

R&D 型动态联盟的模块化 与项目式集成管理研究

柴国荣^{1,2}, 洪兆富², 许 瑾²

(1.西安交通大学 经济与金融学院, 西安 710061; 2.兰州大学 管理学院, 兰州 730000)

摘要: R&D 型动态联盟是一种高度柔性化的模块化组织, 这种合作型研发组织通过对合作企业核心能力和资源的整合, 降低了研发成本, 缩短了研发周期, 提高了研发竞争力。将 R&D 型联盟中的合作企业按功能进行模块化分解, 并将各个功能模块转化为项目活动, 以实现 R&D 型动态联盟的项目式集成管理, 并运用网络优化原理对 R&D 型动态联盟各模块的进度进行优化, 为最优工期的确定提供有效方法。

关键词: R&D 型动态联盟; 模块化; 项目式集成管理; 进度管理

中图分类号: F403.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-0241(2008)05-0005-04

0 引言

现代经济增长理论表明, 技术创新是经济增长的重要源泉^[1], 研发(R&D)则是科技创新与进步的主要手段和动力, 而且大型 R&D 项目越来越趋向于合作研发(cooperative R&D)^[2]。在信息技术和网络经济迅速发展的环境下, 动态联盟通过对合作企业核心能力和资源的整合, 形成了拥有各种功能和业务的模块化组织, 这种模块化的组织为大型 R&D 项目提供了一种新型的合作模式。Baldwin 和 Clark^[3]指出, 模块化极大地提高了创新速度, 是复杂产品研发的有效手段, 并通过 IMB360 的实证研究建立了比较完整的框架。很多学者从产品的研发、技术和制造方面对模块化的创新工作进行了研究^[4-6], 但对模块化分解以及分解后集成管理的研究尚不多见。李国富等^[7]从工艺流程的模块化分解角度提出了动态联盟的组建方法, 姜华等^[8]提出了基于信息集成和资源共享的动态联盟集成化产品开发模式, 但没有涉及 R&D 项目管理的优化问题。

时间是决定 R&D 项目成败的关键因素, 科学的项目计划和进度安排至关重要^[9], 但是一直以来 R&D 项目进

度优化方面的研究较少^[9-10]。本文首先对 R&D 型动态联盟的模块化分解进行了研究, 然后提出了项目式的 R&D 型动态联盟集成管理方法, 最后从工期最小化和净现值最大化角度给出了动态联盟的进度优化方法。为提高创新效率和缩短研发周期提供了研究思路, 为最优工期的确定提供了有效方法。

本研究假设: 大型 R&D 项目动态联盟由多个盟友企业组成, 并由盟主负责整个联盟的协调工作; 联盟中的各模块间存在着紧前约束关系; 采用基于活动的研究方法, 即项目网络采用(AON)(Activity-on-Arrow)表述方式^[11]; 活动具有多种离散的执行模式(multi-mode), 每种模式的工期及资源由需求确定^[12]; 活动遵从“结束—开始”(F-S)型优先关系, 即活动只能在其紧前活动完成之后开始^[13]; 每种资源各个时期的自有量及单位由自有成本确定。

1 R&D 型动态联盟的模块化

1.1 模块化思想

模块化就是把一个复杂系统分解为若干个独立的模块, 各模块具有特定的功能并独立完成分配的任务, 而且

收稿日期: 2007-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“供应链环境下基于资源整合的柔性项目进度管理研究”(70702013); 甘肃省自然科学基金项目“柔性项目进度的优化模型、求解算法及管理机制研究”(3ZS061-A25-040)

第一作者简介: 柴国荣(1976-), 男, 甘肃会宁人, 管理学博士, 西安交通大学应用经济学博士后, 兰州大学管理学院副教授, 硕士生导师, 研究方向: 项目管理、物流与供应链管理。

各模块还可以分解为相对简单的具体活动, 整个系统的功能又通过这些模块的组合得以实现^[3]。模块化把复杂的结构简单化, 把复杂的系统逐层分解为简单的子系统, 从而易于实施^[7]。动态联盟的模块化就是将联盟所整合的各种资源和功能进行规划和组合, 根据功能特点把盟友企业划分为具有特定功能的模块。然后在模块分解的基础上, 将各模块重新组合成一个具有特定结构和功能的“模块化组织”, 这个组织是由各功能模块组成的网络组织。

1.2 R&D 型动态联盟的模块化

在 R&D 型的动态联盟中, R&D 项目往往可以分解成多个不同的子任务, 并通过盟友企业的 R&D 合作完成整个产品的研发^[2]。R&D 型动态联盟的模块化就是在对研发产品功能分解的基础上, 将整个 R&D 项目分解成多个功能模块, 联盟通过对各功能模块的整合完成整个研发项目。根据盟友企业的资源类型和核心能力, 将各盟友企业划分在不同的功能模块中, 各模块通过具体的子活动完成分配的 R&D 子任务。功能模块之间的关系可能是并行关系, 也有可能是紧前约束关系, 它们共同构成了以功能模块为单元的模块化网络组织。如图 1 所示, 假设可以根据产品功能特点将某个 R&D 型动态联盟中的各盟友企业划分成 6 个功能模块 (每个模块中可能包含一个或多个盟友企业), 每个功能模块有各自的 R&D 子任务并由具体的 R&D 子活动完成 (注: 本文称模块转化后的活动为“活动”, 称模块中的活动为“子活动”)。

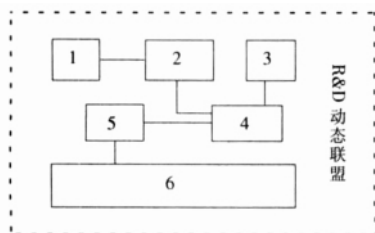


图 1 R&D 动态联盟的模块化分解

2 R&D 型动态联盟的项目式集成管理

2.1 模块的项目式集成方法

如果用 $i, j \in V(i, j=1, 2, \dots, N)$ 表示 R&D 型动态联盟中的功能模块, 用 $\langle i, j \rangle$ 表示模块 i 与 j 的紧前约束关系, 且 j 在 i 结束之后发生, 那么的模块网络可以表示为 $G=(V, D)$ 。现通过模块与项目活动的转化, 实现动态联盟的项目式集成管理。R&D 型动态联盟的项目式集成管理就是将动态联盟中的功能模块看作 R&D 项目中的活动, 将模块化网络转化为基于活动的项目进度网络, 然后运用

网络优化方法对联盟中的各个模块进行综合管理, 实现整个 R&D 项目的进度优化。

功能模块的 R&D 子任务通过模块中具体子活动完成, 因此模块间的紧前约束关系表现为: 前一模块的最后一个活动和后一模块的第一个活动之间的紧前约束关系。然而, 两个模块间的活动没有直接的约束关系, 因此不能直接用网络优化的方法进行进度优化。本文通过在子模块间构建虚活动来衔接联盟中的各个模块, 通过虚活动的引入将各模块转化为具有严格优先约束关系的活动。在模块 i 的最后一个活动后面添加一个虚活动 i , 这个虚活动既是模块 i 的结束活动又是模块 j 的开始活动, 虚活动 i 的工期为 0 而且不消耗任何资源。引入虚活动后, 各模块便构成了具有严格优先约束关系的模块化网络。如果把各功能模块对应于项目中的活动, 把模块间的约束关系对应于项目网络中的活动优先关系, 那么模块化网络便转化成了基于活动的项目进度网络。

其中, $i, j \in V$ 表示 R&D 项目的活动 i 和 j , 二者之间的优先关系表示可以为 $\langle i, j \rangle \in D$, R&D 项目的进度网络可以表示为 $G=(V, D)$ 。通过以上转换, 对联盟中各模块的管理就转换成了对项目中活动的管理, 进而可以运用项目管理的方法实现动态联盟的集成化管理。

2.2 R&D 型动态联盟的进度优化方法

R&D 型动态联盟的进度优化就是对联盟中各模块的进度安排进行优化 (即对转化后的活动进行进度优化), 获得联盟最佳的进度安排, 同时每个模块获得一个完成任务的截止日期。模块中的企业则根据截止日期对子活动进行进度优化, 获得各子活动的进度安排^[14]。由于对研发型企业来说其资源是有限的, 盟友的进度安排受到自有资源的限制, 因此本文的项目进度优化问题属于多模式项目进度问题 (MMRCPS)。由于缩短研发周期对 R&D 项目来说至关重要^[9], 因此其进度优化的目标函数通常是项目工期的最小化。然而项目收益也是 R&D 项目的一个重要评价指标, 因此以项目收益净现值最大化作为决策目标也是合理的^[15]。一般而言, 技术创新竞争激烈的行业通常以工期最小化为目标, 而垄断行业的科技研发则以净现值最大化为目标。因此, 本文分别以项目工期最小化和收益净现值最大化为目标函数, 提出 R&D 型动态联盟的进度优化方法。

如果用 $t(t=1, 2, \dots, T)$ 表示活动 i 的执行时间, 用 $k(k=1, 2, \dots, K)$ 表示活动的执行模式, 用 $[E_i, L_i]$ 表示活动 i 的执行

时间窗, 用 D_{ik} 表示活动 i 以模式 k 执行时的工期, 用 C_i 表示虚活动 i 的执行时间 (C_i 既是前一活动的结束时间又是后一活动的开始时间), 那么在文献[12]的基础上, 将其活动的约束关系表示如下:

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{活动 } i \text{ 采取执行模式 } k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall i, k \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} (t+D_{ik}) X_{ik} - C_i = 0 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} t X_{ik} \leq C_i \quad \forall i, j \in V, \forall \langle i, j \rangle \in E \quad (3)$$

其中, 式(1)为活动的执行模式约束条件, 即保证每个活动只有一种执行模式; 式(2)活动 i 在活动 i 之前结束; 表示式(3)保证下一个活动必须在前一活动结束后开始。

如果用 r_{ikm} 表示时期 t 内活动 i 以模式 k 执行时需要的可更新资源 $m(m \in R)$ 的数量, SA_t 为时期 t 内所有活动的集合; 用 r_{ikm}^v 表示活动 i 以模式 k 执行时需要的不可更新资源 $l(l \in R^v)$ 的数量 (R 和 R^v 分别是可更新资源 m 和不可更新资源 l 的资源集合), 那么其资源约束关系可表示为:

$$\sum_{i \in SA_t} r_{ikm} \leq R_m \quad t > 0, m \in R \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} r_{ikl}^v \leq R_l^v \quad l \in R^v \quad (5)$$

其中, 式(4)为时期 t 内的可更新资源约束, 式(5)为整个项目中的不可更新资源约束。

2.2.1 项目工期最小化

工期最小化项目进度问题就是在自有资源约束和活动优先关系约束下安排各项活动的执行时间, 并通过进度优化使得项目工期最短。按照优化后的项目进度安排模块的执行时间, 可以大大地缩短 R&D 项目的研发周期, 其问题规划如下:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N tX_{ik} \quad (6)$$

$$\text{st.} \begin{cases} X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{活动 } i \text{ 采取执行模式 } k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall i, k \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} (t+D_{ik}) X_{ik} - C_i = 0 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} t X_{ik} \leq C_i \quad \forall i, j \in V, \forall \langle i, j \rangle \in E \quad (3)$$

$$\sum_{i \in SA_t} r_{ikm} \leq R_m \quad t > 0, m \in R \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} r_{ikl}^v \leq R_l^v \quad l \in R^v \quad (5)$$

其中, 式(6)为 R&D 项目的工期最小化目标函数, 式(1)~(3)为活动优先关系约束, 式(4)、(5)为资源约束。

2.2.2 项目净现值最大化

项目净现值最大化问题也称为折现流项目进度问题 (PSP-DCF) 或现金流优化问题, 就是在活动优先关系约束和资源约束下, 考虑资金的时间价值, 通过合理的安排各项活动的执行时间来优化现金流, 以使项目的净现值最大化^[15]。如果用 c_m 和 c_l 表示资源 m 和 l 的使用成本, 用 C_t 表示时期 t 内资源 m 和 l 的使用总成本, 那么其问题可规划如下:

$$\text{Min NPV} = A \exp(-T_N) - \sum_{t=1}^{T_N} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M [c_l \exp(-t)] \quad (7)$$

$$\text{st.} \begin{cases} X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{活动 } i \text{ 采取执行模式 } k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall i, k \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} (t+D_{ik}) X_{ik} - C_i = 0 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} t X_{ik} \leq C_i \quad \forall i, j \in V, \forall \langle i, j \rangle \in E \quad (3)$$

$$\sum_{i \in SA_t} r_{ikm} \leq R_m \quad t > 0, m \in R \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} r_{ikl}^v \leq R_l^v \quad l \in R^v \quad (5)$$

$$C_t = r_{tm} C_m + r_{tl}^v C_l^v \quad (8)$$

其中, 式(7)为 R&D 项目的净现值最大化目标函数, 式(1)~(3)为活动优先关系约束, 式(4)、(5)为资源约束, 式(8)为资源成本约束。

在将模块转换成项目活动的基础上, 通过以上两种优化方法对 R&D 型动态联盟的各模块进行进度优化后, 得到各功能模块合理的执行时间 (即为各模块的任务完成时间确定了截止日期)。然后, 模块中的各个企业则根据此截止日期对子各活动进行基于截止日期的项目进度优化^[14], 使得 R&D 型动态联盟中所有子活动的进度得以优化, 从而获得 R&D 项目的最佳工期。

3 结束语

R&D 型动态联盟通过合作企业的核心能力和资源的

整合,形成了一种高度柔性化的模块化组织,促进了研发成本的降低和研发周期的压缩。本文将 R&D 型联盟中的合作企业按功能进行模块化分解,构建出模块化网络图。然后通过虚活动的引入将功能模块转化为具有严格约束优先关系的项目活动,进而实现了模块的项目式集成管理。最后提出了以工期最小化和净现值最大化为目标,运用网络优化原理对各模块的进度进行优化,为 R&D 型动态联盟最优工期的确定和创新效率的提高提供了思路与方法。

参考文献

- [1] Lucas, R. E. On the mechanics of economic development [J]. *Journal of Monetary Economics*, 1988(XXII): 3-42
- [2] Hiroyuki, O. Determinants of successful R&D cooperation in Japanese small businesses: The impact of organizational and contractual characteristics [J]. *Research Policy*, 2007, 36(2): 758-767
- [3] Baldwin, C.Y. and Clark, K.B. Managing in an age of modularity [J]. *Harvard Business Review*, 1997, 75(5): 84-93
- [4] Davies, A., Brady, T. Organizational capabilities and learning in complex product systems: Towards repeatable solutions [J]. *Research Policy*, 2000(29): 931-953
- [5] Shenhar, A. J. A new conceptual framework for modern project management[A]. In: Khalil TM, Bayraktar BA (Eds). *Management of technology*, IV[C]. New York: Institute of Industrial Engineers, 1994
- [6] Holmstrom B., Milgrom P. The Firm as an Incentive System [J]. *American Economic Review*. 1994, 972-991
- [7] 李国富,叶飞帆.基于工艺流程的虚拟企业模块化组建方法[J].*中国管理科学*, 2000, 8(1): 25-30
- [8] 姜华,熊光楞,张和明.动态联盟环境下集成化产品开发方法研究[J].*中国机械工程*, 1999, 10(7): 773-776
- [9] Juite, Wang. Constraint-based schedule repair for product development projects with time-limited constraints [J]. *Production Economics*, 2005(95): 399-414
- [10] Hongyi, Sun., Tianchao, Ma. A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling[J].*Technovation*, 2005, 25(11): 1355-1361
- [11] De, R. B., Herroelen, W. The multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations [J]. *European Journal of Operational Research*. 1999, 119(2): 538-556
- [12] Brian, T. Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: The non-preemptive case [J].*Management Science*. 1982, 28(10): 1197-1210
- [13] Lawrence, K. Resource-constrained project scheduling with preemption of jobs [D]. University of Michigan, 1988
- [14] 柴国荣,徐渝,雷亮.合同双方联合角度的 R&D 项目激励机制优化研究[J].*科研管理*, 2006, 27(4): 110-115
- [15] Demeulemeester, E.L., Herroelen, W. S. A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem[J]. *Management Science*, 1992(38): 1983-1818

(责任编辑 殷得民)

Study on Modular and Integrated Management in R&D Dynamic Alliance

CHAI Guorong^{1,2}, HONG Zhaofu², XU jin²

(1. School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; 2. School of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The cooperative form of R&D dynamic alliance gives a good way to shorten the development period and boost the ability of competition. We make a modular decomposition on the cooperative enterprises according to the functions, however, the functional modules are translate into project activities so as to realize the project integrated management. And then, the scheduling of the modules is optimized by the RCPSp, expecting to give an effective method for the optimization of large-scale R&D project duration.

Key words: R&D dynamic alliance; modularity; project integrated management; scheduling management