

基于元网络的项目组织学习能力对任务完成影响评价仿真方法

李永奎¹, 庞 达¹, 李东宇¹, 卢昱杰²

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 新加坡国立大学 设计和环境学院, 新加坡 117566)

摘 要 组织能力是影响项目任务完成的决定性因素, 而学习能力是组织能力形成的关键基础. 基于元网络理论和动态仿真方法, 将组织 (人)、知识和任务视为多智能体复杂交互系统, 提出知识扩散度和任务完成水平两项关键指标, 研究项目组织学习能力对任务完成水平影响的内在机理. 以通用品牌别克汽车 4S 店建设项目群管理为例, 验证评价指标的合理性, 并进一步通过仿真实验, 识别项目组织的关键知识、关键组织以及关键学习阶段, 进行组织学习能力提升和任务分配的优化, 为项目组织设计、任务分配及组织学习的研究探索了一种有效的方法.

关键词 元网络; 项目组织学习; 知识扩散; 任务完成水平; 仿真

Meta-network simulation to evaluate the effect of project organization learning ability on task completion

LI Yongkui¹, PANG Da¹, LI Dongyu¹, LU Yujie²

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Design and Environment, National University of Singapore, Singapore 117566, Singapore)

Abstract Organization ability is the critical factor for project task completion, and learning ability is crucial basis for organizational ability formation. Based on meta-network theory and dynamic simulation method, this paper regards organization (people), knowledge and task as complex interactive system of multi-agent and puts forward 2 measurement indexes (knowledge diffusion and task completion), researching the internal mechanism of learning ability of project organization to influence task completion. Finally, taking General Motors (GM) Buick 4S Shop Construction Project Group Organization as a case, this paper further identifies the key knowledge, key agent and key learning phase of project organization through simulation after reasonable confirmation of measurement indexes and optimizes organization learning ability and task assignment. Furthermore, this paper provides effective methodology for research of project organization design, optimization of task assignment and organization learning.

Keywords meta-network; project organization learning; knowledge diffusion; task completion; simulation

1 引言

项目管理是以临时性任务为中心的管理系统, 而组织是项目任务能否完成的决定性因素^[1]. 但同时组织又是智能的, 学习的和自适应的, 尤其在复杂项目环境下, 项目具有参与主体多样化, 任务关系复杂化及知识学习网络化的特征. 项目组织, 知识和任务之间具有复杂的动态网络关系, 网络中各要素动态变化和相互影响, 组织能力的不适应或不恰当的任务分配会放大任务无法完成的风险, 甚至出现连锁失效 (cascading

收稿日期: 2014-08-06

作者简介: 李永奎 (1979-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 复杂项目管理, 工程社会学, 工程管理信息化, E-mail: y.k.lee@126.com; 庞达 (1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 复杂项目管理; 李东宇 (1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 复杂项目组织; 卢昱杰 (1985-), 助理教授, 博士, 研究方向: 大型工程项目管理, 项目组及团队设计, 绿色建筑施工及运营管理.

基金项目: 国家自然科学基金 (71390523, 71471136, 70902045)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (71390523, 71471136, 70902045)

中文引用格式: 李永奎, 庞达, 李东宇, 等. 基于元网络的项目组织学习能力对任务完成影响评价仿真方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(5): 1252-1260.

英文引用格式: Li Y K, Pang D, Li D Y, et al. Meta-network simulation to evaluate the effect of project organization learning ability on task completion[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2016, 36(5): 1252-1260.

failure) 现象, 进而导致进度拖延和投资增加等严重后果^[2]. 因此, 如何将项目视为一个复杂适应性系统, 通过研究组织、任务和知识等要素之间的交互关系, 提高组织的动态学习能力, 就成了复杂环境下提高项目绩效的关键问题.

针对该问题, 当前研究较多聚焦基于社会网络分析 (social network analysis, SNA) 的项目组织网络分析, 控制和治理策略^[3-6], 基于网络计划技术或设计结构矩阵 (design structure matrix, DSM) 的任务网络分析^[7], 基于责任分配矩阵, 资源约束计划, 风险以及基于系统动力学的任务分配和优化方法^[8-11], 基于统计回归分析的项目绩效指标设计及评价方法^[12-14]等方面. 这些研究虽然分别对项目组织或任务网络进行了系统研究, 甚至建立了二者之间的某种联系^[15-16], 但受制于研究方法的局限性, 难以深入刻画组织、任务及知识学习之间的复杂交互关系, 进行难以定量评价项目组织学习能力对任务完成的动态影响机理.

计算组织理论 (computational organization theory, COT) 的兴起, 以及多元异质网络理论和多主体仿真技术的逐渐成熟, 为解决这一难题提供了新的途径. 不同于传统的定性和数理化定量分析, 计算组织理论认为, 组织的本质是智能的主体且相互之间具有复杂交互关系, 需要利用计算机科学针对影响组织绩效的复杂因素相互作用, 动态演化和涌现规律开展研究^[17], 以通过组织设计和组织优化来提升组织绩效. 其中, 多元异质网络理论主要包括多重网络 (multiplex network), 超网络 (supernetwork) 和元网络 (meta network) 分析方法等, 但前两者多从统计学意义上分析各种关系网络的特征^[18-19], 如沟通网络, 利益网络和兴趣网络等, 无法分析任务导向的复杂项目组织中各要素之间的交互关系及相互影响. 在此基础上, 元网络理论结合传统的社会网络分析 (SNA), 链接分析 (link analysis, LA) 以及多主体系统 (multi-agent systems, MAS), 形成了系统的动态网络分析 (dynamic network analysis, DNA) 方法和仿真工具, 组织网络扩展到涉及组织、知识、任务等多元复杂关系网络^[20-21], 并能进一步分析组织随着时间的动态进化过程以及相互影响^[22], 是计算组织理论的一个重要领域, 在恐怖组织打击, 战争组织, 社会领域等复杂组织中得到了广泛应用, 为研究项目组织知识学习对任务完成影响的复杂内部机理提供了新的方法. 基于该理论, 方法和工具, 本文进一步拓展, 构建了相关评价指标, 仿真模型和实验方案, 并利用标准化案例进行了实证和仿真实验, 为项目组织和任务分配优化, 组织能力和绩效的提升等探索一种有效的方法.

2 概念模型及指标构建

2.1 项目元网络概念模型

借鉴 Krackhardt 和 Carley 提出的元网络理论^[23], 并结合项目管理理论, 作者提出项目元网络可包括组织 (人) (agent), 任务 (task), 知识 (knowledge) 等项目要素, 以及这些要素构成的网络集, 例如组织交互网络 ($\text{agent} \times \text{agent}$), 知识拥有网络 ($\text{agent} \times \text{knowledge}$), 任务分配网络 ($\text{agent} \times \text{task}$) 等. 组织网络的邻接矩阵, 即组织的元矩阵 (meta-matrix) 是刻画元网络的信息基础. 从构成上看, 项目元网络包括多种异质要素; 从结构上看, 又由多种异质子网络构成; 从关系上看, 这些要素和子网络之间具有复杂的链接, 图 1 为项目元网络的概念模型.

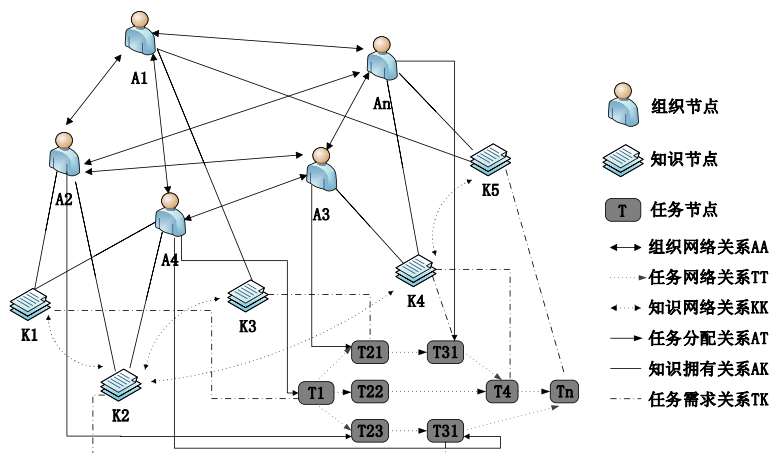


图 1 项目元网络的概念模型

2.2 指标构建

基于元网络理论, 针对项目组织环境, 提出分别衡量项目组织学习能力和任务完成水平的两个关键指标,

从网络视角来测度项目组织学习能力对任务完成水平的影响关系,具体如下:

1) 知识扩散度 (knowledge diffusion, KD): 属于网络层级指标, 指知识在项目组织中的扩散程度, 或项目组织所有主体为完成任务而学习到的其他主体在仿真前拥有的知识的数量程度, 取值为 $[0, 1]$. 该指标从另一方面也反映了项目组织的协同度和沟通的有效性, 取值越大, 表明项目组织学习能力越强, 项目成员之间的协同度越高, 沟通也越畅通有效.

$$KD = \frac{\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^n AK}{kn} \quad (1)$$

其中, n 表示在当前网络中主体的数量, k 表示知识的数量, AK 表示知识拥有关系.

2) 任务完成水平 (task completion, knowledge based, TCK): 属于网络层级指标, 指项目组织中所有主体针对分配任务的完成比率, 主要考察主体基于知识的能力对任务完成的影响程度, 取值为 $[0, 1]$, 值越高, 表明组织任务完成水平越好.

$$TCK = \frac{|T| - |F|}{|T|} \quad (2)$$

其中, $F = \{i | 1 \leq i \leq |T|, \exists j : Need(i, j) < 0, Need = AT^T * AK - KT^T\}$. T 为项目任务总数, AT 为任务分配网络, AT^T 为 AT 的转置; KT 为任务知识需求网络, KT^T 为 KT 的转置; F 为无法完成的任务.

3 仿真模型及实验方案

3.1 项目元网络概念模型

Construct 是卡内基梅隆大学社会和组织系统计算分析中心 (CASOS) 基于结构化理论 (structuration theory), 社会信息处理理论 (social information processing theory) 和符号互动理论 (symbolic interactionism) 研发的多主体仿真基础模型, 该模型为研究组织中各要素之间的复杂交互关系提供了核心基础, 但需要针对具体的研究问题和组织情境进行拓展开发, 并需结合 ORA (organizational risk analyzer) 可视化建模和指标分析平台以及相关统计分析软件进行组合研究. 基于以上基础模型和工具, 并结合项目管理理论, 从项目参与主体 (组织), 专业知识和任务等要素角度, 构建项目元网络仿真模型, 如图 2 所示.

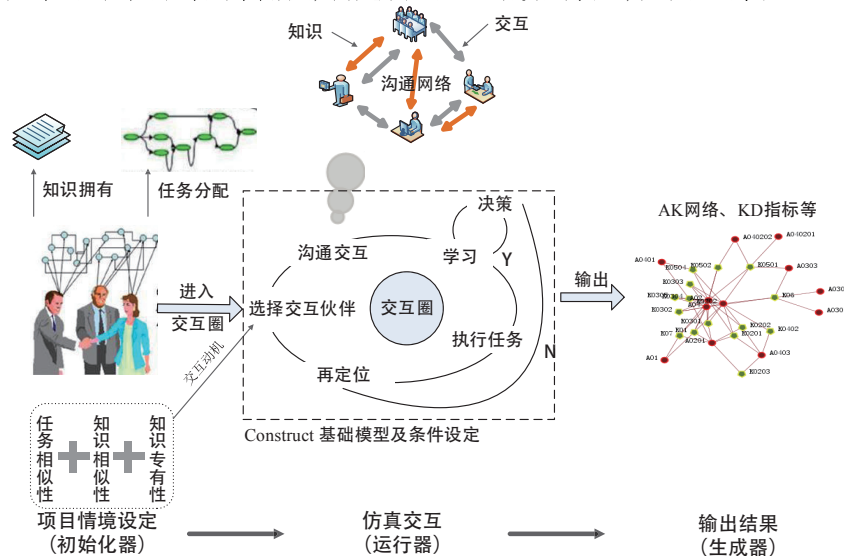


图 2 项目元网络仿真模型及运行机理图示

项目元网络仿真模型具体运行机理如下:

1) 项目情境设定 (初始化器). 由于项目任务是具有逻辑关系的一组活动, 任务的分配也往往具有初始方案, 因此需要针对原有基础模型进行拓展开发. 由初始化器产生仿真所需节点, 网络以及相关的实验参数, 并读取外设项目网络文件. 由于初始状态的专业知识可能不足以支撑组织完成所分配的任务. 因此组织需要与项目中的其他组织进行交互, 学习所需知识从而顺利执行任务.

2) 仿真交互阶段 (运行器). 在 Construct 内部, 组织被视为智能体 (agent), 智能体之间的交互受三种动机影响, 分别为任务相似性, 知识相似性和知识专属性. 普遍认为, 承担相似任务的智能体更有可能进行交互.

学习, 同时也会共同拥有许多与任务完成相关的知识^[24]. 知识的相似性反映两个智能体在知识上的相似程度, 根据同质化理论 (homophily)^[25], 具备相似知识能力和背景的智能体会更有可能进行交互学习. 知识的专有性表示两个智能体在知识上的差异程度, 根据交易式记忆 (transactive memory) 理论^[26], 如果一个智能体感知其他智能体拥有其缺乏的知识, 二者就可能选择交互. 在每一回合, 每个智能体会综合三种动机来选择交互伙伴进行交互学习. 智能体在每一次交互后会进行决策, 若可执行任务, 则智能体基于当前知识去执行相应的任务; 若不需要或不足以执行任务, 则智能体会在项目网络中进行再定位, 进入下一次交互.

3) 经过特定回合迭代仿真, 生成器会输出每一阶段的知识拥有网络和相关指标, 然后再利用 ORA 和统计分析软件等工具生成可视化网络以及进行相关网络参数的计算和分析.

3.2 实证及仿真实验方案

指标验证和模型验证是多主体仿真实验的关键环节, 目前初步形成一些可行模式^[27-28]. 依据计算组织理论和仿真模型验证方法, 本文选择基于参数的特定案例模型结果与现实系统的实证比较方法, 以验证仿真模型和指标的可信性; 然后将多元网络指标和仿真生成指标进行比较, 验证模型的有效性和适用性; 在此基础上, 进行仿真实验, 寻求组织学习能力优化的具体方法. 实证及仿真实验方案分为五部分, 如图 3 所示, 说明如下:

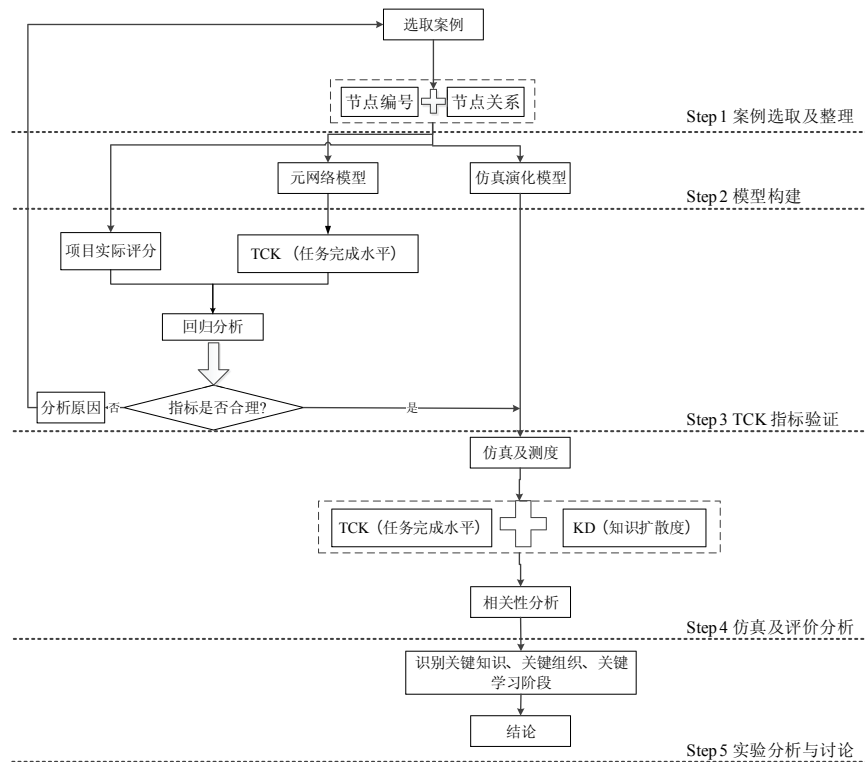


图 3 实证及仿真实验方案

- 1) 选取实际案例进行整理和编码, 确定项目组织各要素, 关系及其初始状态;
- 2) 根据确定的节点及其关系, 构建实际项目元网络模型和仿真基础模型;
- 3) 引入项目实际评分通过回归分析对指标进行合理性检验;
- 4) 利用仿真模型和计算分析平台对知识扩散度与任务完成水平进行相关性分析, 验证项目组织学习能力和任务完成水平的关系;
- 5) 通过假设分析, 逐项剔除每项知识, 观察其对最优 TCK 的影响, 结合初始状态组织的任务分配和掌握的知识, 识别项目组织关键组织. 最后构建 KD 与 TCK 累计提升曲线, 识别项目组织学习能力提升的重点阶段.

4 实证及仿真实验

4.1 案例背景

上海通用汽车别克品牌 4S 店每年在全国约有 70 个新建项目, 由各地经销商进行投资, 建设周期一般在

4.3 项目组织学习能力与任务完成水平相关性分析

选取安阳项目(编号 P01)进行进一步仿真分析. 将该项目元网络导入仿真模型进行交互仿真, 依次输出每一回合的知识拥有网络(AK)以及知识扩散度(KD)指标. 输出结果显示, 该项目 KD 指标在 41 回合达到稳定. 将知识拥有网络与 AT , KT 等网络一并导入 ORA 分别计算各回合的 TCK 值, 得出 KD 与 TCK 的关系如图 5 所示. 由该图可见, 随着 KD 的递增, TCK 也递增. 经测算, KD 和 TCK 的相关系数为 0.921, 且在 0.01 水平上显著相关, 说明项目组织学习能力与任务完成水平正相关. 同时也验证 KD 指标的合理性. 但在某些局部, TCK 并非随着 KD 的提高而提高, 分析后得知: 一是知识存在累积效应, 组织在一个回合或几个回合学到的知识并不一定能保证执行任务; 二是在某些回合, 某个组织学习了跟任务执行无关的知识, 对任务完成水平没有影响. 因此, 项目组织学习能力的提高会提升项目的任务完成水平, 但不同阶段会有不同的特征.

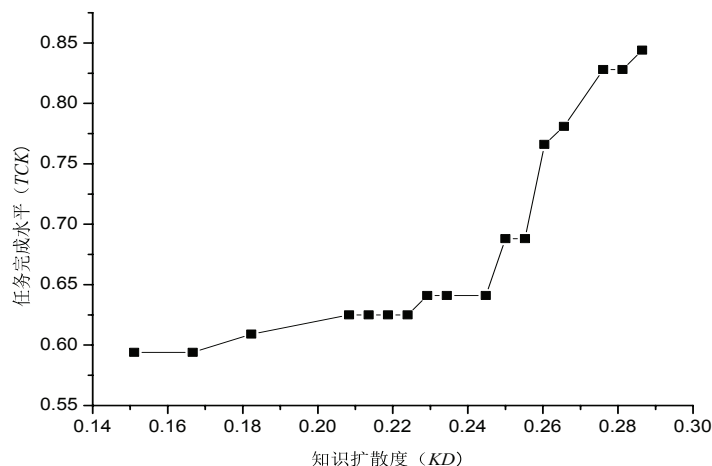


图 5 TCK 与 KD 关系图

然而, 组织的学习和知识的扩散并非毫无目的, 被分配不同任务的组织所需要的知识会存在差异, 不同的组织拥有不同的知识特征也将影响组织对于知识的学习, 进而通过组织网络影响知识的扩散. 在实际项目中, 组织之间的交互并不是无限的, 专业知识或能力只可能被特定需要的主体所掌握. 例如, 经销商不会主动学习设计单位的设计知识, 也不会主动跟施工单位学习施工知识. 在本案例中, 由于设计和施工任务都被单—分配给设计单位和施工单位, 且设计能力和施工能力主要由设计方和施工方掌握, 因而这两项知识在项目组织中扩散很少.

由于知识不会无限扩散, 因而在给定的限制条件下, 知识扩散度会达到稳定值, 本实验 KD 稳定在 0.260, TCK 稳定在 0.844, 表示在该项目现有的知识结构下, 知识充分扩散后项目任务完成水平的最优值.

4.4 仿真实验分析

安阳项目在初始状态下的 TCK 只有 0.594, 任务完成情况不佳, 需要通过组织学习提升组织能力, 以提高任务完成水平. 但组织学习需要根据自身任务的需要学习特定的专业知识或能力. 对于整个项目组织而言, 有些知识对任务完成水平的影响程度很大, 而有些知识相对而言影响较小甚至没有影响. 这就需要首先识别项目的关键知识单元和掌握这些关键知识的关键组织, 同时明确知识学习(获取)的关键时点, 从而为项目组织和任务分配优化提供有效建议和指导.

1) 关键知识与关键组织的识别方法

该项目在知识充分扩散情况下 TCK 的最优值为 0.844. 根据之前的测度实验方案, 逐项剔除各项知识算出当前 TCK 与最优 TCK 的差, 并将该差值与最优 TCK 做比值算出知识 K 对 TCK 的影响程度, 具体如图 6 所示. 分析可见, 对 TCK 影响最大的前三项知识依次为 $K303$ (采购管理能力), $K301$ (进度管理能力)和 $K304$ (质量管理能力). 说明在该项目现有条件下, 项目组织要加强对这三项知识进行学习和培训.

结合初始状态下的知识拥有网络和任务分配网络, 识别项目中的关键组织. 具体判定原则如下: ①在初始状态下, 同时具备这三项知识为项目中的关键组织; ②不具备这三项知识之一, 但被分配需要这三项知识(一项, 两项或三项)的任务, 任务数量达到三个或三个以上的组织为项目中的关键组织, 即项目中的关键组织风险, 需要重点培训甚至更换. 具体分析见表 2 所示, 其中 \checkmark 代表组织掌握该知识, T 代表组织被分配需要这三项知识(一项, 两项或三项)的任务数量.

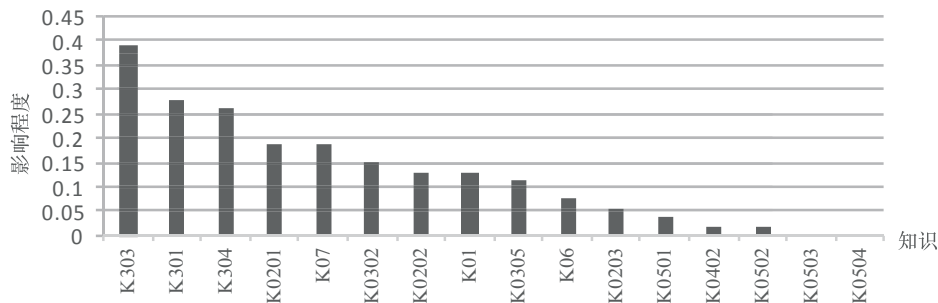


图 6 各类知识 (K) 对 TCK 的影响程度

表 2 初始状态关键知识拥有和任务分配情况

	A01	A02	A0201	A0202	A0301	A0302	A0303	A04	A0401	A040201	A040202	A0403
K301		✓		✓								
K303		✓		✓								
K304		✓		✓							✓	
T	3	5	0	12	0	0	0	8	1	0	1	0

由表 2 可知, A02 (咨询方主管) 和 A0202 (项目管理总监) 两个组织单元都掌握了三项关键知识, 为关键组织. 同时, A01 (汽车厂商负责人), A04 (经销商) 两个组织单元都没有掌握三个关键知识, 但都被分配了三个或三个以上需要这些知识的任务, 同样为关键组织, 并是该项目的关键组织风险, 降低了组织的任务完成水平. 因此, 需要对汽车厂商负责人和经销商进行重点培训, 使他们学习或有机会学习并掌握三项关键知识, 继而提升组织的任务完成水平.

2) 组织学习能力提升的重点阶段

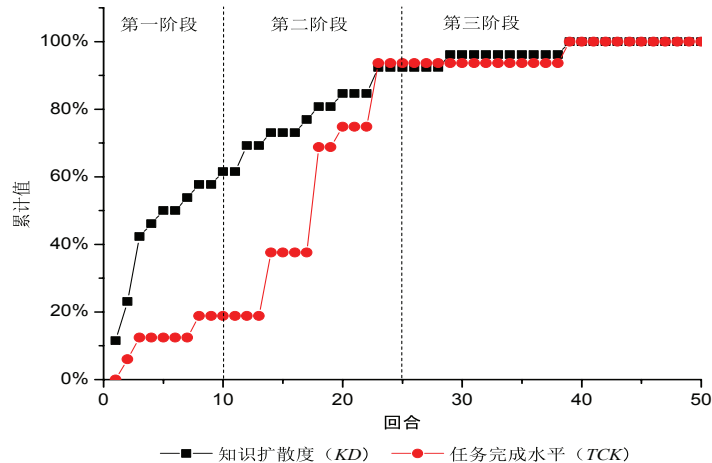


图 7 KD 和 TCK 累计提升曲线

依照实验方案和相应参数, 构建如图 7 所示的 KD 与 TCK 累计提升曲线. 可见, 在总共 50 回合中, KD 在第一阶段的提升值占总值的 60%, 第二阶段达到 90% 以上, 说明知识扩散或者组织的学习主要集中在项目的前期, 项目组织前期的学习对于任务完成水平的提升至关重要. 在第三阶段之前, TCK 随着 KD 的递增呈现折线递增的趋势, 且递增幅度很大, 累计提升值达到 80% 以上. 从第三阶段开始, 随着知识扩散度的递增所导致的任务完成水平的提升已经很小, 同时, 知识扩散的速度也越来越小. 再一次证明项目组织学习的重点阶段在项目的前期, 此后对项目任务完成水平的提升作用减小. 因此, 项目组织要注重项目团队组建前期的学习, 特别是通过识别项目中的组织能力风险进行针对性的培训和学习, 以提升组织的学习能力, 保证项目任务的完成.

4.5 结论

以上基于元网络理论和多主体仿真技术, 选取了汽车 4S 店项目对项目组织学习能力对任务完成水平的影响进行了测度, 实证, 评价与实验分析, 结论如下:

1) 计算组织理论中的元网络及基于多主体仿真模型能较好地刻画项目任务, 组织和知识之间的复杂交互关系以及对任务完成水平影响的涌现规律. 基于元网络的仿真方法突破了将项目管理各要素孤立研究的传统

做法, 将组织, 任务, 知识等视为一个复杂动态适应系统, 研究各要素的交互作用及对任务完成的非线性涌现影响, 对深刻认识复杂项目管理问题具有较好的理论和方法基础。

2) 基于知识的项目组织学习能力与任务完成水平呈正相关关系。通过实证指标验证以及模型指标验证发现, 衡量组织学习能力的知识扩散度指标和任务完成水平指标具有高度正相关, 即随着项目组织学习能力的提升, 任务完成水平会提高。但由于知识存在累积效应, 在局部可能存在突变效应, 存在非线性涌现趋势。

3) 关键知识对组织任务完成水平的影响具有显著性, 基于元网络的仿真方法能有效识别这些关键知识。仿真实验发现, 通过计算各项知识对任务完成水平的敏感度, 即移除知识对结果的影响程度分析, 可识别关键知识。这为组织成员的优化或针对性培训提供了理论依据。

4) 项目组织学习以及能力提升的关键阶段在初始阶段, 到达一定阶段后组织学习将处于一个较为稳定的水平。实验发现, 衡量组织学习能力的知识扩散度指标对项目任务完成水平指标的影响具有非线性涌现特征, 并且在交互的初始阶段具有显著影响, 随着时间的推移其影响度逐渐减小。该结论说明在项目的初始阶段或者项目团队构建的初始阶段是组织能力提升的关键阶段。

5 结束语

项目组织环境中各要素之间是动态交互和演化的, 组织是智能的, 学习和适应性的。基于元网络的仿真方法克服了传统项目组织研究中静态定性定量研究, 忽视组织内部复杂网络关系以及动态交互等缺陷, 从计算组织理论和动态智能交互视角, 将组织, 知识和任务视为一个复杂适应性系统, 对项目组织学习能力与任务完成水平关系进行测度, 并进一步识别项目组织的关键知识, 关键组织和关键学习阶段, 为研究项目组织动态优化, 任务分配优化和组织能力提升提供了有效的理论支撑, 也为实践中通过组织学习寻求提高项目绩效探索了一种有效的方法。

参考文献

- [1] Moon I. Destabilization of adversarial organization with strategic interventions[D]. Carnegie Mellon University, 2008, CMU-ISR-08-124.
- [2] Gordon A F. Ghostly matters: Haunting and the sociological imagination[M]. University of Minnesota Press, 2008.
- [3] Chinowsky P S, Taylor J E. Project networks: Leadership, learning, and development[J]. CIB Priority Theme-Revaluing Construction: A W065 'Organisation and Management of Construction' Perspective, 2007: 54.
- [4] 李永奎, 乐云, 何清华, 等. 大型复杂项目组织网络模式及实证分析 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2011, 39(6): 930-934.
Li Y K, Le Y, He Q H, et al. Large and complex projects organization social network model and empirical study[J]. Journal of Tongji University (Nature Science), 2011, 39(6): 930-934.
- [5] Chinowsky P, Taylor J E, Di Marco M. Project network interdependency alignment: New approach to assessing project effectiveness[J]. Journal of Management in Engineering, 2010, 27(3): 170-178.
- [6] 李永奎, 乐云, 何清华, 等. 基于 SNA 的复杂项目组织权力量化及实证 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(2): 312-318.
Li Y K, Le Y, He Q H, et al. Complex projects organization power quantification and empirical study based on SNA[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2012, 32(2): 312-318.
- [7] Maurer M. Process optimization by DSM-based modelling of inputs and outputs[C]// DS 68-1: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 1: Design Processes, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08. 2011.
- [8] Charrel P J, Galarreta D, Charrel P J, et al. Project management and risk management in complex projects[M]. Springer, 2007.
- [9] Lyneis J M, Cooper K G, Els S A. Strategic management of complex projects: A case study using system dynamics[J]. System Dynamics Review, 2001, 17(3): 237-260.
- [10] Chen Y M, Wei C W. Multiagent approach to solve project team work allocation problems[J]. International Journal of Production Research, 2009, 47(13): 3453-3470.
- [11] Zafra-Cabeza A, Ridao M A, Camacho E F. Using a risk-based approach to project scheduling: A case illustration from semiconductor manufacturing[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 190(3): 708-723.
- [12] Teo H H, Wang X, Wei K K, et al. Organizational learning capacity and attitude toward complex technological innovations: An empirical study[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(2): 264-279.

- [13] 高俊山, 毛建军, 谷冬元. 组织学习能力综合评价模型研究 [J]. 管理学报, 2008, 5(2): 212–217.
Gao J S, Mao J J, Gu D Y. Research on the comprehensive evaluation model of organizational learning capability[J]. Chinese Journal of Management, 2008, 5(2): 212–217.
- [14] Tohidi H, Jabbari M M. Presenting structural equation model for measuring organizational learning capability[J]. Procedia Technology, 2012, 1: 586–590.
- [15] 何清华, 罗岚, 陆云波, 等. 基于 TO 视角的项目复杂性测度研究 [J]. 管理工程学报, 2013(1): 127–134.
He Q H, Luo L, Lu Y B, et al. Investigating project measurement complexity from TO perspectives[J]. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management, 2013(1): 127–134.
- [16] 杨婧, 陈英武, 沈永平. 基于相互作用网络的大型工程项目组织结构风险分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(10): 1966–1973.
Yang J, Chen Y W, Shen Y P. Interdependent network based risk analysis of organizational structures for large-scale engineering project[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2011, 31(10): 1966–1973.
- [17] Frantz T L, Carley K M, Wallace W A. Computational organization theory[M]// Encyclopedia of Operations Research and Management Science, Springer US, 2013: 246–252.
- [18] Hanneman R A, Riddle M. Introduction to social network methods[R]. Department of Sociology University of California Riverside, 2005.
- [19] Nagurney A, Wakolbinger T, Zhao L. The evolution and emergence of integrated social and financial networks with electronic transactions: A dynamic supernetwork theory for the modeling, analysis, and computation of financial flows and relationship levels[J]. Computational Economics, 2006, 27(2–3): 353–393.
- [20] Carley K M, Filonuk D T, Joseph K, et al. Construct user guide[R]. CASOS Technical Report CMU-ISR-112, Carnegie Mellon University: Pittsburgh, USA, 2012.
- [21] Li Y, Lu Y, Li D, et al. Metanetwork analysis for project task assignment[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2015, 141(12): 04015044.
- [22] Lorscheid I, Heine B O, Meyer M. Opening the ‘black box’ of simulations: Increased transparency and effective communication through the systematic design of experiments[J]. Computational and Mathematical Organization Theory, 2012, 18(1): 22–62.
- [23] Carley K M, Lee J S, Krackhardt D. Destabilizing networks¹[J]. Connections, 2002, 24(3): 79–92.
- [24] Hirshman B R, Morgan G P, St Charles J R, et al. Construct demo input deck[R]. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 2010.
- [25] McPherson M, Smith-Lovin L, Cook J M. Birds of a feather: Homophily in social networks[J]. Annual Review of Sociology, 2001: 415–444.
- [26] Hollingshead A B. Perceptions of expertise and transactive memory in work relationships[J]. Group Processes & Intergroup Relations, 2000, 3(3): 257–267.
- [27] Carley K M. Computational organizational science and organizational engineering[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2002, 10(5): 253–269.
- [28] 王红丽, 陆云波. 可计算组织模型的验证难点与验证方法综述 [J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(2): 382–391.
Wang H L, Lu Y B. Overview of computational organization model validation concerns and its methodology[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(2): 382–391.