

基于 BIM 的建筑施工项目进度-成本联合控制研究

胡长明¹, 熊焕军¹, 龙辉元², 王雪艳¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 艾亦康(AECOM)咨询(深圳)有限公司(北京分公司), 北京 100025)

摘要: 目前在施工项目管理活动中, 常常出现一个控制目标较优, 而其他目标不佳的情况, 为了避免目标控制中顾此失彼的现象出现, 有必要对进度-成本目标进行联合控制, 以达到综合控制效果最优. 研究建筑项目 4D 施工模拟实现的方法及过程, 利用综合进展率曲线来宏观调控项目进展, 再用挣得值法对项目各个成本参数进行评估, 以此验证 BIM 应用于项目管理中的进度-成本联合控制的可行性. 最后以西安某国际中心项目为例, 通过将建筑物的 3D 整体模型中的每个构件与施工进度计划中的每项任务相链接, 实现了整个施工过程的可视化模拟以及施工进度、成本的动态管理和联合控制.

关键词: BIM; 进度-成本联合控制; 综合进展率; 挣得值法; 成本参数; 4D 施工模拟

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)04-0474-05

建筑信息模型 BIM 是对建筑物理和功能特性的数字式表达, 从建筑物诞生开始, 为建筑物整个生命周期提供可信赖的信息共享的知识资源. 4D 施工模拟即为三维可视化功能再加上时间维度, 随时随地直观快速地将施工计划与实际进展进行对比, 同时进行有效协同, 施工方、监理方、甚至非工程行业出身的业主领导都对工程项目的各种问题和情况进行了如指掌^[1].

4D 理论是美国斯坦福大学 CIFE(Center for Integrated Facility Engineering)于 1996 年首先提出的, 随后推出了 CIFE 4D-CAD 系统, 该系统将建筑结构构件的 3D 模型与已有进度计划的各种工序相对应, 建立各个构件之间的继承关系及相关性, 最后动态地模拟这些构件的变化过程. 国内有关 4D 技术的研究也逐渐开展开来, 清华大学的张建平教授及其课题组从 1991 年就开始致力于建筑施工计划三维可视化和动态管理方面的研究, 于 1995 年开发了 GCPSU 系统^[2], 该系统将施工对象定义为一个 3D 整体描述、施工过程模拟以及结构构件实体的三维复合模型, 体现了 4D 模型的基本概念, 其主要局限于未实现施工对象 3D 模型与外部进度系统计划的链接. 天津大学的张正峰博士等人以 Visual C++作为仿真平台, 设计编制了桥梁施工 4D CAD 可视化仿真软件^[3], 验证了基于 4D CAD 的大型桥梁可视化仿真研究方法在斜拉桥施工进度分析与优化方面的实用性和优越性.

现今为止, 虽然国内外对 BIM 的相关研究已经开展得相当广泛, 但是目前大多数工程项目的管理缺乏系统性, 进度管理和成本管理都分别进行, 由于工程的实际进展情况发生各种各样的变化, 这就需要项目管理人员首先从宏观上控制, 把握住主要的里程碑事件, 在进度控制的同时, 要考虑费用的执行情况, 不能只注重进度, 而造成成本的不合理, 这就需要对进度和成本进行系统的比较分析, 利用现有的开发工具, 探索新的科学的进度和成本联合控制的方法. 因此如何利用 BIM 及其相关技术对施工模拟及进度-成本联合控制具有研究价值和指导意义, 这将从新的视角拓展 BIM 在施工模拟及进度-成本联合控制中的研究及应用.

1 基于 BIM 建筑项目的进度-成本联合控制流程

1.1 建立三维可视化模型

所谓 BIM, 即指基于最先进的三维数字设计和工程软件所构建的“可视化”的数字建筑模型, 三维可视化是其特点之一. 4D 施工模拟是建立在已有的 3D 模型基础之上的, 建筑信息模型 BIM 采用关联性来描述建筑单元, 以墙、窗、梁、柱、板等建筑构件而不是 CAD 中的点、线、面等几何元素为基本对象, 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. 在建筑信息模型中, 建筑单元可以模拟除几何形状外的一些非几何属性, 如材料信息、造价信息、设备信息等等. 结构工程师修改某个单元构件的属性, 建筑模型将进行信息的自动更新, 而且这种更新是相互关联的. 关联性不仅提高

收稿日期: 2013-12-12

修改稿日期: 2014-08-01

基金项目: 住房和城乡建设部 2012 年科学技术项目计划-软科学研究项目(建设项目管理)(2012-R3-17)

作者简介: 胡长明(1963-), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事土木工程造价与管理方面研究. E-mail: hu.tm@163.com

了设计的工作效率,而且解决了图纸之间信息的错、漏、缺等问题。建筑信息模型 BIM 具有以下特点:

(1)以建筑单元为基本描述对象;(2)建筑信息文档生成、修改、维护简单,关联修改可自动避免二维图纸设计过程中平、立、剖面之间可能产生不一致的错误;(3)支持各学科(专业)在同一数据平台的协同工作;(4)具有强大的可视化展示及分析功能,可以清晰分析设计过程中可能产生的问题。

BIM 三维模型并不是单一的图形化模型,它包含着从构件材质到尺寸数量,以及项目位置和周围环境等完整的建筑信息,可帮助施工人员更深层次的理解设计意图和施工方案要求,减少因信息传达错误而给施工带来不必要的问题,提高施工进度和质量,保证项目决策尽快执行。

1.2 编制工程进度计划

BIM 是一个富含工程信息的数据库,可以真实地提供造价管理需要的工程量信息。借助这些信息,计算机可以快速对各种构件进行统计分析,大大减少了繁琐的人工操作和潜在错误,非常容易实现工程量信息与设计方案的完全一致,利用从 BIM 数据库中获取的相关资料进行研究,提取项目各分部分项工程的工程量,完成主要机械设备、材料、人力资源的分配,尽量从实质上把握各单位工程实施情况,确定各工序的开始和完成时间,对比建设行业编制施工进度计划的横道图、网络图。确定好工序作业时间后,安排各单位工程开工和竣工时间及其搭接关系,合理安排流水施工,这些工作都可以由现有的进度计划编制工具来实现。然而大多数项目进度管理为分段管理,缺少系统性及连贯性,再加上传统的分析比较方法(横道图比较法、实际进度前锋线比较法)过于微观,不利于业主的管理。事实证明从一开始指导的可行性研究进度到与施工单位签订的合同进度就与实际可行进度不一致,施工进度不断发生各种各样的变化,给项目施工管理带来较大困难。其中如何比较和分析施工进度计划的执行情况,判断实际进度是否与计划进度产生偏差以及此偏差对后续工作和总工期的影响程度,使项目管理者对于项目进展做到一目了然、心中有数成为项目管理工作的重点。为使施工进度具有可控性,使项目及时向目标方向发展,探讨通过综合进展率曲线^[4]来宏观调控项目进展。

1.3 在 3D 模型基础上创建 4D 施工模拟模型

BIM 从 3D 模型发展出 4D 建造模拟功能,更直观真实地反映了施工建设的进度安排。Autodesk Navisworks Manage 软件是欧特克公司开发的用于施工模拟、工程项目整体分析及信息交流的智能软件。其具体的功能包括模拟与优化施工进度、识别与协调冲突与碰撞、使项目参与方有效沟通与协作,以及在施工前发现潜在问题,而且 Navisworks Manage 软件与 Microsoft Project 软件具有互用性,在 Microsoft Project 软件环境下编制的施工进度计划与 3D 模型相互关联起来,从而使得项目进度计划通过 3D 构件在进度计划安排中表现出来,这就是 4D 施工进度模拟的意义,由此方式产生的相关任务可以自动地关联到 Navisworks Manage 软件上,在 Microsoft Project 里对施工进度进行调整后,Navisworks Manage 里会自动对所读取的施工进度安排按照 Microsoft Project 里的进度计划进行更新,这样就极大方便了利用 Navisworks Manage 进度计划编制的过程,并在 Timeliner 中模拟施工时体现出来。这样建立的 4D 模型在项目建设的前期可以形成可视化的进度信息、可视化的施工组织方案、以及可视化的施工过程模拟,在建设过程中可将工程变更结果及风险事件结果进行模拟。

BIM 的 4D 模型将施工中每一个工作以可视化形象的建筑构件虚拟建造过程来显示,在工程施工中,利用 BIM 的 4D 模型可以使全体参建人员很快理解进度计划的重要节点;同时进度计划通过实体模型的对应表示,有利于发现施工差距,及时采取措施,进行纠偏调整;即使我们遇到设计变更、施工图更改,也可以很快速的联动修改进度计划。另外,在项目评标过程中,BIM 的 4D 模型可以使专家从模型中很快地了解投标单位对工程施工组织的编排情况、主要的施工方法、总体计划等,从而对投标单位的施工经验和实力做出初步评估。

需要指出的是,4D 软件所承担的分析推理工作离不开使用者的介入,这就要求使用者具有一定程度的操作经验和足够的专业知识,因此在设计 3D 模型阶段就应该介入施工人员,才能更好的依靠 4D 模型来调整方案,进行进度编排,使设计更具备可施工性。

1.4 4D 模型基础上的进度和成本联合控制研究

进度和成本控制贯穿于工程项目各个阶段,然而工序的复杂性和参与人员的多样性,为建筑项目的有效成本控制带来了许多不确定因素。对于每一个项目而言,其最终所要达到的目的就是通过对一系列有效的控制手段和管理方案来取得良好的经济效益。在对项目进行 4D 施工模拟过程中,Navisworks Manage 软件

会自动提取某项工序对应的某一时段的总成本信息,可以实时跟踪项目的施工情况,自动监控总体工程的计划进度成本,在施工阶段开始前与业主和供货商进行沟通,从而保证施工过程中资金和材料的充分供应,避免因提供资金和材料的不到位对施工进度产生影响。

进度控制可以通过综合进展率一指在特定时间内,工程各分部分项工程工程的(计划或实际)完成量占总工程量的百分比之和来体现,记为 GPI(generalization process index),若工程量为计划工程量,则该综合进展率称为计划综合进展率,若工程量为实际工程量,则该综合进展率称为实际综合进展率。

$$GPI = \sum_{i=1}^n PA_i / TPA$$

(1)

式中: PA_i 为特定时间内(计划或实际)完成的分部分项工程的工程量; TPA 为工程的总工程量; n 为特定时间内的所有工序之和。

通过计算计划进度与实际进度的偏差,由拖延时间分析原因并调整下步工作计划,该数据具有宏观性和直观性,能够较准确地从多方面反映工程进展。

为了更准确的测定和衡量建设项目的实际进展情况,并进行有效动态成本监控,可以在 4D 模型基础上通过对比分析计划工作的预算成本(BCWS)、已完成工作的预算成本(BCWP)、已完成工作的实际成本(ACWP)三个基本参数,分析进度和成本与目标期望之间的差异,有效衡量建设项目进度绩效、成本支出状况,从而判断项目的实际执行效果。

(1)成本偏差指标 CV (Cost Variance),是指在某个既定时间点内已完成工作的工作量预算成本与实际成本之差:

当 $CV>0$ 时,表示建设项目的实际成本超出预算成本,即项目成本超支,说明项目进展效果不佳,需要及时改进;当 $CV<0$ 时,表示建设项目的实际成本低于预算成本,即项目成本节约,说明项目目前执行效果良好,可保持顺利进展。

(2)进度偏差指标 SV (Schedule Variance),是指在某个既定时间点内已完成工作的工作量预算成本与计划完成工作的工作量预算成本之差:

当 $SV>0$ 时,表示在单位工作量预算成本不变的基础上,已完成工作量大于计划完成的工作量,项目进度超前。当 $SV<0$ 时,表示在单位工作量预算成本不变的基础上,已完成工作量小于计划完成的工作量,项目进度迟缓。

根据以往的经验,可以得到某些费用超支的原因:①宏观原因:出现重大技术难题,计划不充分,物价上涨,总工期拖延,工作量大增加。②微观原因:工作效率低下,返工增多,管理协调不好。当然还有其他原因,原因分析可以通过因果关系图进行定性分析,也可以利用因素差异分析法进行定性分析,通过比较以上参数分析及对应措施表如表 1 所示:

表 1 成本参数分析及对应措施
Tab.1 Cost parameter analysis and corresponding measures

序号	参数关系	分析	措施
1	$ACWP>BCWS>BCWP$, $CV<0, SV<0$	效率低,进度较慢,投入超前	用高效率人员替换低效率人员
2	$BCWS>ACWP>BCWP$, $CV<0, SV<0$	效率较低,进度慢,投入延后	增加高效率人员投入
3	$BCWP>ACWP>BCWS$, $CV>0, SV>0$	效率较高,进度快,投入超前	抽出部分人员放慢速度
4	$BCWP>BCWS>ACWP$, $CV>0, SV>0$	效率高,进度较快,投入延后	如果偏离不大,可以维持原状
5	$ACWP>BCWP>BCWS$, $CV<0, SV<0$	效率较低,进度较快,投入超前	抽出少量人员,增加少量骨干
6	$BCWS>BCWP>ACWP$, $CV>0, SV>0$	效率较高,进度较慢,投入延后	迅速增加人员投入

2 实例研究

BIM 的 4D 施工模拟在西安某国际中心项目中进行了实际应用,该项目主塔楼为一栋 51 层超 B 级高层 5A 级写字楼,塔楼主体高度为 231.3 m,结构高度为 222.6 m。塔楼地下室层数为 3 层。裙房共 4 层,结构高度 21.3 m。采用 revit structure 建 3D 模型是关键。这样在 revit 里导出材料明细表时就可以提取所

需要详细分类统计的工程材料用量,如图 1 所示。

统计出工程量后,在定义各种材料截面特性时,在成本一栏输入相应的成本,以便在后续的施工模拟中能实时对工程成本进行监控。完成 3D 建模后,可以直接通过 revit structure 里的附加模块中的外部工具将所建的 3D 全景模型导出为 Navisworks Manage 软件所能识别的文件,形成 3D 模型到 4D 模型的无缝对接。

在进行 4D 施工模拟之前,需要用 Microsoft Project 编制好施工进度计划,合理安排流水施工,通过总进度计划逐一细化、分层计划,直至月或旬、周进度计划,及时地采用循环模式预测可能产生的偏差并做出提前预警、提出产生偏差后的纠偏措施,使实际的工程进度不影响关键性节点控制,按计划完成工程任务。该项目进度计划如图 2 所示。

根据施工合同进度和实际完成工程量按月计算该项目主体结构计划完成综合进展率与实际完成综合进展率进行综合进展率曲线的绘制如图 3 所示。

由图 3 反映情况可知,第八个月实际进度已较计划进度拖延近一个月,因此需要调整施工方案加快施工进度。

利用 Microsoft Project 将调整编制好的施工进度计划导入到 Navisworks manage 软件中以后,在 Navisworks manage 软件中设置每项任务的性质:建设(Construct)—默认对象将在任务开始时以绿色高亮显示,拆除(Demolish)—默认对象将在任务开始时以红色高亮显示并在任务结束时隐藏,临时任务(Temporary)—默认对象将在任务开始时以黄色高亮显示并在任务结束时隐藏。再把每项计划工序与 3D 模型的每一构件一一关联,形成 4D 模型以直观展示施工进度,系统主界面及工程的 4D 是施工模拟如图 4 所示。

值得注意的是,Navisworks Manage 软件是以构件与工序一一关联形式进行施工模拟的,构件的几何信息在该软件中是不能再进行修改的,通过 BIM 技术结合施工方案、施工模拟和现场视频监控,大大减少建筑质量问题,安全问题,减少返工和整改。

本项目选取工程一月份到八月份八个月的工程数据,在 BIM 信息平台上提取各个计划工作的预算成本(BCWS)、已完成工作的预算成本(BCWP)、已完成工作的实际成本(ACWP),进而进行统计累加最终得出各阶段累计数值曲线见图 5 所示。

由图 5 反映的情况可知,总体程度上 $BCWS > ACWP > BCWP$, $CV < 0$, $SV < 0$, 分析可知项目进展效率较低,进度慢,投入延后,因此需要增加高效率人员投入。通过对这些参数的综合分析,得到项目进度和成本执行情况的相关信息,通过对项目检查得到基本数据,再根据这些基本数据对项目的进度和费用趋势进行预测,为项目的后续工作提供指导性建议。

3 结论

(1)通过在工程中应用 BIM 相关技术,能够从根本上解决传统项目管理方法的缺陷,在工程进度管理



Area	Level	Slab Thickness	Volume	Height Offset
13623 m³	地下室三层	120	1658.79 m³	0
16324 m³	B2 地下室	120	1955.87 m³	0
15081 m³	B1 地下室	120	1807.29 m³	0
6005 m³	F01 首层	120	816.50 m³	0
8701 m³	F01 首层	120	1044.12 m³	0
2289 m³	F02 二层	120	274.66 m³	0
3031 m³	F03 三层	120	363.69 m³	0
1365 m³	F04 四层	120	164.10 m³	0
3062 m³	F05 五层	120	367.46 m³	0
70463 m³			8455.62 m³	

图 1 工程材料用量明细表

Fig. 1 Schedule of engineering material consumption

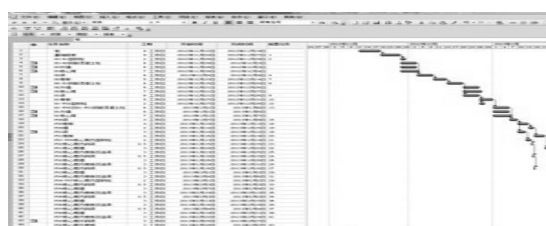


图 2 施工进度计划安排

Fig. 2 Construction progress schedule

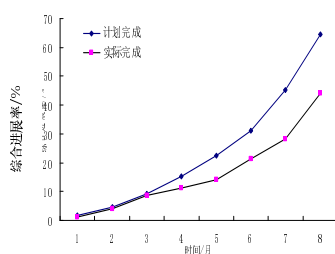


图 3 综合进展率曲线

Fig. 3 Generalization process index curve

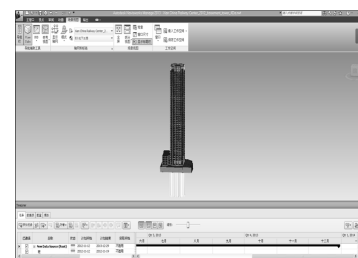


图 4 4D 施工模拟

Fig. 4 4D construction simulation

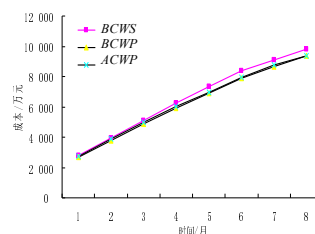


图 5 进度-成本累计曲线

Fig. 5 Schedule - cost summation curve

中展示了优越性,表现为直观、动态地施工过程模拟,对施工进度进行查询,调整和控制,达到预先设定的项目目标和理想的控制状态,及时发现和解决施工进度与成本控制出现的矛盾和冲突,减少施工预算,保证资源供给,提高施工项目的管理水平和成本控制能力。

(2)4D技术的研究和应用在国内外已经得到了广泛的重视,是未来招投标、设计和施工管理所必须的辅助工具,可以认为,基于BIM的4D施工进度模拟及成本控制技术不仅是可行的,而且会对我国的工程项目管理的发展产生积极的影响。

(3)本文所举项目实例属超高层复杂项目,有必要针对项目进行里程碑计划编制,制定一个战略规划或项目框架,以此作为项目进度控制的主要依据之一,基于BIM的里程碑事件进度控制有待进一步研究。

参考文献 References

- [1] 丁杰. 建设工程项目 4D 模型实现方法的研究[J]. 项目管理技术, 2008(11): 21-25.
DING Jie. Study on the method of construction project 4D model's implementation[J]. Project Management Technology, 2008(11): 21-25.
- [2] ZHANG J P. A new approach to construction planning and site space utilization through computer visualization[D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 1996.
- [3] 张正峰, 付金强. 基于 4D CAD 的大型桥梁施工进度系统仿真研究 [J]. 中国工程科学, 2006, 8(1): 63-66.
ZHANG Zhengfeng, FU Jinqiang. System simulation for large-scale bridge construction schedule based on 4D CAD[J]. Engineering Science, 2006, 8(1): 63-66.
- [4] 胡长明, 梁森. 基于综合进展率的 GM (1,1) 进度控制模型及其应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 39(4): 468-473.
HU Changming, LIANG Sen. Grey GM(1,1) process controlling model based on generalization process index and its application[J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech: Natural Science Edition, 2007, 39(4): 468-473.
- [5] 张建平, 李丁, 林佳瑞, 等. BIM 在工程施工中的应用[J]. 施工技术, 2012, 41(371): 10-17.
ZHANG Jianping, LI Ding, LIN Jiarui, et al. The application of BIM in the engineering construction[J]. Construction Technology, 2012, 9 (371): 10-17.
- [6] 陈彦, 戴红军, 刘晶, 等. 建筑信息模型(BIM)在工程项目管理信息系统中的框架研究[J]. 施工技术, 2008, 37(2): 5-8.
CHEN Yan, DAI Hongjun, LIU Jin, et al. Frame research of the building information model in project management information system[J]. Construction Technology, 2008, 37(2): 5-8.
- [7] 胡振中. 基于 BIM 和 4D 技术的建筑施工冲突与安全分析管理研究[D]. 北京: 清华大学, 2009.
HU Zhenzhong. Study on BIM and 4D technology construction conflict and the management of security analysis[D]. Beijing: Tsinghua University, 2009.
- [8] 胡长明, 於东. 大型冶金建设项目进度控制及其应用[J]. 施工技术, 2005, 34(2): 58-61.
HU Changming, YU Dong. Large metallurgy construction project process control technologies and their application[J]. Construction Technology, 2005, 34(2): 58-61.
- [9] 王青薇, 张建平. 基于 BIM 的工程投资控制研究[J]. 工业建筑, 2011(S1): 1016-1019.
WANG Qingwei, ZHANG Jianping. The research of engineering investment control based on BIM[J]. Industrial Construction, 2011 (S1): 1016- 1019.
- [10] 王霞. 大型冶金工程项目进度-成本联合控制研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009
WANG Xia. Study on cost and schedule control of large-scale metallurgical project[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech, 2009.

Study on cost and schedule combined control of 4D model based on building information modeling(BIM)

HU Changming¹, XIONG Huanjun¹, LONG Huiyuan², WANG Xueyan¹

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech, Xi'an 710055, China;

2. AECOM Ellerbe Becket Consulting (Shenzhen) Co., LTD. (Beijing branch), Beijing 100025, China)

Abstract: In view of the current construction project management activities, there often appears a phenomenon that one target is optimal but the others are not very good. For the sake of avoiding the phenomenon of target control in one sector, it is necessary to carry out the cost and schedule combined control, so as to achieve the best comprehensive optimal control effect. In this paper, a study is carried out both on the method in order to realize 4D construction simulation, and studying on the theory of cost and schedule combined control in project management based on 4D BIM model. An example is set of one international center project in Xi'an, by means of the overall 3D model linking to the construction schedule plan, using comprehensive progress rate curve to macroeconomic regulation and control project progress, and evaluate the project cost parameters by earned value method. By putting forward the idea 4D model based on BIM and cost and schedule combined control, we can reach the goal of the dynamic management and integration control to schedule and cost, and the visualization simulation of the whole construction process realized.

Key words: building information modeling; cost and schedule combined control; comprehensive progress rate

(本文编辑 沈波)