混凝土预算成本和混凝土已完工作实际费用,结合工程计划工作预算成本数据,绘制成项目 S 型曲线,如图 4 所示。

采用挣得值分析法计算截至 2017 年 10 月的成本偏差和工期偏差等参数的计算结果,并对计算结果与工程实际情况进行对比分析。

(1)BCWP、BCWS 和 ACWP 计算

BCWP=2 596(万元),BCWS=2 864.05(万元),ACWP=2 749.35(万元)。

(2)费用偏差

CV=BCWP-ACWP=2 596-2 749.35=-153.35(万元)<0。

(3)进度偏差

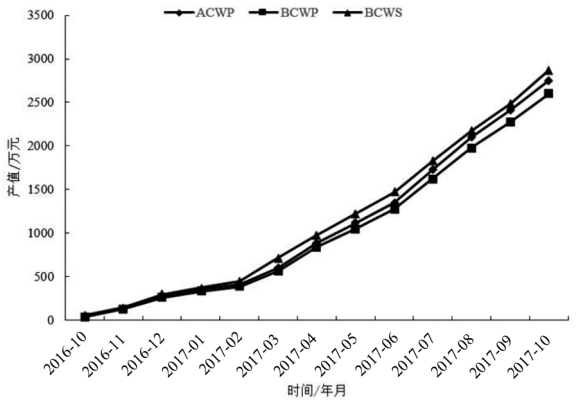


图 4 S 型曲线分析
Fig.4 S-shaped curve analysis

$SV = BCWP - BCWS = 2\ 596 - 2\ 864.05 = -268.05$ (万元) <0 。

(4)费用执行指标、成本偏差指数

$CPI = BCWP / ACWP = 2\ 596 / 2\ 749.35 = 0.944 < 1$;

费用偏差指数 = $(BCWP - ACWP) / BCWP = 153.35 / 2\ 596 = 5.90\%$ 。

(5)进度执行指标

$SPI = BCWP / BCWS = 2\ 596 / 2\ 864.05 = 0.906 < 1$;

进度偏差指数 = $(BCWP - BCWS) / BCWP = 268.05 / 2\ 596 = 10.33\%$ 。

以上计算结果结合施工现场实际情况分析可知:

(1)根据福建某跨海大桥的的数据分析情况可知,费用执行指标 $CPI < 1$,并且费用偏差 $CV < 0$,费用偏差指数为 5.9%,说明本项目按照工程计划的要求执行效果差,即项目超支。进度执行指数 $SPI < 1$,并且进度偏差 $SV < 0$,说明本项目工程进度偏慢,会延误工期。结合 $BCWP < ACWP < BCWS$, $SV < 0$, $CV < 0$ 的情况,说明项目实际建造中各种资源的投入晚,工程的建设效率低下,同时项目的实际进度相比计划进度偏慢。

(2)当工程项目施工进行到 2017 年 10 月末时,已完成工作实际费用为 2 749.35 万元,已完成计划费用为 2 596 万元,两者差值为 153.35 万元。经过对现场的实际情况分析,发现由于管理不够科学,材料采购准备不充分,对市场预期不够准确,没有在合理的时间进行采购,由于价格波动的影响及施工管理的不严格导致的返工率较高,增

加了相应的费用。

(3)从挣得值曲线上看出,截至2017年10月末,工程项目的挣得值为2 749.35万元,和进度计划相比工期延误。通过对施工过程的记录进行分析,发现项目前期与地方政府沟通协调征地工作时遇到较大阻力,导致机械设备进场的时间推迟;在2017年3月,因作业队伍有过变动导致工期拖延;2017年4月,由于主墩桩基岩层强度高成孔慢,另外部分桩基未使用旋挖钻配合;引桥增加钻机进场晚,开钻准备时间长,钢筋班人员不足;钻孔平台及支栈桥个别作业面未及时提供,钢栈桥作业队人员、设备投入不足,导致工期拖延。2017年5月,部分钻机出现机械故障,维修时间过长,导致工期延误;2017年6月,由于T梁模板改制时间长,钢筋原材及支座钢板进场较晚,钢筋加工作业不连续,导致工期延误;2017年7月,预制梁场钢筋棚倒塌,运梁通道打通较晚,影响T梁预制与架设,导致工期延误。台风天等不良气候条件也是导致本项目工期拖延的重要原因。

(4)基于以上分析,总体而言,本项目实际建造中各项资源的投入较不及时,工程的建设效率

偏低,实际进度相比计划进度偏慢。因此,施工后期增加人工与材料投入的同时,更应改善技术与管理水平,以提高建设效率,从而在加快工程实际进度的同时,对实际成本进行动态纠偏,确保成本控制目标的实现。

3 结论

BIM技术在桥梁工程的设计和施工中已经得到了较多应用,提高了工程建设效率。本文将BIM-5D模型的三维可视、动态统计与跟踪的优势,结合成本动态纠偏的挣得值原理,提出基于BIM技术的桥梁工程施工成本控制方法。在福建某跨海大桥的实际应用中,利用该方法通过BIM模型创建、BIM-5D实时工程量统计、挣得值参数计算以及基于S型曲线的动态成本分析,表明本项目成本超支、进度偏慢、效率较低,并具体地揭示了影响因素,针对性提出了加强成本动态纠偏工作的策略。事实上,基于BIM平台强大的二次开发能力,该方法也可以推广到土木工程其他领域的施工成本控制,以及工程生命周期的前期可研阶段或运维阶段的成本控制的研究中。

参考文献:

- [1] 程建华,王辉.项目管理中BIM技术的应用与推广[J].施工技术,2012,41(16):18-21,60.
- [2] 刘智敏,王英,孙静,等.BIM技术在桥梁工程设计阶段的应用研究[J].北京交通大学学报,2015,39(6):80-84.
- [3] 王亮.基于BIM的斜拉桥设计应用与信息管理研究[D].成都:西南交通大学,2016.
- [4] 林友强,曾明根,马天乐,等.桥梁工程设计BIM技术应用探索[J].结构工程师,2016,32(4):7-12.
- [5] 孙彦玲.挣得值分析法在房地产项目成本管理中的应用研究[D].济南:山东大学,2012.
- [6] 曹在伟.赢得值法在高校建设工程项目管理中的应用[J].价值工程,2013(32):68-70.
- [7] JOHANSSON M, ROUPÉ M, BOSCH-SIJTSEMA P. Real-time visualization of building information models (BIM)[J]. Automation in Construction, 2015, 54: 69-82.
- [8] ZHENG X, LU Y J, LI Y K, et al. Quantifying and visualizing value exchanges in building information modeling (BIM) projects[J]. Automation in Construction, 2019, 99: 91-108.
- [9] CHEN P H, NGUYEN T C. A BIM-WMS integrated decision support tool for supply chain management in construction[J]. Automation in Construction, 2019, 98: 289-301.

(责任编辑:方素华)