

运用系统动力学模型进行项目时间/成本估算

宁晓倩¹ 王其藩²(复旦大学管理学院, 博士生¹; 教授、博士生导师² 上海 200433)

〔摘要〕 不确定性和非线性是决定项目复杂性的重要因素。本文通过建立系统动力学模型成功地描述了项目过程, 并模拟研究了项目中各变量, 特别是返工对项目时间和成本的影响, 弥补了传统的项目管理方法的不足, 在帮助项目管理者确定目标时间和成本方面有实践意义。

〔关键词〕 项目管理 系统动力学 动力学模型

〔中图分类号〕 F275

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2004)09-0054-04

APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS MODEL IN PROJECT TIME AND COST ESTIMATE

NING Xiao-qian WANG Qi-fan

(School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: The complexity of project makes it difficult to predict its time and cost performance. The paper establishes a system dynamics simulation model to study project time and cost behavior, and will be helpful to project budgeting practice.

Key Words: project budgeting, system dynamics, dynamics model

CLC Number: F275

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)09-0054-04

1 引言

随着生产管理方式和组织结构的不断演进, 项目管理已成为一种重要的管理模式。项目具有不同于普通生产作业的独特性和复杂性。传统的项目管理方法, 如甘特图、关键路径法和计划评审技术, 都建立在项目可以分解为独立的工作包和任务的假设之上, 并根据对各任务所需时间和资源的估计和假定的任务间的关系来估算整个项目的时间和成本。这种自下而上的方法常常使项目管理者局限于细节问题, 而忽略了实际项目运行中任务之间的相互作用对项目整体的影响。并且, 传统的项目管理方法假定项目能够按照项目开始时编制的“最优”计划进行, 而忽略了返工的影响, 导致对时间和成本的低估。但是由于项目的独特性, 与之相关的各种信息是随着项目的展开不断完备的, 因而在实际的项目运作中返工常常不可避免, 其影响也是不可忽视的。例如, 定义阶段的错误直到实施阶段才发现, 这将导致所有受此错误影响的任务返工, 造成项目时间和成本的增加。这种影响往往是非线性的, 在传统的网络图中难以表达, 并且超出了项目管理者脑力所能达到的理解范围^[1]。

系统动力学提供了一种自上而下的、从战略层面描述项目进展、估计项目时间、成本风险的方法。

这种方法把项目视为一个整体, 而不是一系列任务的简单组合, 并能有效地描述项目中的返工等回路和任务间的非线性关系, 有助于项目管理者理解项目过程对项目表现的影响, 从宏观上对项目进行估计和把握。

2 模型的建立

模型模拟了一个多阶段的、各阶段间相互依赖的一般意义上的项目。项目的每一个阶段由一系列相似的活动组成, 如定义阶段、设计阶段等。阶段数目的多少根据项目管理者需要, 由项目自上而下分解的深度决定。项目阶段在模型中用数组来表示, 如一个 5 阶段项目中各阶段需完成

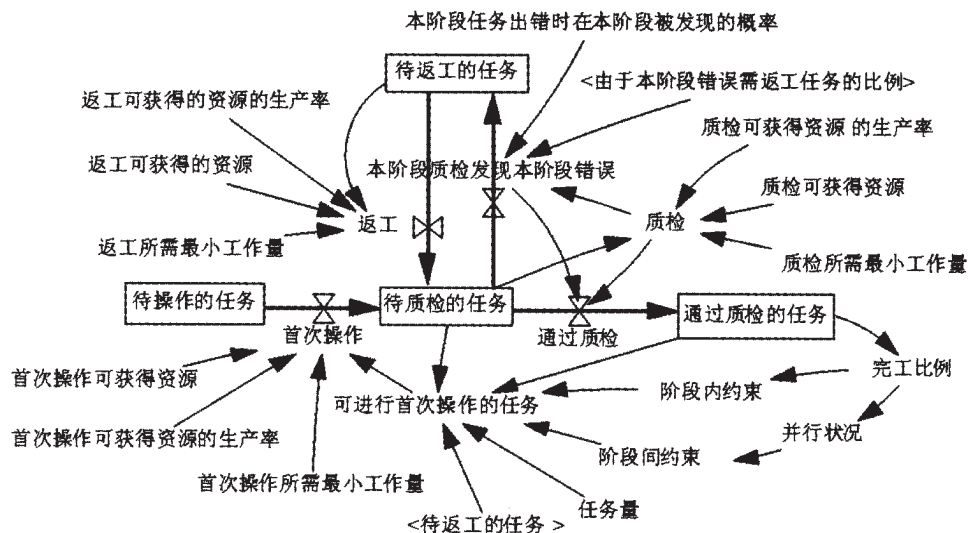


图 1 项目基本过程流程图

错误在项目各阶段的首次操作与返工中产生。一部分


$$\begin{aligned} \text{待质检的需返工任务}_{(j),t+1} = & \text{待质检的需返工任务}_{(j),t} + dt * \\ & \text{产生需返工任务}_{(j)} - dt * \text{本阶段质检发现本阶段错误}_{(j)} - dt * \\ & \text{需返工但通过本阶段质检}_{(j)} \end{aligned} \quad (13)$$

未被查出的需返工任务 $(j)_{t+1}$ =未被查出的需返工任务 $(j)_t + dt * \text{需返工但通过本阶段质检} (j) - dt * \text{下游阶段发现本阶段错误} (j)$ (14)

产生需返工任务 (j) =(首次操作 (j) +返工 (j)) * 产生错误的概率 (j) (15)

需返工但通过本阶段质检 (j) =通过质检 (j) * (由于本阶段错误需返工任务的比例 (j) * (1-本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率 (j))/(1-由于本阶段错误需返工任务的比例 (j) +由于本阶段错误需返工任务的比例 (j) * (1-本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率 (j))) (16)

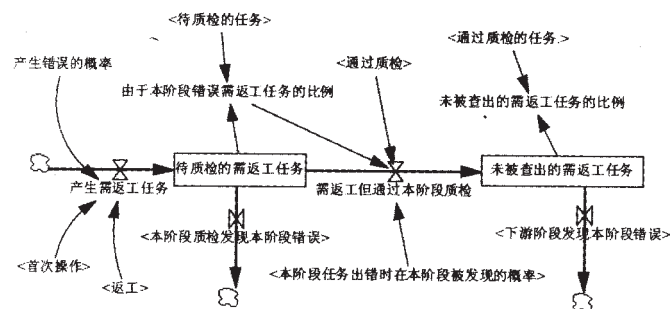


图3 错误比例流程图

2.4 项目时间和成本 模型的主要目的在于帮助管理者估计整个项目所需的时间及成本。描述时间、成本的结构分别如图4、5所示。

相关公式为：

工作时间 = IF (通过质检的任务 (j) <任务量 (j) , TIMESTEP,0) (17)

成本增加 (j) =(首次操作 (j) /首次操作可获得资源的生产率 (j) +质检 (j) /质检可获得资源的生产率 (j) +返工 (j) /返工可获得的资源的生产率 (j)) * 单位资源成本 (18)

上述有关成本的公式表明了模型假设项目所需的资源在已获得的范围内具有完全的弹性，即各活动所利用的资源可以根据各活动的实际需要不超过可获得资源的范围

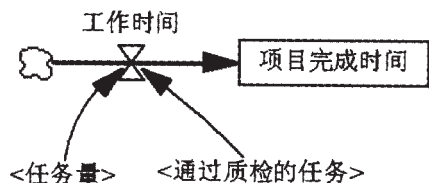


图4 项目完成时间流程图

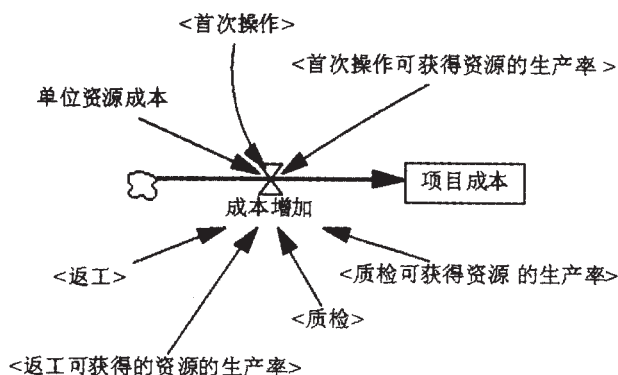


图5 项目成本流程图

内调整。这种假设的合理性在实际项目中体现为资源过剩时可以闲置不用，而资源不足时则要费较大的努力去增加资源。

以上各部分模型结构均通过了建模软件的检验与测试。

3 参数的设置

模型有任务量、阶段间约束(并行状况)、阶段内约束、首次操作所需最小工作量、质检所需最小工作量、返工所需最小工作量、首次操作可获得资源、质检可获得资源、返工可获得资源、首次操作可获得资源的生产率、质检可获得资源的生产率、返工可获得资源的生产率、产生错误的概率、本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率、上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率和单位资源成本等16个参数。这些参数均为数组变量，每一个数组变量中的各元素代表该变量在项目各阶段的不同取值。不同的参数组合可以表示不同的项目。项目管理者根据以往的经验对这些参数进行估计。正是这些参数分布状况决定了项目的时间和成本风险。实践证明， β 分布能够描述项目中多种变量的分布状况^[4]。在模型中，阶段间约束(并行状况)和阶段内约束用表函数表示。假设除此之外的14个参数均服从 β 分布。首先根据历史数据确定其最小值A、最大值B，并对其 α 和 β 进行估计，公式为：

$$\hat{\alpha} = \bar{x} \left[\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{S^2} - 1 \right] \quad (19)$$

$$\hat{\beta} = (1-\bar{x}) \left[\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{S^2} - 1 \right] \quad (20)$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

模型用公式为：

$$A + (B - A) \frac{\ln \prod_{i=1}^{\alpha} U_i(0,1)}{\ln \prod_{i=1}^{\alpha} U_i(0,1) + \ln \prod_{j=1}^{\beta} U_j(0,1)} \quad (21)$$

利用此公式可以随机产生各参数的值，其中 $U(0,1)$ 为0到1之间的随机分布， α 、 β 分别为最接近 $\hat{\alpha}$ 与 $\hat{\beta}$ 的整数。

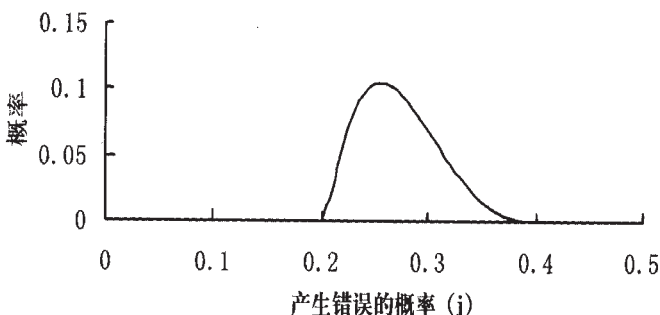


图6 错误产生概率的参数估计

例如，若历史数据表明某阶段产生错误的概率在0.2~0.4之间，并且估计所得的 α 和 β 分别为2和4，则此阶段产生错误的概率的分布如图6所示。

4 模拟的结果

4.1 不同参数组合对项目时间和成本的影响 图7中的两条曲线分别为对两组不同的参数各模拟200次所得到的项目完成时间的累计分布。两组不同的参数代表两个不同的项目A和B。这两个项目的任务量、任务间的相互关系相同,即两组参数的任务量、阶段间约束(并行状况)和阶段内约束相同。并且两个项目其余12个参数(单位资源成本不影响对项目时间的估计)的各元素的最大值、最小值也对应相同,即模拟结果显示了两组参数各参数元素分布曲线的不同形状对项目完成时间的影响。对于每一组参数,每次模拟时,各参数的值由其A、B、 α 与 β 所决定的 β 分布随机产生。这样,对于每一组参数,模拟200次就会产生200个时间,这200个时间的累计分布呈S形。S形曲线的最大值和最小值分别由各参数的最优和最差组合所决定。最优组合指当各阶段的各操作的最小工作量、产生错误的概率、本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率、上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率各自取其最小值A,当各阶段的各操作可获得资源、各操作可获得资源的生产率各自取其最大值B时的组合;反之为最差组合。

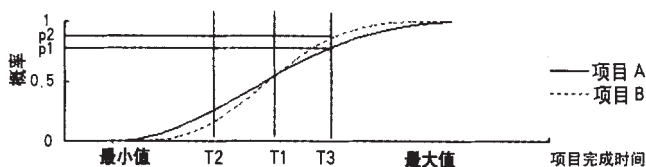


图7 不同参数组合对项目时间的影响

项目管理者根据模拟结果,可得知项目在某一目标时间内完成的可能性。例如,项目A和B在时间T3内完成的可能性分别为P1和P2。项目管理者可依据各自的风险态度在最大值与最小值之间确定项目的目标完成时间。

模拟所得的S形曲线的形状反映了项目时间风险的性质。S形曲线越平缓,项目的时间风险相对越小。如图7中,在最小值到T1之间的时间区间内,对某一特定的目标时间而言,项目B不能按时完成的风险大于项目A;在T1到最大值之间的时间区间内,对某一特定的目标时间而言,项目A不能按时完成的风险大于项目B。

模拟结果表明,不同参数分布状况对项目的时间风险有重要影响。项目管理者应根据历史数据对各参数的分布有清楚的认识,从而能更好地理解与把握项目的时间风险。对于项目成本,也可以得到类似的模拟结果。

4.2 返工对项目时间和成本的影响 由各阶段产生错误的概率、本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率和上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率决定的项目返工情况对项目在时间和成本方面的表现有重要影响。

图8中的两条曲线分别为在各阶段的本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率和上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率正常取值的情况下,各阶段产生错误的概率为0和正常取值时项目的时间与成本表现。可以看出,返工为项目计划和预算中一个不可忽视的因素。

在3个影响返工的参数中,各阶段产生错误的概率只决定了错误的产生,而返工的次数和何时返工则由本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率和上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率共同决定。图9中的4条曲线显

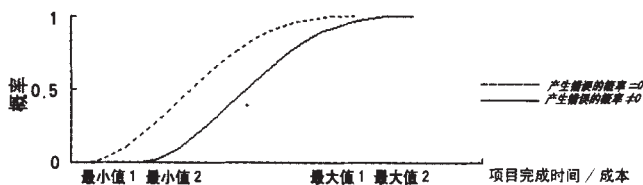


图8 错误产生概率对项目时间和成本的影响

示了在各阶段产生错误的概率正常取值的情况下,本阶段任务出错时在本阶段被发现的概率和上游阶段任务出错时本阶段任务需返工的概率的不同组合对项目时间和成本的影响。当上游阶段的错误对下游阶段影响不大时,上游阶段的质检越不严格,项目越有可能在目标时间和成本内完成,但项目的质量越差;当上游阶段的错误对下游阶段的任务有着较大影响时,上游阶段严格的质检可以减少下游阶段的返工,因此这不仅有助于提高项目质量,也有助于缩短项目时间、降低项目成本。

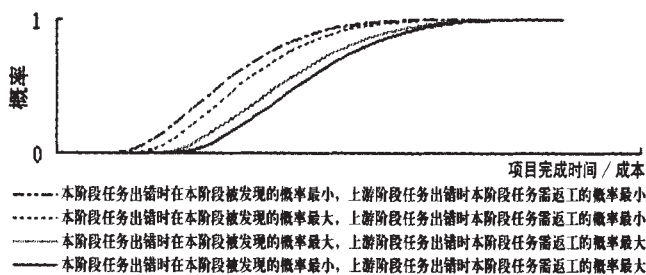


图9 不同返工情况对项目时间和成本的影响

5 结论

本模型用系统动力学的方法从战略层面模拟研究了项目管理过程及相关变量,特别是返工对项目时间和成本的影响。与传统的网络图等项目管理方法相比,系统动力学方法有以下特点。

(1)把项目过程视为各项任务从未完成状态变为完成状态的工作流,自上而下地对项目进行分解、描述,向下分解的深度取决于管理者计划或预算的需要。这有助于帮助项目管理者从整体上对项目进行把握,而不拘泥于细节问题。

(2)能有效地描述项目中的返工等回路和工序间的非线性关系,弥补了CPM和PERT等传统项目管理方法的不足。

(3)模型可以作为政策试验工具,对各种不同参数组合所代表的项目条件进行模拟,找出影响项目时间、成本的杠杆点,作为预测或管理的重点。

参考文献(References)

- [1]Alexandre Rodrigues. The role of system dynamics in project management [J]. International Journal of Project Management, 1996, 14 (4): 213~220
- [2]David Ford, John Sterman. Dynamic modeling of product development process [J]. System Dynamic Review, 1998, 14(1): 31~68
- [3]王其藩.系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994
- [4]Khaled Nassar. Cost Contingency Analysis for construction projects using spreadsheets [J]. Cost Engineering, 2002, 44 (9): 26~31

(责任编辑 肖庆山)