

项目交互耦合网络演化

王景玫[†], 郭鹏, 赵静

(西北工业大学 管理学院, 西安 710072)

摘要: 针对现有文献中较少考虑交互依赖关系对项目组合动态选择影响的问题, 借鉴复杂网络理论, 提出项目交互耦合网络概念, 并从项目收益、资源成本、项目风险、项目状态、交互依赖关系及战略匹配程度等6个方面描述网络演化的影响要素. 在此基础上, 提出网络生成及调整规则, 给出网络稳定状态定义, 建立项目交互耦合网络. 研究结果表明, 与传统模型相比, 项目交互耦合网络模型能得到更优的项目组合, 能更有效地利用资源, 规避风险, 提高收益, 同时, 项目交互耦合网络能更好地了解项目结构, 为项目组合管理提供支持. 项目组合管理者应对那些节点介数大、聚集系数高的项目即核心项目进行重点扶持与保护, 以防这些项目失败后引起其邻节点失败, 甚至导致整个项目网络发生级联失败.

关键词: 项目组合选择; 项目动态组合选择; 交互依赖关系; 复杂网络; 项目状态; 项目交互耦合网络
中图分类号: F272.3 **文献标志码:** A

Development of project interactive coupling network

WANG Jing-mei[†], GUO Peng, ZHAO Jing

(School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Since few studies consider the influence of interaction on the project portfolio dynamic selection, the conception of project interactive coupling networks is proposed based on the complex network theory with interaction effect. The definition is described from six aspects, which are project profit, cost, risk, states, interactions and strategy fit. Then based on this, we propose generation and adjustment rules of the network, define the stable state and develop this network. The research shows that compared with the traditional optimization model, the portfolio got from the project interactive coupling network is better. It can use resources more efficient, avoid risks and increase benefits. Moreover, the project interactive coupling network can be understood better, which can give some support to project portfolio management. Project portfolio managers should protect and support the projects with high betweenness centrality and clustering coefficient, which are the core projects in a portfolio, in case the failure of these projects will lead to failures of their neighbour nodes or even a cascading failure of the project network.

Keywords: project portfolio selection; project portfolio dynamic selection; interaction relationship; complex network; project state; project interactive coupling network

0 引言

随着竞争日益加剧, 需求不断变化, 每年全球约有12万亿的资金投入各类项目中, 越来越多的企业以项目为组织形式来提高其反应能力和竞争实力^[1]. 同时, 为了实现战略目标, 提高资源利用效率, 分散风险, 企业往往并行实施多个项目, 即进行项目组合. 然而, 由于资源的有限性, 企业不得不面临项目组合选择问题, 因为选择一组好的项目组合可以提高收益, 节约资源, 降低风险, 不好的项目选择往往会导致项目风险因竞争资源或者技术关联等原因而上升,

甚至会使得项目组合失败. 因此, 项目组合选择问题对企业决策者至关重要.

国内外学者对项目组合选择问题开展了大量研究. 以项目收益、风险等为目标函数, 资源、技术等为约束的规划模型被广泛应用于项目组合选择中. 此外, DEA、实物期权等模型也被应用于项目组合决策中^[2-5]. 不确定性往往伴随着项目, 因此一些学者考虑了不确定性视角下的项目组合选择问题. Carlsson^[6]提出了模糊混合线性规划模型, 并采用实物期权对项目价值进行测度; Costa等^[7]研究了影响

收稿日期: 2018-01-15; 修回日期: 2018-04-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71672145); 国家自然科学基金青年科学基金项目(71702149); 陕西省自然科学基金项目(2017JQ7011).

[†]通讯作者. E-mail: wangjingmeizx@126.com.

软件开发项目组合的风险要素。由于项目持续时间不同,学者们开始逐渐关注项目组合动态选择问题。Choi等^[8]采用动态规划构建了R&D项目选择模型,以解决不同周期资源动态项目调度问题;考虑到新项目不断加入的问题,Choi等^[9]又提出了Q-learning方法;雷宏等^[10]为解决有限资源动态多项目选择问题,采用免疫优化算法进行求解;Chen等^[11]考虑未知累计延迟和新项目加入导致的延迟,提出了多阶段多项目选择分配方法(MPPA)以解决IS项目持续选择的问题;李星梅等^[12]提出了考虑风险的可打断项目组合优化模型;王磊等^[13]考虑多项目可拆分情况,给出了长工期任务、项目等优先拆分的多项目协同调度算法。此外,交互依赖关系理论的提出从一个全新的视角揭示了项目组合选择问题,即项目组合有别于单项目的原因在于项目间存在资源、技术和收益等依赖关系。杨颖等^[14]分析了多项目交互关系,并采用关联性矩阵构建了依赖关系影响下的项目组合优化模型。

然而,以往的研究主要通过构建多目标非线性规划模型来解决项目组合选择问题。虽然有些学者考虑到当项目生命周期不同时,存在项目中断或终止现象的项目组合动态选择问题,但是,并未考虑交互依赖关系对组合动态选择的影响。这种依赖关系使得项目组合存在协同效应,即项目能够共享资源,降低成本,增加收益,提高成功概率^[15-16]。同时,因为竞争资源、抢占同一市场等现象的存在,交互依赖关系也会使得项目组合更具风险性^[17-18]。项目间这种耦合使得项目组合成为一个多主体、多要素相互作用的复杂系统^[11-19],且这种关系决定了组合结构及稳定性。因此,在项目组合动态选择中,考虑项目交互依赖关系对组合选择的影响^[20],能更好地解决项目组合动态选择问题,也更符合实际情况。

复杂网络因具有描述多要素关系的优势,已经被广泛应用于各领域中,如电力网络、联盟网络^[21-22],并逐渐应用于项目管理领域,如项目网络演化、项目交互关系以及项目风险度量等^[23-24]。因此,本文借鉴复杂网络理论,考虑项目依赖关系,提出项目交互耦合网络概念,建立项目交互耦合网络演化模型,以此来解决项目组合动态选择问题。

1 项目交互耦合网络内涵

项目组合的系统复杂性一方面表现在项目关系的复杂多变,另一方面表现在组合的动态性,即项目状态随时间不断变化,这种项目状态与交互关系的不同

会导致组合结构存在差异。因此,面对不同于单项目的项目组合复杂系统,如何选择满足目标的项目集对于决策者而言至关重要。

依据前文分析,交互依赖关系影响项目组合结构,复杂网络可以很好描述系统元素间的关系。因此,本文提出项目交互耦合网络概念,是指在不确定性环境下,为实现既定目标而形成的项目组合动态耦合网络系统,该网络由可能存在交互依赖关系的项目构成。

项目交互耦合网络主要受到以下因素影响:

1)项目收益。这是决策者追求的目标。项目组合追求的收益是超越单个项目实施所得收益之和的收益,即交互关系产生的额外收益。通常,决策者倾向于选择收益高的项目,且加入组合后项目额外收益越大,越容易被选中。因此,追求收益最大化是项目交互耦合网络演化的内在动力。

2)资源成本。任何项目都有维系其运行的资源成本,资源的有限性导致一些项目不能被实施。项目组合的目标之一是节约成本,提高项目资源利用效率。因此,资源成本约束是项目交互耦合网络生成的条件,也是网络达到稳定的约束。

3)项目风险。企业并行实施项目的目标之一是分散风险,然而,不同于单独实施的项目风险,当项目加入组合后,交互关系会导致风险发生变化(降低或升高)。被选中的项目应承担这种变化,否则会导致项目失败,甚至会蔓延项目网络。因此,加入组合后的项目风险应不超过项目能承受风险的最大能力,这也是项目交互耦合网络生成的条件。

4)项目状态。项目状态包括完成、正在执行、尚未执行或失败等状态,是项目组合产生变动的根本原因。例如,新项目加入会改变组合结构。某一项目完成时,需引入新项目以实现企业持续发展,组合会发生变化。某些项目因不确定因素失败时,交互关系的作用使得其他项目受到影响,组合也会产生变化。因此,项目状态变化是项目交互耦合网络演化的根本原因。

5)项目交互依赖关系。项目交互依赖关系对于网络的影响是:项目间的耦合使得组合中某一项目的成本、收益和成功概率等参数在很大程度上依赖于另外一些项目是否被选择,进而导致了项目组合结构即网络结构存在差异。

6)项目战略匹配度。随着市场竞争的加剧,项目已成为实现企业战略目标的主要形式。因此,项目通常与企业战略紧密相关。当项目间不存在交互依赖

关系时,项目也会存在关联,因为新项目通常围绕企业核心项目展开.当项目不存在交互关系时,项目战略匹配度大小即项目的实施对企业实现战略目标的重要性,决定了该项目的选择与否.

2 项目交互耦合网络演化模型

项目交互耦合网络是在动态不确定环境下,项目依赖关系影响下的多项目交互耦合的网络系统,该网络实现了企业的既定目标,如:收益最大化、成本及风险满足约束.因此,本文首先给出交互依赖关系度量模型,再研究项目交互耦合网络演化过程.

2.1 项目交互依赖关系度量

通常,交互依赖关系包括3个方面:收益、资源和技术交互关系.

1) 收益交互依赖关系.收益依赖于项目的互补或者竞争关系.当项目间存在互补关系时(如两个新产品研发项目,产品彼此互补),一个产品销售的增加会提高另一产品的收益,从而使得由这两个项目构成的组合整体收益大于单个项目收益的总和.项目竞争关系源于项目竞争同一市场(如面向同一市场的产品项目),一个产品收益的增加会导致另一产品收益的减少.

2) 资源交互依赖关系.资源依赖于项目需求的重叠性.由于资源的有限性,项目间存在资源共享和竞争两种关系.共享资源可以节省成本,提高资源利用效率;相反,竞争资源会增加成本,增加资源配置的复杂性.

3) 技术交互依赖关系.技术依赖于项目技术关联而引起的项目成功概率的变化.因为技术关联的项目可以得到可靠的技术保障,进而提高成功的概率,即一个项目成功概率的提升依赖于技术相关联项目的实施.

这3种交互关系可正可负,本文采用文献[25]提出的基于生态重叠的交互关系度量方法,其公式如下:

$$\theta_{ij} = \frac{\left[\sum_{k=1}^3 \lambda_{ij}(\delta_k) \right]}{3}. \quad (1)$$

其中: θ_{ij} 表示项目*j*对项目*i*在资源、收益、技术多维上的交互影响系数, $\theta_{ij} > 0$ 表示项目间存在正向交互,促进项目组合发展, $\theta_{ij} < 0$ 表示项目间为负向交互,阻碍组合发展, $\theta_{ij} = 0$ 表示项目间不存在交互关系; $\lambda_{ij}(\delta_k)$ 表示运用生态位重叠方法进行测度的项目*i*单维交互系数, $k = 1$ 表示资源依赖, $k = 2$ 表示收益依赖, $k = 3$ 表示技术依赖,见文献[25].

2.2 项目交互耦合网络演化模型构建与求解

假设项目交互耦合网络是由*N*个项目组成的复杂系统,节点代表网络中的项目,连线代表两个项目均在项目组合,且可能具有交互关系.网络所有节点集合记为 $V = \{1, 2, \dots, N\}$;所有的节点连线集合记为 $E = \{e_{ij} | i, j \in V\} \subseteq V \times V$, e_{ij} 为连接节点*i*与*j*的边.最终,项目交互耦合网络表示为 $\{V, E\}$,又因为节点连线集合*E*中包含了节点的数量信息,项目交互耦合网络也可被简记为*E*.此外,由于交互关系具有不对称性,为简化模型的复杂性,本研究的项目交互耦合网络是无向无权网络.

1) 项目交互耦合网络生成规则.

项目状态变化是项目交互耦合网络演化的根本原因,而在资源满足约束的前提下,新项目的不断加入促使项目交互耦合网络生成.因此,需分析新项目加入时项目交互耦合网络的生成过程.

首先,由于新项目可能是单个项目也可能是一组项目,当多个新项目同时到达时,存在项目加入网络的优先次序问题.通常,项目加入网络后带来的组合收益越大越容易被企业实施.因此,新项目集内的项目加入网络的优先次序由该项目进入网络后所能产生的增值价值决定.

其次,由于企业资源的有限性,加入网络的新项目应满足资源成本限制.同时,由于受交互关系影响,项目间存在风险级联传递现象,每个项目都有其所能承担的风险阈值.新项目加入网络时,项目风险应不超过其风险阈值,否则会导致失败,甚至会传递到项目网络中^[26].因此,新项目进入网络受上述资源成本及项目风险的约束.

最后,项目连接受到战略、交互依赖关系的影响.当新加入项目与网络中的项目不存在交互关系时,新项目会连接网络中战略匹配度及节点度最大的项目,因为这类项目加入网络的目的是分散风险,增加收益,所以即使其与已有网络节点不存在交互关系,也并不孤立存在.通常,对于企业战略越重要的项目,其节点的度越大.因此,无交互依赖关系的项目加入网络后倾向于连接战略匹配度与节点度大的项目;当新项目加入网络,并与网络已有项目存在交互依赖关系时,新项目与这些项目连接.

依据上述优先次序、约束条件及项目连接的原则,项目交互耦合网络演化如下:

i) 假设当前周期为*t*, Γ_{wait}^t 是*t*时刻按优先级排序后的新项目集,且优先级规则如下:定义 Γ^t 是*t*时刻按项目收益进行排序的新项目集, P_c^t 是项目*c*($c \in$

Γ^t) 在 t 时刻的初始优先级, 其值越小表示项目 c 的优先级越大. 对于任何 $c, d \in \Gamma^t$, 当项目 c 加入当前网络后的总收益大于项目 d 加入当前网络的总收益时, 项目 c 最终的优先级大于项目 d , 即当 $B_{\Gamma_{c,V(t)}} \geq B_{\Gamma_{d,V(t)}}$ 时, $\hat{P}_c^t < \hat{P}_d^t$. 此外, 如果项目 c 的开始周期 T_c^s 晚于当前周期 t , 则项目 c 最终的优先级将降低, 即当 $T_c^s > t$ 时, $\hat{P}_c^t = P_c^t + T_c^s - t$, 且项目 c 与项目 k ($P_k^t = P_c^t + T_c^s - t$) 间的项目优先级将顺次升高, 即当 $P_i^t \in (P_c^t, P_k^t]$ 时, $P_i^t = P_i^t - 1$. 重复上述过程, 所有开始周期不在 t 时刻的项目优先级均调整后, 可以得到具有优先级的新项目集 Γ_{wait}^t . 上述 $B_{\Gamma_{c,V(t)}}$ 表明, 在交互依赖关系作用下, 项目 c 加入网络后的总收益可表达为

$$B_{\Gamma_{c,V(t)}} = \sum_{i \in \Gamma_{c,V(t)}} b_i(t) \left(1 + \sum_{j \in \Gamma_{c,V(t)}} \lambda_{ij}(\delta_2) \right) \times p_i \left(1 + \sum_{j \in \Gamma_{c,V(t)}} \lambda_{ij}(\delta_3) \right). \quad (2)$$

其中: $V(t)$ 表示 t 时刻项目网络的节点集合, $\Gamma_{c,V(t)}$ 表示由项目 c 与网络节点集 $V(t)$ 构成的项目集; $b_i(t)$ 表示项目 i 在 t 时刻的累计收益; p_i 表示节点 i 的成功概率; $\lambda_{ij}(\delta_2)$ 和 $\lambda_{ij}(\delta_3)$ 分别表示项目 j 对项目 i 的收益和技术单维交互关系系数.

ii) 在交互依赖关系影响下, 新加入的项目需满足下述约束:

资源成本约束

$$\sum_{k \in V(t)} \Phi_k \left(1 - \sum_{j \in V_k(t)} \lambda_{kj}(\delta_1) \right) + \Phi_i \left(1 - \sum_{j \in V_i(t)} \lambda_{ij}(\delta_1) \right) \leq C. \quad (3)$$

其中: $\lambda_{ij}(\delta_1)$ 表示前文提到的节点 j 对节点 i 的资源单维交互关系系数, Φ_i 表示新项目 i 所需消耗的资源总成本, $V_i(t)$ 表示项目 i 在 t 时刻的邻节点集合, C 表示资源成本总约束量.

项目风险约束

$$l_i(t) \leq L_i(t). \quad (4)$$

其中: $l_i(t)$ 表示项目 i 在 t 时刻加入网络后交互关系作用下的风险, 与项目损失值及损失的可能性有关, 即

$$l_i(t) = (1 - p_i) \left(1 - \sum_{j \in V(t)} \theta_{ij}/n(t) \right) \eta_i. \quad (5)$$

其中: θ_{ij} 表示前文提到的交互关系系数, η_i 表示项目 i 失败后的损失值, $n(t)$ 表示 t 时刻网络节点个数. $L_i(t)$ 表示节点 i 在 t 时刻的项目风险阈值, 即项目所能承担的最大风险. 由文献[26]可知, 项目的风险阈

值与项目战略匹配度、风险控制成本、节点的处理能力以及自身风险负荷有关, 其公式如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega_i \beta l_i(t) \left(d_i(t) \sum_{m \in V_i(t)} d_m(t) \right)^\alpha}{\max \left\{ \left(d_j(t) \sum_{n \in V_j(t)} d_n(t) \right)^\alpha \mid j = 1, 2, \dots, n \right\}}, \\ \sum_{j \in V_i(t)} \theta_{ij} \neq 0; \\ \omega_i \beta l_i(t), \sum_{j \in V_i(t)} \theta_{ij} = 0. \end{array} \right. \quad (6)$$

其中: ω_i 是项目战略匹配度, 其值越大表示项目越重要, 投入给项目 i 的风险控制成本越多; β 是风险控制成本系数, β 越大表示投入的风险控制成本越多; α 是项目风险分布程度, 其值越大代表网络中的项目风险差异越大; $d_i(t)$ 是项目 i 在 t 时刻的度, 表示与项目 i 连接的项目数目.

iii) 在初始周期 0 时刻, 如果项目不存在交互关系, 则可不连接. 此后, 在每一步的演化过程中, 新加入的项目 i 与网络内的节点 j 存在连接:

a) 当项目 i 与项目 j 存在交互依赖关系时, $\theta_{ij} \neq 0$.

b) 当项目 i 与项目 j 不存在交互依赖关系时, 项目 j 应是网络中战略匹配度最高的节点, 即当 $\theta_{ij} = 0$ 时, 项目 j 应满足 $\left(\omega_j \times d_j / \sum_{m=1}^n d_m \right) / \max \left(\omega_k \times d_k / \sum_{m=1}^n d_m \right) = 1, k \in V_i(t)$. 其中 $d_j / \sum_{m=1}^n d_m$ 表示正比于节点的度, 其值越大表明项目 j 的度越大, 战略匹配度越高.

2) 项目交互耦合网络稳定状态.

虽然项目交互耦合网络不断演化, 但是不可否认网络存在稳定状态, 即某一段时间内组合结构不变. 根据文献[27]提出的网络处于稳定状态定义, 结合项目组合特征可知, 如果项目交互耦合网络 E 被称为是稳定的, 则必须满足以下条件:

i) 对于所有的 $ij \in E, b_i(E - ij) \leq b_i(E), b_j(E - ij) \leq b_j(E), b_i(E)$ 为项目 i 在网络 E 中的收益;

ii) 对于所有的 $i \notin E$, 资源成本约束为

$$\sum_{k \in V(t)} \Phi_k \left(1 - \sum_{j \in V_k(t)} \lambda_{kj}(\delta_1) \right) + \Phi_i \left(1 - \sum_{k \in \Gamma_{i,V(t)}} \lambda_{ik}(\delta_1) \right) > C. \quad (7)$$

3) 项目交互耦合网络调整规则.

当项目失败或完成时, 网络也会动态变化, 即项目网络处于调整阶段. 网络调整存在两种情况: 一种

是当项目生命周期结束时,项目会退出网络;另一种是当某些风险发生导致项目失败时,项目也会退出网络.

假设 T_i 表示项目 i 的生命周期, $h_i(t)$ 表示项目 i 在 t 时刻所处的生命周期阶段,当项目完成时,网络调整规则为:如果 $T_i = h_i(t)$,则取消与节点 i 相连的所有边.用布尔变量 v_{if} 表示项目 i 的完成状态,即

$$v_{if} = \begin{cases} 1, & T_i = h_i(t); \\ 0, & T_i \neq h_i(t). \end{cases} \quad (8)$$

则 t 时刻整个网络完成的项目数量为

$$V_f(t) = \sum_{i \in V(t)} v_{if}. \quad (9)$$

由于完成的项目消耗了资源,项目网络资源成本约束总量变为

$$C' = C - \sum_{i \in V_f(t)} \Phi_i \left(1 - \sum_{j \in V_i(t)} \lambda_{ij}(\delta_i) \right). \quad (10)$$

$\varphi_i(t)$ 表示项目 i 在 t 时刻累计消耗的资源成本.假设布尔变量 $f_i(t)$ 表示随机事件触发项目 i 失败的可能性.项目因随机事件失败时,网络调整规则是:当 $f_i(t) = 1$ 时,项目 i 失败,取消所有与该节点相连的边;当 $f_i(t) = 0$ 时,节点 i 仍与其他边相连.在交互关系作用下,项目节点相互影响,由此可知,当某项目失败时,其邻节点项目也会受到影响.例如,两个项目并行实施能增加收益,如果一个项目失败,则另一个项目不会获得额外收益.两个共享资源的项目节约了资源成本,但某一项目的失败也会使得另一项目不能节约成本.因此,失败项目 i 的邻节点项目收益及成本变化如下:

$$\begin{cases} b'_j(t) = b_j(t)p_j, & j \in V_i(t). \\ \varphi'_j(t) = \varphi_j(t), \end{cases} \quad (11)$$

其中: $V_i(t)$ 表示失败项目 i 在 t 时刻的邻节点集合.用布尔变量 v_{ir} 表示项目 i 的失败状态,有

$$v_{ir} = \begin{cases} 1, & f_i(t) = 1; \\ 0, & f_i(t) = 0. \end{cases} \quad (12)$$

则 t 时刻整个网络的失败项目的数量为

$$V_r(t) = \sum_{i \in V(t)} v_{ir}. \quad (13)$$

由于项目在失败前消耗了资源,项目网络资源成本约束总量变为

$$C' = C - \sum_{i \in V_r(t)} \Phi_i \left(1 - \sum_{j \in V_i(t)} \lambda_{ij}(\delta_i) \right). \quad (14)$$

采用 Python 编程,对上述过程进行求解,过程如

下.

Step 1: 判断项目状态.当项目是新加入项目时,采用网络生成规则对项目进行排序,判断其是否满足约束,满足时加入网络.当项目处于完成或者失败状态时,退出网络.

Step 2: 构建或断开网络连接.新项目加入时,判断其与网络内项目是否存在交互关系.存在时,按项目交互关系进行连接;不存在时,依据项目战略匹配度连接.当项目处于完成或者失败状态时,断开其与网络中节点连接,并依据交互关系改变网络项目参数.

Step 3: 判断项目交互耦合网络是否稳定.依据网络稳定规则判断网络是否在稳定状态,若是,则项目网络在一定时间内不变,直到项目网络出现调整;若不是,则进行 Step 1.

3 结果分析与讨论

由于项目交互耦合网络存在新项目加入的网络生成状态、一段时间的项目结构稳定状态以及项目完成或失败的调整状态,本文以某软件公司的项目组合动态选择问题为例,首先,考虑不存在项目失败时的交互耦合网络,将本文构建模型与传统项目动态选择方法进行对比分析.其次,在考虑新项目加入、项目完成及项目随机失败并存的情况下,分析项目交互耦合网络的结构特征,为项目决策提供支持.

1) 当不存在项目失败时,对项目交互耦合网络进行分析.

某软件公司主要从事银行软件开发业务,如核心系统开发、ESB 系统建设项目、柜面智能系统建设、金融交易平台建设等.目前,需投资 20 个银行业务系统开发项目, $\Gamma = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,项目总数 $n = 20$,资源成本总约束 $C = 680$,总生命周期 $T = 5$,项目收益、资源消耗、成功概率及周期等数据如表 1 所示.

由专家打分可得项目的战略匹配程度 ω_i : (0.11, 0.093, 0.001, 0.085, 0.005, 0.08, 0.064, 0.109, 0.002, 0.076, 0.097, 0.003, 0.001, 0.002, 0.105, 0.002, 0.001, 0.091, 0.023, 0.05).项目集 {1, 2}、{1, 8}、{2, 11}、{4, 7}、{6, 8}、{6, 9}、{8, 15} 间存在正向收益交互,组合后收益分别增加 {473, 356, 247, 188, 135, 98, 328};项目集 {7, 18}、{11, 12}、{18, 20} 间存在负向收益交互,组合后收益分别降低 {125, 87, 136}.项目集 {1, 4}、{1, 11}、{4, 7}、{8, 10}、{11, 5} 分别组合后成本可降低 {35, 41, 12, 42, 69};项目集 {1, 20}、{5, 6}、{11, 18} 分别组合后成本增加 {13, 16, 20}.项目集 {1, 8}、{1,

11}、{2, 7}、{2, 8}、{7, 15}间存在技术交互, 分别组合后成功概率提高{0.15, 0.11, 0.23, 0.31, 0.21}.

表1 项目收益、资源消耗、成功概率、周期数据

项目	收益	资源消耗	成功概率	开始周期	项目总周期
x_1	3379	189	0.7	0	5
x_2	906	68	0.9	2	2
x_3	381	47	0.5	2	3
x_4	672	59	0.7	1	2
x_5	587	68	0.6	3	2
x_6	789	78	0.5	0	4
x_7	890	67	0.4	2	3
x_8	1842	127	0.6	1	4
x_9	426	33	0.6	3	2
x_{10}	686	88	0.8	3	2
x_{11}	1180	106	0.6	1	3
x_{12}	431	46	0.5	0	1
x_{13}	289	21	0.4	2	1
x_{14}	321	19	0.5	4	1
x_{15}	1328	112	0.5	2	3
x_{16}	567	65	0.3	0	2
x_{17}	178	23	0.4	4	1
x_{18}	985	53	0.7	2	2
x_{19}	754	47	0.6	1	2
x_{20}	822	43	0.7	3	2

根据上述数据, 采用生态位重叠模型可计算交互关系系数 θ_{ij} , 假设项目风险分布程度 $\alpha = 0.25$, 风险控制成本系数 $\beta = 28.65$, 可以得到不同周期网络中的项目风险阈值 $L_i(t)$. 再依据项目交互耦合网络生成及稳定规则, 采用Python编程, 可生成项目网络. 将本文构建模型与传统收益最大风险最小化模型进行对比, 如图1所示.

由图1可知, 本文构建模型的项目组合{1, 2, 4, 6, 7, 8, 11, 15}收益优于传统收益-风险优化模型的项目组合{2, 3, 4, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20}收益. 这是因为在本文的项目组合中, 项目集{1, 2}、{1, 8}、{2, 11}、{4, 7}、{6, 8}、{8, 15}存在正向收益交互, 组合后增加收益. 同时, 项目集{1, 4}、{1, 11}、{4, 7}、{11, 15}存在正向资源交互, 能降低成本, 使得原本应超出资源成本总约束的项目集{1, 2, 4, 6, 7, 8, 11, 15}满足资源成本约束, 改变了项目结构, 从而优化了项目组合. 然而, 传统模型在多周期多项目中未考虑交互依赖关系对组合动态选择的影响, 不能选择较优的项目集, 如{1, 8, 11, 15}, 因为这些项目成本较高, 在不考虑交互关系时, 与其他项目进行组合可能会导致成本超出资源约束, 且这些项目风险不是最小. 此外, 传统模型项目组合中的{18, 20}存在负向

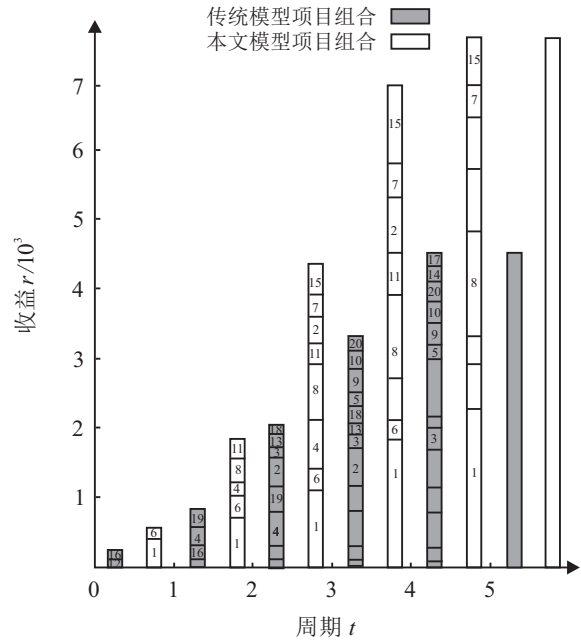


图1 不同项目组合动态选择方法计算结果对比

收益交互, 并行实施会降低收益. 因此, 本文提出的模型优于传统模型.

2) 当新项目加入、项目完成及项目随机失败并存时, 对项目交互耦合网络进行分析.

根据上述实例, 假设项目4和项目6分别在 $t=2$ 和 $t=3$ 时刻失败, 项目耦合网络演化如图2所示.

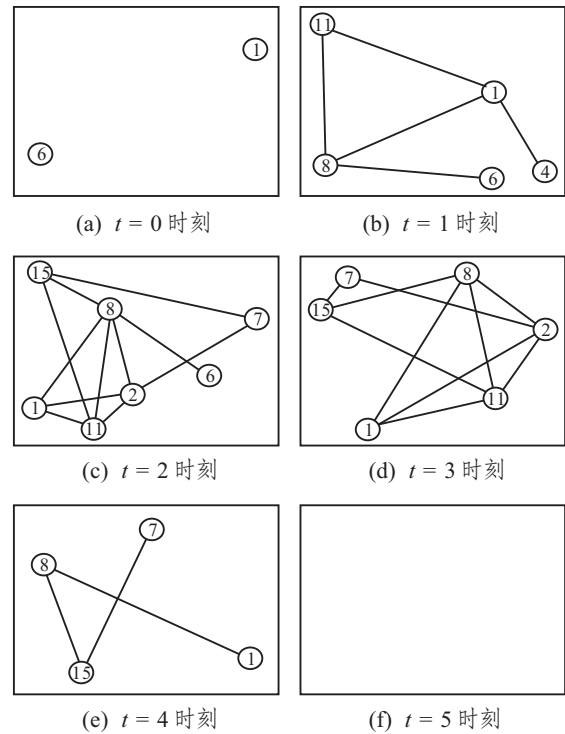


图2 项目交互耦合网络动态演化

由图2可知, 在 $t=2$ 时刻, 由于项目4的失败, 使得其与项目1的正向资源交互效应仅局部实现, 且其与项目7不能实现资源与收益的正交互. 这影响了后续项目组合, 但是由于其他项目如{1, 11}、{11, 15}

间的资源交互可以降低成本,使得组合中的项目总成本不超过资源成本约束,项目{2,7,15}仍然可以在网络中。同时,在 $t=3$ 时刻,项目6的失败影响了项目8的收益,但是项目6对组合中其他项目无影响,此时,项目交互耦合网络逐渐达到稳定,项目组合为{1,2,7,8,11,15}。在 $t=4$ 时刻,项目2、项目11完成,退出网络,项目网络进行调整,并再次稳定直到周期结束。

此外,由 $t=2$ 时刻的项目网络可知,网络节点的介数为{1:0, 2:0.17, 6:0, 7:0.02, 8:0.39, 11:0.05, 15:0.1},节点聚集系数为{1:1, 2:0.5, 6:0, 7:0, 8:0.4, 11:0.67, 15:0.33}。而 $t=3$ 时刻的网络节点介数和聚集系数为{1:0.0, 2:0.2, 7:0.03, 8:0.08, 11:0.08, 15:0.1}, {1:1, 2:0.5, 7:0, 8:0.67, 11:0.67, 15:0.33}。由于节点介数表征着项目在整个项目网络中的作用和影响,聚集系数表征着项目涉及范围的广度,因此,在 $t=2$ 时刻的网络中,项目管理者需要对项目2、项目8、项目15进行重点扶持与保护,因为这些项目的介数较大,聚类系数较高,失败的影响范围较广,会增加相邻项目如项目1、项目6、项目7、项目11失败的可能性,进而增大项目网络级联失败的可能性。在 $t=3$ 时刻的网络中,由于结构的变更,项目2、项目8、项目11、项目15需要重点扶持与保护。因此,项目管理者需根据不同时刻的项目状态进行重点项目管理。

4 结论

项目组合是企业获得竞争优势的重要方式,然而项目组合动态选择仍然是个难题,与已有文献相比,本文的创新点主要有:1)考虑交互依赖关系对项目组合动态选择的影响,借鉴复杂网络理论构建了项目交互耦合网络演化模型。与传统模型相比,项目交互耦合网络能计算出更优的组合解,能有效利用资源,规避风险,提高收益。2)通过提出项目交互耦合网络生成、调整规则,定义网络稳定状态来构建项目组合动态选择模型,能更好地了解组合结构,为项目组合管理提供依据。对于核心项目应进行重点管理,避免这些项目失败而导致其邻节点相继失败,乃至整个组合的失败,即避免产生项目网络级联失败现象。

本文考虑交互依赖关系对项目组合动态选择的影响,为项目组合决策提供了一定借鉴意义。然而,本文仅考虑了项目间两两交互作用,多个项目同时存在交互依赖关系将如何影响项目组合动态选择可以作为未来的研究方向。此外,本文仅从资源约束考虑项目某一周期内的组合情况,并未考虑企业实施项目的

承受能力对项目组合规模的影响,这也可以作为下一步研究的方向。

参考文献(References)

- [1] Hall N G, Long D Z, Qi J, et al. Managing underperformance risk in project portfolio selection[J]. *Operations Research*, 2015, 63(3): 660-675.
- [2] Bhattacharyya R, Kumar P, Kar S. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects[J]. *Computers & Mathematics with Applications*, 2011, 62(10): 3857-3870.
- [3] Eilat H, Golany B, Shtub A. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology[J]. *European J of Operational Research*, 2006, 172(3): 1018-1039.
- [4] Liesiö J, Punkka A. Baseline value specification and sensitivity analysis in multiattribute project portfolio selection[J]. *European J of Operational Research*, 2014, 237(3): 946-956.
- [5] Wang J, Hwang W L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model[J]. *Omega*, 2007, 35(3): 247-257.
- [6] Carlsson C. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection[J]. *Int J of Approximate Reasoning*, 2007, 44(2): 93-105.
- [7] Costa H R, Barros MdO, Travassos G H. Evaluating software project portfolio risks[J]. *J of Systems and Software*, 2007, 80(1): 16-31.
- [8] Choi J, Realff M J, Lee J H. Dynamic programming in a heuristically confined state space: A stochastic resource-constrained project scheduling application[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2004, 28(6): 1039-1058.
- [9] Choi J, Realff M J, Lee J H. A Q-learning based method applied to stochastic resource constrained project scheduling with new project arrivals[J]. *Int J of Robust & Nonlinear Control*, 2010, 17(13): 1214-1231.
- [10] 雷宏, 张著洪. 动态多项目选择计划管理及其免疫优化决策[J]. *计算机应用与软件*, 2011, 28(2): 62-64.
(Lei H, Zhang Z H. Dynamic multi-project selective planning management and its decision-making on immune optimisation[J]. *Computer Applications and Software*, 2011, 28(2): 62-64.)
- [11] Chen C Y, Liu H A, Song J Y. Integrated projects planning in IS departments: A multi-period multi-project selection and assignment approach with a computerized implementation[J]. *European J of Operational Research*, 2013, 229(3): 683-694.
- [12] 李星梅, 王雅娴, 刘再领, 等. 考虑风险因素的可打断项目组合选择问题[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(增1):

- 297-300.
(Li X M, Wang Y X, Liu Z L, et al. Considering the risk factors of portfolio selection problem with divisibility[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(S1): 297-300.)
- [13] 王磊, 聂兰顺, 战德臣, 等. 求解任务可拆分多项目协同调度问题的启发式算法[J]. 控制与决策, 2017, 32(6): 1013-1018.
(Wang L, Nie L S, Zhan D C, et al. Heuristic algorithm for solving multi-project collaborative scheduling problem with activity splitting[J]. Control and Decision, 2017, 32(6): 1013-1018.)
- [14] 杨颖, 杨善林, 胡小建. 基于战略一致性的新产品开发项目组合选择[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(4): 964-970.
(Yang Y, Yang S L, Hu X J, New product development project portfolio selection based on strategic fit[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(4): 964-970.)
- [15] Archer N P, Ghasemzadeh F. An integrated framework for project portfolio selection[J]. Int J of Project Management, 1999, 17(4): 207-216.
- [16] Fliedner T, Liesiö J. Adjustable robustness for multi-attribute project portfolio selection[J]. European J of Operational Research, 2016, 252(3): 931-946.
- [17] Olsson R. Risk management in a multi-project environment[J]. Int J of Quality & Reliability Management, 2008, 25(1): 60-71.
- [18] Teller J, Kock A. An empirical investigation on how portfolio risk management influences project portfolio success[J]. Int J of Project Management, 2013, 31(6): 817-829.
- [19] Amaral L A N, Uzzi B. Complex systems: A new paradigm for the integrative study of management, physical, and Technological Systems[J]. Management Science, 2007, 53(7): 1033-1035.
- [20] 赵静, 郭鹏, 贾颖颖. 基于交互耦合网络的项目组合决策模型研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(4): 76-83.
(Zhao J, Guo P, Jia Y Y. The decision-making model of the project portfolio based on interactive coupling network[J]. Operations Research and Management Science, 2017, 26(4): 76-83.)
- [21] Wang J W, Rong L L. Cascade-based attack vulnerability on the US power grid[J]. Safety Science. 2009, 47(10): 1332-1336.
- [22] 张延禄, 杨乃定, 郭晓. R&D网络的自组织演化模型及其仿真研究[J]. 管理科学, 2012, 25(3): 10-20.
(Zhang Y L, Yang N D, Guo X. Risk cascading propagation modeling and simulation in R&D network[J]. J of Management Science, 2012, 25(3): 10-20.)
- [23] Killen C P. Evaluation of project interdependency visualizations through decision scenario experimentation [J]. Int J of Project Management, 2013, 31(6): 804-816.
- [24] 张春生, 严广乐. 项目组合网络实证研究[J]. 运筹与管理, 2015, 24(5): 156-166.
(Zhang C S, Yan G L. Network empirical study of the project portfolio[J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24(5): 156-166.)
- [25] 赵静, 郭鹏, 潘女兆. 基于交互效应的项目组合风险度量及选择优化[J]. 运筹与管理, 2011, 20(6): 120-126.
(Zhao J, Guo P, Pan N Z. Risk measurement and selection optimization of project portfolio based on the interaction effect[J]. Operations Research and Management Science, 2011, 20(6): 120-126.)
- [26] 王景玫, 郭鹏, 赵静. R&D项目组合鲁棒性风险测度及选择模型研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(6): 140-148.
(Wang J M, Guo P, Zhao J. Research on measurement of robustness risk and selection model of R&D project portfolio[J]. Operations Research and Management Science, 2017, 26(6): 140-148.)
- [27] Jackson M O, Watts A. The evolution of social and economic networks[J]. J of Economic Theory, 2002, 106(2): 265-295.

作者简介

王景玫(1989—), 女, 博士生, 从事项目组合选择、复杂网络的研究, E-mail: wangjingmeizx@126.com;

郭鹏(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事项目管理、复杂系统建模等研究, E-mail: guopeng@nwpu.edu.cn;

赵静(1984—), 女, 副教授, 博士, 从事复杂系统建模、项目组合风险等研究, E-mail: zhaojing9026@163.com.

(责任编辑: 闫 妍)