

基于系统动力学 CM/Agency 模式的 建设项目产品供应链研究

陈 震, 何清华, 王森浩, 解燕平

(同济大学 复杂工程管理研究院, 上海 200092, E-mail: cz0021@126.com)

摘 要: 建设项目产品供应链分析优化作为建设项目精益化的重要目标, 一直受到建设工程领域专家的广泛关注。以建设项目最终产品——物质产品和精神产品为贯穿建设期间流程的两条线, 运用系统动力学相关知识, 对物资流和信息流进行分析后, 得出建设项目在建设期间的全流程产品供应链。并在产品供应链的基础上, 以上海某项目为例, 进一步利用系统动力学相关方法对该项目的建设模式进行仿真, 得到 CM 模式下项目建设的优劣势, 并得到比选方案的一些原则, 为建设项目前期决策提供理论依据和决策支持。

关键词: 建设项目; 产品供应链管理; CM 建设模式; 系统动力学

中图分类号: TU12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8859 (2012) 06-001-05

Construction Project Product Supply Chain in CM/Agency Model Based on System Dynamics

CHEN Zhen, HE Qing-hua, WANG Sen-hao, XIE Yan-ping

(Research Institute of Complex Engineering & Management, Tongji University, Shanghai 200092, China,

E-mail: cz0021@126.com)

Abstract: This paper analyzes the material and information flow on the final product of the construction project throughout the construction process from the two lines of material and spiritual products. The whole construction product supply chain is drawn in construction period. Based on the product supply chain, taking a project in Shanghai, system dynamics method is used to simulate the models of construction to draw the advantages and disadvantages of CM model. The paper provides a theoretical basis and decision supports for pre-decision-makings of construction project.

Keywords: construction project; product supply chain management; CM construction model; system dynamics

CM (Construction Management) 建设模式是 20 世纪 90 年代从北美建筑市场引入我国的一种工程发包模式。传统承包模式的最大局限在于设计和施工的相互分离, 导致建设周期延长造成投资增加。Charles R Thomsen 在 1968 年对美国的建筑公司进行一系列全面的调查后, 形成了《Fast Track》的研究报告, 提出了 CM 模式的基本思路: 由业主委托 CM 单位, 以一个承包商的身份, 采取“快速路径法”的生产组织方式, 来进行施工管理, 直接指挥施工活动, 在一定程度上影响设计活动的承发

包模式。CM 单位和业主的合同通常采用“成本+酬金”的计价方式^[1]。虽然该模式引入我国已经有 20 年时间, 但在实际工程之中使用频率并不高。CM 模式究竟在建设项目实施过程中的效率能否明显提高, 又是否可以通过量化指标得以体现的是 CM 建设模式在推广过程中亟须解决的重要问题。

工程建设项目作为以房屋为产品的特殊生产过程, 长期以来其生产过程的管理却较少为学者所重视。但近年来, 随着对工程建设项目要求的提高及对工程建设项目成本的关注度的加强, 工程建设过程逐渐全面地从原有的粗放建设模式向集约建设模式转换。建设项目产品供应链管理正是基于建

设项目集约化管理的必然选择。事实上,近年来我国不断出现的“深圳速度”等建设速度与建设项目产品供应链的完善也是分不开的,但如何在普遍意义上推广供应链技术,提高全行业的建设速度是我们亟待解决的问题。故建设项目产品供应链管理的研究就显得非常必要。

近年来学者们虽然对建设项目产品供应链做了大量的研究,但由于条件等限制,大多数局限于定性的研究,强调对建设项目供应链组织架构的研究,而对数据的关切度较低。从国外的研究来看,Ebrahimi 等^[2]基于建设工程供应链的视角讨论使用模拟工具箱建立工程项目的全寿命周期供应链模型。并且建立一个隧道工程建设细节模拟模型来模拟建设供应链的线性部分。使用这个细节模型对隧道工程进行敏感性分析,表明了工程持续期间选择的变量对隧道工程所产生的影响,这些结果被用来证实在项目开始的计划阶段考虑整条建设项目供应链的重要作用^[3]。Hatmoko 等^[4]描述了一个模拟模型来预测供应链管理的绩效是如何影响建设工程绩效的。用经典学术理论关键线路网络图来研究模型供应链人材机、设备和信息流等问题。

国内学者近年来对供应链也做出了一定的研究。Zhen Li 等^[5]通过研究多重代理方法下分析建设供应链管理的特殊性质来建立一个仿真模型。朱翔华等^[6]讨论了项目管理供应链合作模式与传统项目管理模式的不同,认为项目供应链合作模式可以有效提高项目管理的效率。王晓丽^[7]在借鉴 Partnering 模式的基础上,将供应链模型完善,得到基于 Partnering 模式的建设供应链模型,可更好地协调业主、承包商和设计者三者之间的关系。

从前人的研究可以看出,前人普遍对建设项目产品供应链的理论模型研究较多,但定量研究仍然较少,而本文正是从这一角度试图找出建设供应链下更适合的建设模式。

1 建设项目产品供应链模型

1.1 因果关系分析

因果关系图是系统动力学里描述系统内部各状态变化的一种常用的方法。该方法不同于一般的矢量图,具有很强的实际意义。建设项目产品供应链模型如图 1 所示,表达了整个产品供应链运行的相互关系和作用。

设计单位根据业主要求确定设计任务,任务量与业主要求的数量和质量成正相关关系。根据设

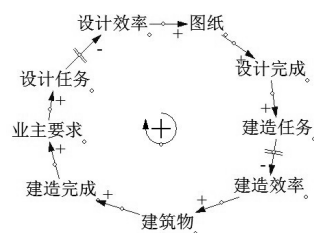


图 1 建设项目产品供应链因果关系图

计任务进行设计资源的调配,由于协调和沟通等问题,使得设计任务在转化为设计工作的过程中既需要多专业的协作又需要每个专业设计人员的任务有恰当的认识和理解,因而这一过程必定会造成项目的延迟,并且设计任务量越大,协调和沟通的难度相应也就越高,因而设计效率与设计任务成负相关关系。一旦设计人员得以完全理解项目的目的并全力设计时,设计效率越高,自然地,所得的设计成果——图纸也就越多,图纸快速完成也就促进了设计任务的完成,设计任务的完成也就促进了建造任务的早日明确。施工过程与设计过程的步骤基本类似,建造完成表明承包商所具有的实力,对承包商而言,这次的项目为下次类似项目的建设提供了更多的经验;对业主而言,下次类似项目的建设可能会提出更高的要求,故项目的完成对业主要求正是正强化的关系。虽然项目有结束的时候,但建设项目产品制造流程始终在不断循环持续,故建设项目产品供应链因果关系图呈环形持续运行。

1.2 系统动力学流图分析

系统动力学流图是描述复杂系统之间各变量相互关系以及相互影响机理的重要工具。本文以建设项目两大最终产品——图纸和建筑物为导向,通过前推其影响因素,得出整个流图(见图 2)。该图既包括建筑业两大最终产品的生产过程,又涵盖了劳动力在这一过程中起到的重要作用。全图从业主要求为开始,到建造完成为止,验证了项目管理整个流程各要素所发挥的作用。并且通过敏感性的模拟,可以得到各个变量,特别是业主要求变更和施工劳动力两大冲击下项目的劳动力情况和进度变化情况,为项目实际操作提供理论依据。两个表函数分别表示在工程项目进行到何时需要进场的工人人数。

2 模型设定及系统仿真案例

2.1 模型设定要素

(1) 仿真项目及初值设定。仿真项目采用上

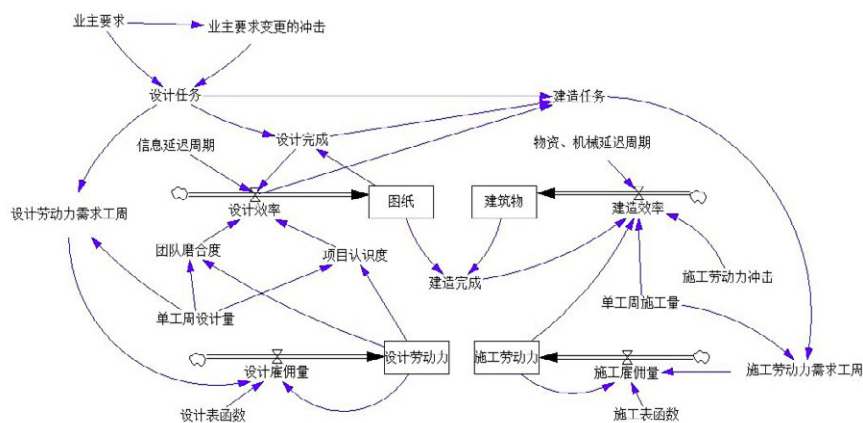


图 2 建设项目产品供应链系统动力学流程图

海某待建项目为例, 设项目总工程量可用图纸面积来表示, 共为 5000m^2 , 考虑到业主要求的变更可能给工程量带来的冲击, 故增加 10% 的增量, 则总工程量为 5500m^2 。应当注意的是, 这里是业主要求的变更所带来工程量的变更, 不同于前面假设时由于设计完成后设计不合理所造成的返工。根据项目的计划开展工期, 综合考虑可能的波动, 选择进行 35 周的仿真, 同时确定仿真步长为 1 周。同时考虑到进场劳动力可能变化, 根据该项目实际可能变动的情况, 设定项目劳动力可能带来的冲击为 20。根据实际情况, 给定单工周单人项目的设计量为 $5\text{m}^2/\text{人}$ 。对施工现场进行近似处理, 认为单工周单人项目的施工量为 $2\text{m}^2/\text{人}$ 。由于在设计过程中, 项目组存在设计个体之间的磨合和对项目认识程度的限制, 故根据项目的规模程度判断项目的信息再消化造成的延迟为 3 周。在建造工程中物资、机械往往不能有效到位, 根据现场实际情况, 认为物资、机械不能按时进场导致的延迟为 2 周。

(2) 图纸。图纸既是凝结着工程项目中人的设计劳动的结晶, 又是项目中所有参与者要接受的三维语言。图纸作为一个存量, 完成程度受初始值影响, 更重要的是受设计效率的影响。从供应链的角度而言, 在建设项目产品中, 图纸作为信息流的终点, 既提供了最终建设信息, 又为信息的实物化提供了重要支持。

(3) 设计效率。设计效率是控制图纸进度的核心, 是一个流量的概念, 其影响因素是极其复杂的。本文从简化模型的角度考虑设计的本质因素仍然是单人单工周的工作量以及所需要的工周数, 同时考虑在设计过程中可能存在的波折问题, 考虑相应的团队磨合度、项目认识度、信息延迟, 得到计算函数为: IF THEN ELSE (设计完成=1, 0,

SMOOTH(团队磨合度, 信息延迟周期)+SMOOTH(项目认识度, 信息延迟周期))。

(4) 建筑物。建筑物是工程项目的外在最直观的体现形式。建筑作为一个存量, 其完成程度受初始值影响, 但施工效率是对建筑物施工最重要的因素。从供应链的角度看, 在建设项目产品中, 建筑物作为物资流的终点, 既提供了物资的最终使用状态, 又验证了信息流的可行性。

(5) 施工效率。施工效率是控制建筑物建设进度的核心, 是一个流量的概念。本文仍然本着简化模型的思想, 考虑影响施工进度最本质因素, 单人单工周的施工量以及所需要的工周数, 同时考虑物资延迟, 得到计算函数为: 非 CM 模式: IF THEN ELSE (建造完成=1, 0, DELAY1(RAMP(单工周施工量*(施工劳动力+施工劳动力冲击), 16, 35), 物资、机械延迟周期)); CM 模式: IF THEN ELSE (建造完成=1, 0, DELAY1(RAMP(单工周施工量*(施工劳动力+施工劳动力冲击), 0, 35), 物资、机械延迟周期))。

(6) 表函数。模型中需要用辅助变量描述某些变量的非线性关系, 当能表达简单线性函数的辅助变量不能满足要求时, 需要通过表函数来描述。本文根据对同类规模项目的调查了解, 通过表函数描述了设计劳动力和施工劳动力在项目进行过程中的劳动力需求曲线, 如图 3 所示。

(7) 停止条件。建设过程的阶段性决定了停止条件的必要性。考虑到设计的目的是完成业主要求, 建设的目的是完成设计的要求, 故设定停止条件如下: 设计阶段: IF THEN ELSE (图纸>=设计任务, 1, 0); 施工阶段: IF THEN ELSE (建筑物>=图纸, 1, 0)。

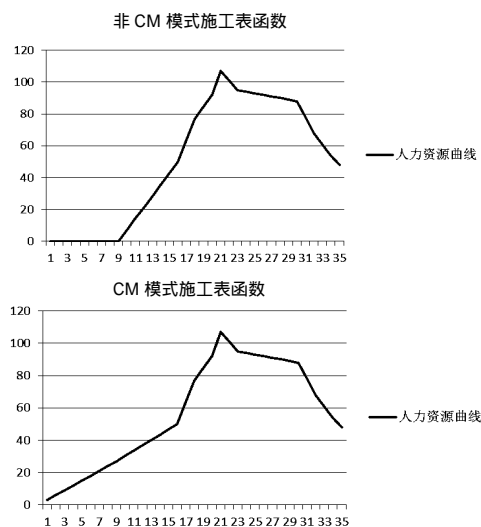


图 3 各类表函数

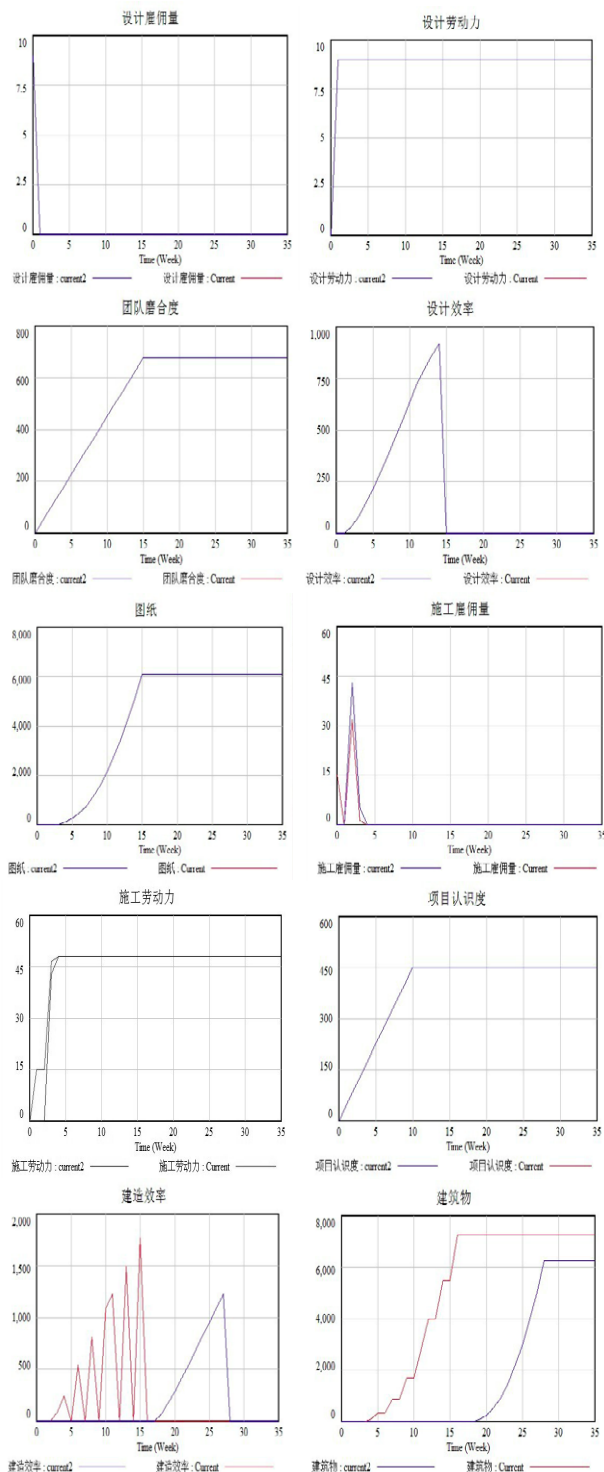
2.2 系统仿真案例

2.2.1 设计施工过程仿真

利用工程现有条件分别进行非 CM 模式与 CM 模式设计施工仿真, 得到结果如图 4 所示。

从仿真效果可以看出, 在设计这一部分, 非 CM 模式与 CM 模式差距不大, 设计劳动人员在首次招募 8 人之后不发生改变, 团队磨合度在设计的 15 周之内保持持续增长, 而项目认识度在 10 周之内保持增长后到 11 周达到完全认识。由于设计人数没有发生变化, 但随着团队磨合度和项目认识度的上升, 设计效率出现了持续提升, 直至 15 周才停止, 从图纸产出量也可以看出, 图纸的增长呈“J”字形增长, 直至 15 周停止。

在建设施工这一部分, 非 CM 模式与 CM 模式体现出差距, 并且 CM 模式显示出非 CM 模式所不具有的优势。从劳动力雇佣的角度, 在本次仿真条件下, 根据劳动力表函数, CM 模式分为两次雇佣, 使得劳动力雇佣的波动更加平缓, 反观非 CM 模式, 施工所有劳动力雇佣全在一次之内完成, 劳动力雇佣波动更加集中。从施工劳动力可以看出, 采用 CM 模式劳动力呈现阶梯形稳步增长的趋势, 而采用非 CM 模式劳动力突增趋势。从施工人员成熟度的提高, 建造效率总的来看呈现向上的趋势。但是对于 CM 模式而言, 需要一个阶段的设计完成后再搭接施工, 由于物资延迟, 故建造效率呈现脉冲式, 表现出 CM 模式下施工工作的特点。而相比较而言, 非 CM 模式由于设计完成后施工, 所以整个建造效率路径较为平滑, 在结束时达到最大。从最终建筑物完成路径来看, CM 模式的施工过程呈现明显的分阶段施工的特点, 这种间断主要是由于前面设定



注: Current 表示 CM 模式下建设施工状态, Current2 表示非 CM 模式下建设施工状态

图 4 非 CM 模式和 CM 模式设计施工过程仿真

物资存在延迟而造成的, 而非 CM 模式的施工过程一次到位, 比较连贯。从完成时间来看, 由于 CM 模式是下阶段设计时本阶段施工, 故设计施工总过程只需 16 周就可完成, 反观非 CM 模式, 由于在设计全部完成后再进行施工, 设计需 15 周, 施工需 13 周, 共计 28 周完成任务。模拟中建筑物完成

程度以及建造任务量并不完全重合, 主要是由于施工设定步长为工周, 不满一周以一周计所造成的误差, 但不影响整个工程进度结束周的确定。

2.2.2 模式的比较与选择

比较仿真结果可以看出, 无论对于非 CM 模式还是 CM 模式, 各有其优势和劣势, 如表 1 所示。

表 1 CM 模式与非 CM 模式优劣势研究

	CM 模式	非 CM 模式
优势	1.采用“快速路径法”生产组织方式, 有条件地实现“边设计、边招标、边施工” 2.减少设计变更。设计的可行性在随后的施工中可以得到反馈, 减少设计变更造成的风险。 3.劳动力雇佣量较平稳, 减少由于人数和技术等条件不满足造成“用工荒”的可能性 4.劳动力、物资等可按实际需求进场, 减少劳动力、物资等堆积造成的浪费 5.建设施工阶段分解明确, 利于施工控制	1.完全按照“先设计后施工”的生产组织方式, 生产过程严谨, 整个过程在对接环节产生的问题较少 2.由于资源需求量较大, 故一般需要提前准备相关配套资源, 故较少延迟 3.资源一次选购, 整个过程比较简洁
劣势	1.有条件的“三边”工程在实施过程中往往被误解成为完全的“三边工程” 2.设计、招标、施工过程衔接过程中可能出现对接问题 3.劳动力需要多次雇佣、进场, 手续比较繁琐 4.物资调动过程中出现物资延迟的可能性较大	1.设计完成后施工, 设计中出现的问题在施工中纠偏时间较晚, 可能造成的损失较大 2.设计施工总进度较慢, 难以快速完成任务 3.对配套资源要求高, 适合在资源充足的条件下使用 4.所有资源一次选购, 难以做出补救, 对采购者采购能力的要求较高

从两种模式的比较可以看出, 对于实际工程经验, 二者之间并不存在明显的孰优孰劣问题。关键在于选择一个正确的场合, 当资源充足, 工程质量要求高, 工期充裕, 现场管理人员经验丰富时, 选择 CM 模式的优势并不明显。而当资源少, 工期紧时, CM 模式在施工过程中“快速施工”的优势凸显, 能够快速高效完成项目。

3 结语

建设项目模式的选择永远是项目决策阶段必须考虑的问题。文中构建的建设项目在建设阶段的产品供应链模型具有一定的普适性, 能够在项目建设过程中起到一定的作用。在此模型的基础上进行仿真, 认为 CM 模式下建设项目进度的提高是毋庸置疑的, 这是采用 CM 模式最大的优势, 但 CM 模式与传统的“三边工程”有很多相似之处, 在实施过程中要避免 CM 模式流于形式而实质变成了“三边工程”是 CM 模式面临的最重要的问题。传统的非 CM 模式虽然资源要求较高, 但其控制过程完善, 利于建设项目质量的保证。据此提出项目模式的选择更重要的是根据实际情况和需要而非一味强调某种模式的优越性, 应当根据项目要求和现有条件综合进行模式的比选。

参考文献:

[1] 丁士昭. 工程项目管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

[2] Ebrahimy Y, AbouRizk S M, Fernando S, Mohamed Y. Symphony supply chain simulator: a simulation toolkit to model the supply chain of construction projects[J]. Simulation, v87, n8, Aug. 2011, 657-667.

[3] Yasser Ebrahimy, Simaan M. AbouRizk, Siri Fernando, Yasser Mohamed. Simulation modeling and sensitivity analysis of a tunneling construction project's supply chain[J]. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 18 Iss: 5, 2011, 462-480.

[4] Jati Utomo Dwi Hatmoko, Stephen Scott. Simulating The Impact of Supply Chain Management Practice on Construction Project Performance[C]. Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2006 - Procs 22nd Annual ARCOM Conference, v1, 447-457, 2006.

[5] Zhen LI, Shuping CHENG, Qingfeng MENG. A Modelling Framework for Construction Supply Chain Simulation Based on Multi-Agent[C]. ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development 2010 ASCE. 4694-4701.

[6] 朱翔华, 刘伊生. 建设项目供应链管理研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2007(6): 57-62.

[7] 王晓丽. 基于单项 Partnering 模式的建设项目供应链[J]. 物流工程与管理, 2010(3): 78-79.

作者简介:

陈 震 (1986-), 男, 博士研究生, 研究方向: 建设工程管理;

何清华 (1971-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向: 建设工程管理;

王森浩 (1983-), 男, 博士研究生, 研究方向: 建设工程管理;

解燕平 (1985-), 男, 博士研究生, 研究方向: 建设工程管理。