

文章编号:1007-5429(2014)06-0063-07

基于工程项目 SD 模型的并行建设策略研究

王宇静¹, 李永奎²

(1. 上海工程技术大学 管理学院, 上海 201620; 2. 同济大学 经济与管理学院, 上海, 200092)

摘要: 并行建设对建设工程项目进度和成本的影响具有动态性、反直观和非线性等特征, 传统项目管理方法对项目并行建设模式下的决策支持作用已显不足。在分析项目并行建设中不同工作之间的依赖关系、返工、工程变更、质量问题、资源约束、进度压力和组织决策等因素因果关系的基础上, 构建了建设工程项目 SD 模型。以该模型为“策略实验室”, 对实际项目进行仿真实验, 应用系统结构和行为相结合的方法, 对仿真结果进行机理分析, 可以得出使建设工程项目的工期和成本最优的并行建设策略。

关键词: 工程项目; 并行建设; 系统动力学; 计算机仿真

中图分类号: F224

文献标识码: A

The Research on Concurrent Construction Policy Based on Construction Project SD Model

WANG Yu-jing, LI Yong-kui

(1. Management School, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. School of Economic and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The effect on construction project schedule and cost of concurrent construction is dynamic, counterintuitive and nonlinear, so the decision-making supports of traditional project methods on construction project are insufficient under the pattern of concurrent construction. The causal relationships among dependencies of different works, rework, construction change, quality problems, constrained resource, scheduling pressure and organizational decision-making are analyzed, based on which construction project System Dynamic (SD) model is developed. Simulation experiments of actual construction project are conducted on this SD model which is used as a policy study lab, then mechanism of simulation results is analyzed by the method of combination of model structure and behavior, finally concurrent construction policy which makes duration and cost of construction project optimized is worked out.

Key words: construction project; concurrent construction; System Dynamic (SD); computer simulation

收稿日期:2014-03-20; 修回日期:2014-06-20

基金项目:国家自然科学基金重大项目子课题(71390523);国家自然科学基金资助项目(71471136);上海市高校青年教师培养资助计划专项基金(ZZGJD12034);上海市决策咨询课题(2014-YJ-B02)

作者简介:王宇静(1982-),女,讲师,博士,主要研究方向为建设工程管理。

1 引言

并行工程(Concurrent Engineering, CE)是对产品设计及其相关过程(包括制造过程和支持过程)进行并行一体化设计的一种系统化工作模式^[1],已广泛应用于制造业。鉴于并行工程在制造业取得的成功,CE 思想在建筑业的应用受到了关注^[2,3]。文献^[4]系统化地提出了“并行建设(Concurrent Construction)”的概念,将其定义为“在建设项目全寿命周期过程中采用集成化方法对所有活动进行规划和执行”。传统的建设生产方式具有线形、异步的特点,设计、采购、施工、交付顺序依次进行。并行建设模式下,工程项目各建设阶段、各阶段的建设活动尽可能并行化,以满足大幅缩短工期和提早获得投资效益的要求。

大型建设工程项目各阶段工作之间的关联度高,同时受到多种因素的影响,建设生产过程具有较高的动态性和不确定性。一些学者针对 CPM 和 PERT 等传统的项目管理工具的不足,将设计结构矩阵(Design Structure Matrix, DSM)应用于并行工程中,用来表达不同工作之间的依赖和交叉关系^[5,6]。文献^[7]在 DSM 中考虑了成本和工期的不确定性,提出了由遗传算法和蒙特卡洛模拟构成的工序优化模型。然而,DSM 的不足之处在于无法将对工程项目实施过程产生重要影响的外界因素纳入模型之内,因此对工程项目管理的决策支持作用相对较弱。

系统动力学(System Dynamics, SD)模型能够较好地再现实际复杂系统,近年来用于各类复杂项目的计划与管理里中^[8-10]。本文将建设工程项目不同阶段工作之间的关联性、工程变更、工程质量、返工、资源分配、生产效率、进度压力和管理决策等多种因素考虑在内,构建了并行建设模式下的系统动力学模型;以该模型作为策略研究实验室,对实验项目作仿真实验,可为大型建设工程并行建设下的策略选择提供决策支持作用。

2 问题描述和模型构建

2.1 问题描述

并行建设能够加快项目建设进度,尽早获得项目的投资效益。另一方面,也会带来更大的风险和不确定性^[11]。在建设工程项目中,由于不同工作之间存在着较强的依赖关系,建设过程并行后,某项工

作的工程变更或工程质量问题往往会给上下游工作带来大量的返工和进度压力问题。这些问题再与建设过程中的生产效率、资源约束、组织决策等因素交互作用,可能导致项目额外成本的增加并且不一定能够达到缩短项目工期的目的。因此,并行建设对工程项目的正、负影响并存,并表现出动态、非线性和反直观的特征。

建设工程项目系统动力学模型就是应用系统动力学的理论和方法,将并行建设中不同工作之间的依赖关系、动态建设过程、返工、工程变更、质量问题、组织协调和资源约束、进度压力等多种因素考虑在内,描述各因素之间的因果关系,以反映实际建设工程项目的动态过程和系统运行规律。

并行建设的策略研究就是以工程项目的 SD 模型为“策略实验室”,对实际项目进行仿真实验,结合 SD 模型结构,对仿真结果进行分析,最终确定并行建设中不同工作之间的并行程度、项目控制策略、决策等待时间和变更决策等策略。本文重点解决并行建设中如何确定工作之间的并行程度使建设工程项目的工期和成本最优的问题。

2.2 并行建设因果关系分析

识别系统内因果反馈回路是构建系统动力学模型的基础,图 1 给出了工程项目并行建设中的因果反馈回路,下面分别分析设计与施工并行和施工过程中不同工作并行存在的因果回路。

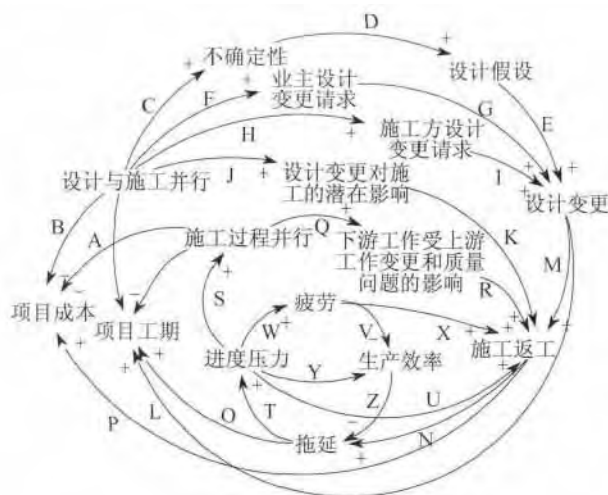


图 1 工程项目并行建设因果反馈回路(基于文献^[10])

(1) 设计施工并行因果关系分析

图 1 中粗箭线是设计阶段与施工阶段并行可能触发的回路。设计施工并行给项目带来的正面效应是缩短工期,使项目的投资效益最大化从而降低项目总成本,分别对应因果链 A 和因果链 B。但在工

程实践中,设计施工并行也伴随着负效应的产生。

首先,设计与施工并行会触发三条因果链(C—D—E、F—G和H—I)致使设计变更的数量增加。第一,设计工作往往需要在信息不完备的条件下开展,不确定性(链C)增加,导致设计假设增多(链D),降低了设计质量,从而使设计变更频繁发生(链E)。第二,与设计和施工串行的建设方式相比,设计阶段业主需求不明确的可能性增加导致业主提出的设计变更请求增多(链F),从而增加了设计变更(链G)。第三,在时间约束和各种不确定性因素存在的情况下,施工方提出的设计变更请求也增多(链H),因而增加了设计变更数量(链I)。

设计变更不断发生,设计返工增多,推后了设计进度,使得施工推后乃至整个项目工期推后(链L);此外,设计变更干扰了施工任务的正常开展,施工返工随之增多(链M)。

其次,设计与施工并行增加了设计阶段发生的变更对施工阶段的潜在影响(链J)。在设计施工串行的项目建设方式中,设计阶段的变更发生在施工还没有开始前,因此不会对施工产生影响,而设计施工并行后,该变更可能会导致已开始施工的部分工作返工(链K)。施工阶段返工增多,推迟了项目工期(链N—O),并使项目成本增加(链P)。

(2) 施工过程并行因果关系分析

图1中未加粗的箭线构成了施工过程并行触发的反馈回路。施工过程并行在发挥加快项目进度和降低项目成本的正效应时,同样产生了负效应。施工并行过程增多,使上游工作对下游工作的影响增加(链Q),上游工作的质量问题和变更可能会导致

已开始的下游工作返工(链R)。施工阶段的返工增多使项目拖延(链N)进而产生了进度压力(链T),进度压力之下管理者可能会进一步实施并行施工(链S)以赶进度,如此构成了正反馈回路Q—R—N—T—S—Q。此外,进度压力对施工质量和生产效率都会产生影响,构成正反馈回路W—V—Z—S—W和W—X—N—S—W。正反馈回路的存在使施工过程并行对项目成本和项目工期产生的负效应不断增强。

综上所述,并行建设在缩短工期和降低成本的同时,项目建设过程的不确定性增加,设计变更和质量问题增多,它们进一步触发了项目系统内的正反馈回路,从而对项目绩效产生了负效应。多重正负反馈回路并存,增强了项目的复杂性,项目绩效也常表现出反直观性。

2.3 工程项目SD模型的构建

2.3.1 工作依赖关系建模

采用并行建设模式实施建设工程项目,工作之间除了网络计划中各项工作之间的开始—开始(SS)、开始—完成(SF)、完成—开始(FS)和完成—完成(FF)等开始和结束的时间制约外,还存在着工作开始后上下游工作的依赖关系。SD模型中用多个表函数^[12]表示工作依赖关系,如图2所示^[12]。图(a)表示当前工作*i*待上游工作*j*完成一定百分比后,即可全面展开。图(b)表示工作*i*与工作*j*同时开始,并保持线性同步并行关系;图(c)表示工作*i*在工作*j*完成30%后可开始,且随后两者保持相互依赖的非线性的并行关系。

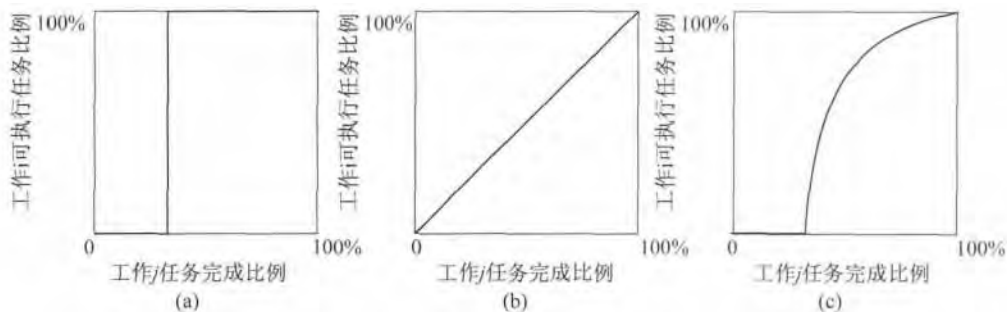


图2 并行建设工作依赖关系曲线示例

2.3.2 并行建设过程模型

在上述因果关系分析的基础上,应用系统动力学中的“流量—存量”结构对建设项目并行建设过程建模,如图3所示。该模型表达了项目建设过程中不同工作根据上述定义的“依赖关系”,按照先后顺

序从“待完成任务”历经不同状态被执行完毕变成“已完成任务”状态的物质流动过程。工作之间不存在依赖关系并且没有工程变更和工程质量问题出现时,项目系统内部的工作流从系统流图左端到右端流动。而实际情况是这些因素不可避免,并与管理

决策、质检可靠性等多种因素交互作用,引发了从系统流图右到左端的非增值的物质流动,即“已完成任务”需要返工重新进入“待完成任务”状态,因而构成

了系统内部多重非增值循环,扰乱了项目的正常建设过程,使项目没能按照项目进度计划执行。

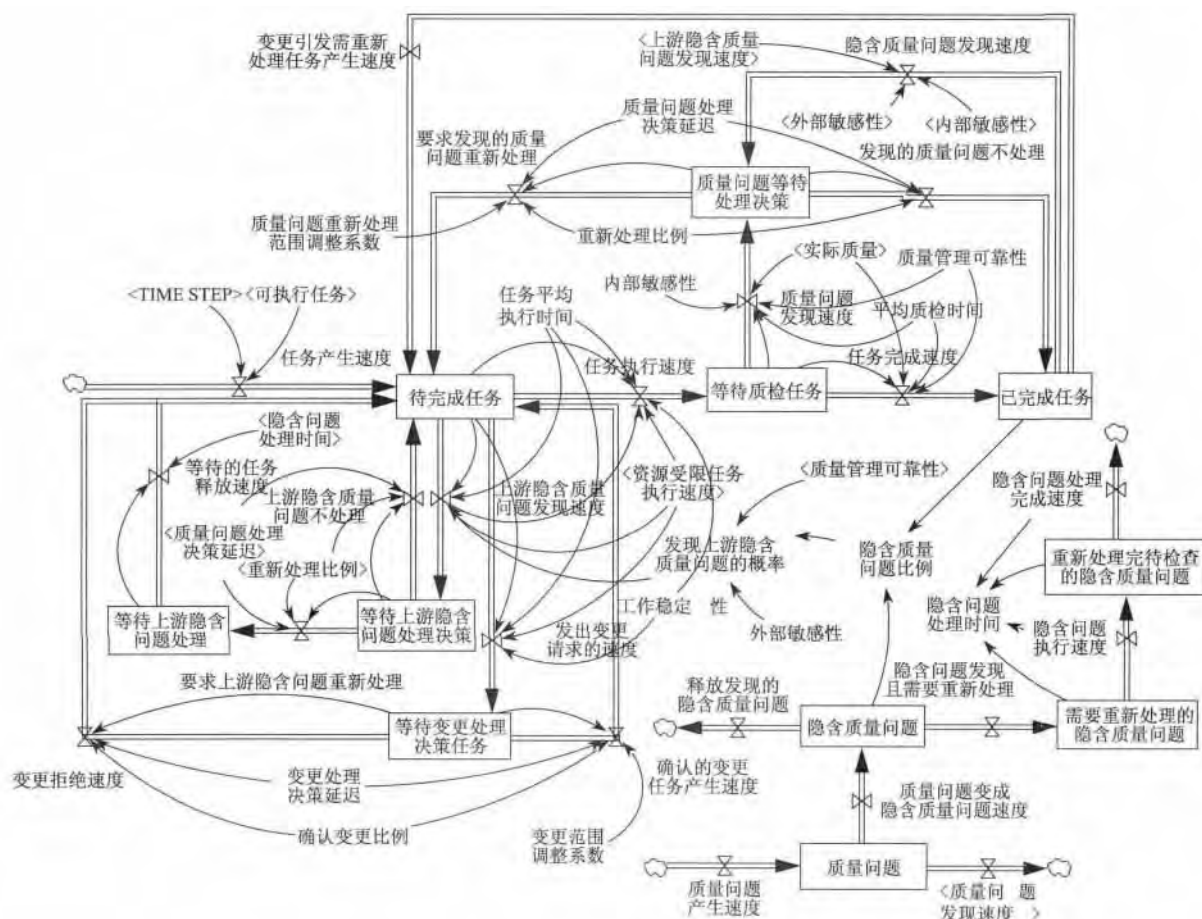


图 3 建设工程项目并行建设过程模型(基于文献[12])

2.3.3 建设工程项目其他子系统模型

项目建设过程中,工作任务的执行同时还受到生产效率、资源约束、进度压力和进度目标设置和管理决策等因素的影响,分析其因果关系,建立项目“范围子系统”、“资源管理子系统”、“项目表现子系统”和“项目目标子系统”模型,可参见文献[12]。

3 仿真实验与仿真结果分析

以构建的建设工程项目 SD 模型为“策略实验室”,对实验项目进行仿真,通过调整表示工作并行关系的参数,得出不同并行状态下项目绩效的仿真值,通过对仿真结果的分析得出实验项目的最优并行策略。

3.1 仿真实验

对实验项目设置并行程度为 0%(设计与施工串行)、25%、50%、75%和 100%五种模拟场景对工程项目 SD 模型进行仿真实验。观察不同场景下模

型变量“项目工期”、“设计变更”、“劳动力资源”和“施工返工”的模拟值,得出项目在设计施工并行 25%和 50%时的模拟值增长幅度很大,为进一步获得准确的并行策略,增加并行度为 35%的模拟场景。各模拟场景下实验项目工期、设计变更、劳动力资源和施工返工的仿真结果如表 1 所示。表中“偏差(%)”为每个模拟场景下不同模拟值相对于设计施工串行模拟结果的偏差。设计变更和施工返工用工作任务数度量,单位为“工作单元”(简称 WU),劳动力资源数量用项目的累计工日度量,单位为“人天”。

表 1 项目工期栏中的“并行模拟值”是同时考虑设计和施工并行后实际存在的正负面影响时的工期模拟值,“并行期望值”为不考虑设计施工并行负面影响时的理想工期。图 4 是期望缩短工期与模拟缩短工期对比图,该图直观地反映出了两者存在的差距,其差值体现了设计施工并行对项目工期产生的

负面影响。

表1 设计与施工并行对项目绩效的影响

CASES	并行程度	项目工期				设计变更		施工返工		劳动力资源	
		并行模拟值		并行期望值		数值(WU)	偏差(%)	数值(WU)	偏差(%)	数值(人天)	偏差(%)
		数值(天)	偏差(%)	数值(天)	偏差(%)						
case1	并行 0%	687	0.00	687	0.00	1626	0.00	15402	0.00	116867	0.00
case2	并行 25%	677	-1.46	662	-3.64	1705	4.86	15505	0.67	117160	0.25
case3	并行 35%	672	-2.18	653	-4.95	1792	10.21	15605	1.32	117554	0.59
case4	并行 50%	666	-3.06	640	-6.84	2000	23.00	15822	2.73	118141	1.09
case5	并行 75%	657	-4.37	617	-10.19	2142	31.73	16211	5.25	118912	1.75
case6	并行 100	650	-5.39	595	-13.39	2392	47.11	16543	7.41	119321	2.10

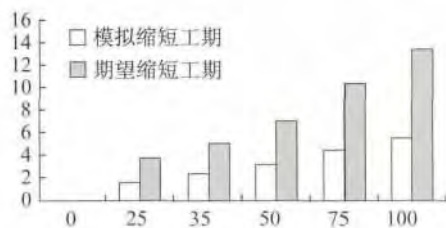


图4 设计施工并行期望缩短工期与模拟缩短工期对比

从表1中可以看出,随着并行程度的提高,设计变更、劳动力资源数和施工返工在不断增加。设计施工并行35%时,设计变更增加10.21%,劳动力资源增加0.59%,施工返工增加1.32%。设计施工并行100%时,设计变更增加47.11%,劳动力资源增加2.1%,施工返工增加7.41%。增幅最大的是设计变更,其次是施工返工。设计变更、劳动力资源数量和施工返工的增长共同反映了设计施工并行对项目成本的负面影响。

3.2 仿真结果分析

下面用工程项目SD模型的系统动力学流图结构对以上仿真结果进行分析。设计施工并行对项目建设过程的影响,在图5过程模型流图结构中表现为加强了设计和施工阶段任务执行过程的非增值循环,图中用实心“管道”表示了增强的非增值回路。

设计阶段,条件不确定的情况下设计质量降低,已经完成进入到“等待质检任务”状态的设计工作被发现质量问题后要求整改,重新返回到“待完成任务”状态,即增强了非增值回路L2-L3-L4;业主方和施工方变更请求增多,使得本处于“待完成任务”状态的设计任务不能执行,需等待变更请求处理完成后才能继续开始,即增强了回路L13-L14和回路L13-L15;由于设计任务之间存在着“内部敏感性”,如当某项目的结构专业设计发生变更时,暖通专业设计会受到影响,因此,回路L14中“确认的

变更产生速度”又引发了其他已经完成的设计任务返工,增强了循环L2-L6-L8。

并行建设中,设计还没有结束时施工已经开始,设计过程中L14增强的同时,与发生变更的设计存在敏感性的已施工完成的任务需要返工执行,增强了施工阶段的回路L2-L6-L8。在施工阶段,因发现设计存在质量缺陷需对其进行处理,增强了循环L9-L10和L9-L11-L12,设计阶段的循环L2-L6-L7-L4也会增加。施工过程中,潜在的变更增多,诱发循环L13-L14和L13-L15。

综合上述分析可知,设计与施工并行产生的项目工期延长和项目成本增加两方面的负效应的根源在于,并行增加了项目执行过程中的多重非增值循环,从而增加了项目额外工作任务、任务等待决策的时间、任务执行时间和项目资源。而随着并行程度的进一步增加,图5中的非增值循环会随之增强,并行产生的负效应也随之增加。

4 并行建设的策略选择

下面通过对仿真结果的对比分析来选择实验项目的并行策略,即设计与施工并行程度为多少时并行对项目的正效应最大。为观察项目工期、施工返工、设计变更和劳动力资源的受并行程度对影响的变化趋势,设并行程度为100%时的仿真值偏差为1,以其为基准,对其他不同并行程度下的仿真值偏差进行标准化计算,计算后数值直观地显示了不同的设计与施工并行度对项目影响的变化趋势,如图6所示。

项目施工返工、设计变更和劳动力资源的变化趋势是当设计施工并行程度小于35%时接近线性增长,且增速较小,即此时并行的负面影响较小;并行程度大于35%以后,增速不断加大,即并行的负面影响变大。项目工期的变化趋势是设计施工并行

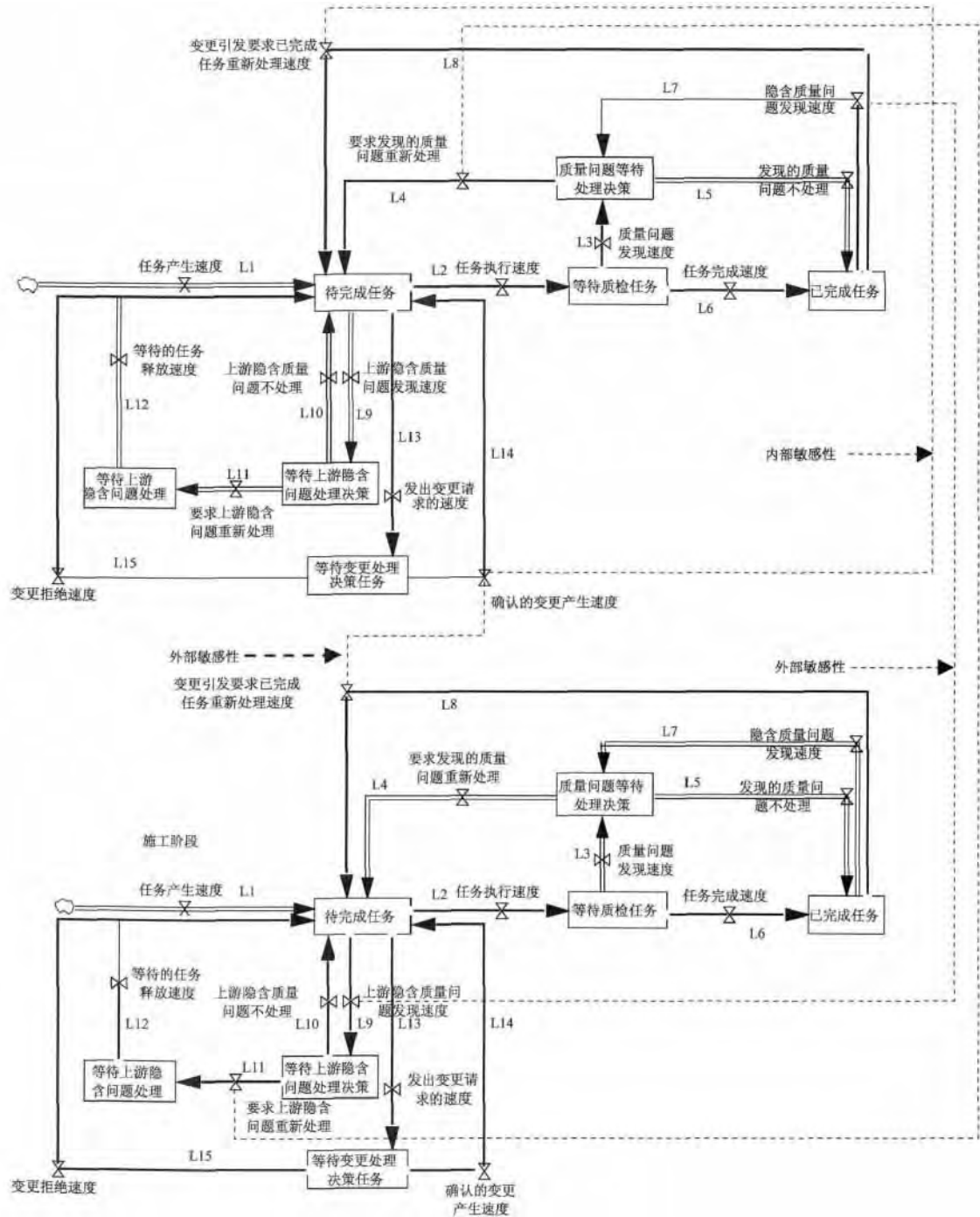


图 5 设计与施工并行对建设过程的影响

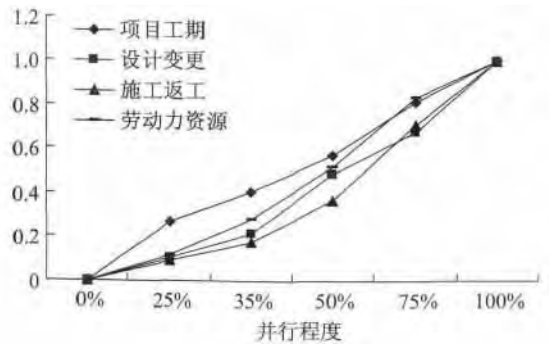


图 6 设计与施工并行对项目影响程度的变化趋势

程度小于 25% 时工期缩短的幅度大, 即此时并行的正面影响大并程度大于 25% 后, 工期缩短幅度减小, 即并行对工期的正面影响变小。因此, 对于实验项目, 可将并行策略定为设计与施工并行 25% 到 35% 之间, 即设计完成 65% 至 75% 后开始施工阶段的工作为宜, 此时设计与施工并行可以最大化地缩短工期, 并且对施工返工、设计变更和劳动力资源的负面影响最低。若在实际工程中, 项目存在较大的工期压力需增加设计与施工的并行程度时, 可借助以上并行对项目产生负面影响的机理分析方法, 进

一步找出降低并行对项目的负面影响的措施,如加强项目的组织管理,提高决策准确度和缩短项目决策时间等。

5 结论

由于建设项目生产过程和组织环境的复杂性,并行建设对建设项目的正负影响并存,使建设项目的工期和成本表现出动态性、非线性和反直观性等特点。建设工程项目 SD 模型将并行建设中不同工作之间的依赖关系、动态建设过程、返工、工程变更、质量问题、资源约束、进度压力和组织管理等多种因素考虑在内,定量各因素之间的因果关系,与传统项目管理工具相比,能够较好反映实际系统的动态过程和运行规律。以项目 SD 模型为策略研究实验室,对实际项目进行仿真实验,应用系统结构和行为相结合的方法,对仿真结果进行机理分析,可以得出使建设工程项目的工期和成本最优的并行建设程度。以项目 SD 模型为策略研究实验室,还可用相同方法进一步确定出并行建设中项目控制策略、决策等待时间和变更决策等策略。

参考文献:

- [1] Winner R I, Pennell J P, Bertrand H E, et al. The role of concurrent engineering in Weapons system acquisition[R]. Virginia: Institute for Defense Analyses, 1988.
- [2] Kamara J M, Anumba C J, Evbuomwan N F O. Assessing the suitability of current briefing practices in construction with a concurrent engineering framework[J]. International Journal of

Project Management, 2001, 19(6): 337-351.

- [3] Maheswari J U, Varghese K, Sridharan T. Application of dependency structure matrix for activity sequencing in concurrent engineering projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2006, 132(5): 482-490.
- [4] Love P E D, Gunasekaran A. Introduction to Concurrent Engineering in construction[J]. Concurrent Engineering, 1997, 5(2): 155-162.
- [5] Altus S S, Kroo I M, Gage P J. A genetic algorithm for scheduling and decomposition of multidisciplinary design problems[J]. Journal of Mechanical Design, 1996, 118(4): 486-489.
- [6] Austin S, Baldwin A, Li B, et al. Analytical design planning technique (ADePT): a dependency structure matrix tool to schedule the building design process [J]. Construction Management and Economics, 2000, 18(2): 173-182.
- [7] 赵振宇, 游维扬等. 基于遗传算法和蒙特卡洛模拟的并行工程设计工序优化[J]. 土木工程学报, 2009, 42(2): 139-144.
- [8] Lyneis J M, Ford D N. System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research[J]. System Dynamics Review, 2007, 23(2): 157-189.
- [9] Park M, Pena-mora F. Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into mode-I based project management [J]. System Dynamic Review, 2003, 19(3): 213-242.
- [10] Pena-mora F, Park M. Dynamic planning for fast-tracking building construction projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2001, 127(6): 445-456.
- [11] Georgy M E. Evolutionary resource scheduler for linear projects [J]. Automation in Construction, 2008, 17(5): 573-583.
- [12] 王宇静, 李永奎. 基于系统动力学的大型复杂建设项目计划模型[J]. 工业工程与管理, 2010, 15(3): 87-94.

(上接第 62 页)

多余物料,减少浪费的同时保证生产持续运行。同时,使用物料空盒当作线下准备区的加工看板,使得线下准备区作业更加有序。CPS 方式适合于物料品种多、周转率高、物料大部分需要线下二次加工和准备的生产作业方式。虽然经过整流化精益改善,使得 DAM 生产线取得了一些成果,但要实现更高水平的精益生产还需要进行持续改进和带动整个制造供应链的改进。

参考文献:

- [1] 谢文明, 江志斌, 储熠冰. 服务型制造在传统制造业的应用——上海电气案例研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(6): 91-96.
- [2] Yang Chang-Lin, Chuang Shan-Ping, Huang Rong-Hua. Manufacturing evaluation system based on AHP/ANP approach for wafer fabricating industry [J]. Expert Systems

with Applications, 2009, 36(6): 11369-11377.

- [3] Henry C C. Streaming material flow in flexible manufacturing system: a lesson in simplicity [J]. The International Journal of Production Research, 1992, 30(7): 1483-1499.
- [4] Ruhland M. Making the case for lean manufacturing: streamlining operation can help finishers improve product quality and trim the costs at the same time [J]. Metal Finishing, 2006, 106(12): 15-18.
- [5] 肖燕, 贾秋红, 周康渠等. 某发动机总装线看板生产系统建模与仿真[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(10): 2177-2182.
- [6] 侯东亮, 何桂浩. 电子产品生产线物流工位器具的改善与设计[J]. 工业工程与管理, 2013, 18(6): 30-34.
- [7] 简宇, 郭洁. 基于 JIT 的流水线生产效率提升方法研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(3): 124-128.
- [8] 郑永前, 项德海. 基于单向环形方式的制造单元布局方法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(6): 1224-1231.
- [9] 简宇, 赵宗元. SPS 模式下零部件配送质量的混流装配线总装排序[J]. 工业工程, 2013, 16(2): 112-116.