

文章编号:1003-207(2015)02-0099-09

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2015.02.012

基于组织-任务网络的研发项目工期风险分析

——以组织失效为风险因素

张延禄,杨乃定

(西北工业大学管理学院,陕西 西安 710072)

摘要:在项目工期风险管理领域,大多基于活动工期的不确定性进行研究,对由组织失效引起的工期风险问题较少关注。在对研发项目组织网络和任务网络分析的基础上,提出了研发项目的组织-任务网络模型。借鉴相继故障理论中的耦合映象格子,构建了以组织失效为风险因素的研发项目工期风险分析模型,并对该理论模型进行了数值仿真。结果表明,施加给组织节点的外部扰动达到某一数值即关键扰动阈值时可显著导致项目工期延误,该关键扰动阈值与组织间的耦合度呈负相关,与组织网络的平均度呈正相关,度大袭击比随机袭击和度小袭击更易于导致项目工期风险的发生,且造成工期延误的程度随着组织间耦合度的减小而愈加显著。研究结论为网络化背景下研发项目工期风险管理提供了新的视角。

关键词:研发项目;工期风险;组织失效;组织-任务网络;耦合映象格子;数值仿真

中图分类号:C935 **文献标识码:**A

1 引言

当今社会,面对技术的复杂性、资源的有限性以及市场需求的多变性,众多组织结成网络已成为研发项目运行的有效模式。网络化研发可以极大满足组织间共享研发资源、降低沟通成本、提高研发效率等目标^[1],但并不意味着风险的消失或减小。相反,由于参研单位多、子项目分布广、投资规模大以及外部环境的不确定,研发项目普遍存在计划失控、工期延误等问题^[2]。因此,工期风险分析就成为网络化背景下研发项目风险管理的重要问题。

目前,项目管理领域常用的工期风险分析方法有甘特图(GC)、工作分解结构(WBS)、关键路径法(CPM)、计划评审技术(PERT)、图形评审技术(GERT)、风险评审技术(VERT)等方法^[3]。其中,PERT是目前应用最为普遍的工期风险分析方法,它以WBS和CPM方法为基础构建项目任务网络

图,假定工期服从正态分布进行时间参数的计算。鉴于工期作为随机变量的随机性,提出了蒙特卡罗方法,其通过产生服从某一概率分布的随机数来估计工期风险^[4]。之后,国内外学者又相继提出了关键链^[5]、模糊数学法^[6]、影响图^[7]、贝叶斯网络^[8]、迭代过程^[9]等项目工期风险分析方法。

通过总结发现,上述研究均是从任务工期自身的不确定性视角来探讨项目工期风险问题,而没有或较少关注参与组织方在执行项目任务过程中可能对项目工期产生的重要影响。事实上,参与组织方作为项目任务的实施主体,对人、财、物、信息等资源能否有效配置与利用将会显著影响项目工期,是工期风险的重要因素^[10]。对研发项目来说,当任务数量不断增加,参与组织方的数量也随之增加,某个或少数几个组织无法发挥正常功能时将极有可能通过彼此间形成的合作、隶属或协助等关系波及到周围组织并进而影响到所执行任务的工期,最终对整个项目的工期产生重大影响。鉴于组织失效对研发项目工期具有的重要影响,本文拟借鉴复杂网络中的相继故障理论,将组织节点的失效作为工期风险因素,采用耦合映象格子(Coupled Map Lattice, CML)模型来揭示组织节点出现相继失效后对研发项目工期的影响机制,从而为网络化背景下研发项

收稿日期:2012-12-11; 修订日期:2014-07-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71471146,70972126);高等学校博士学科点专项科研基金(20106102110042)

作者简介:张延禄(1984-),男(汉族),山东潍坊人,西北工业大学管理学院,讲师,研究方向:项目风险管理、管理系统工程。

目工期风险管理提供新的研究视角。

2 研发项目的组织-任务网络模型

一个完整的研发项目系统至少应该包括两种节点类型:参与组织和子任务(子项目),这两类节点可以通过各自间的关系分别形成不同的网络,本文分别将其称为组织网络和任务网络。随着研发项目规模的大型化,众多参与组织通过彼此之间的合作、隶属、协助等关系可以形成复杂的组织网络,即研发网络(R&D Network)。复杂网络理论作为描述复杂系统的一种研究方法,在过去十几年里得到了巨大发展和广泛应用^[11-13],该理论有助于本文对研发项目组织网络的分析。关于研发网络的拓扑结构,学者 Zhang Yanlu^[14-15]、Hanaki^[16]、Cloodt^[17]、Barber^[18]等人从不同视角进行了深入研究,普遍认为研发网络具有无标度网络的特征。其中一个很重要的原因就是在研发网络的形成时期,由于信息的不完全以及搜寻成本的增加等原因,参与研发的各组织选择合作伙伴是一个有意识的过程,具有一定的偏好性^[19]。这种偏好性表现为某些组织起初建立的合作关系越多,越有可能成为其它组织期望合作的对象,因而能够获得大量的连接关系,从而成为集散节点(明星节点),而非集散节点之间的连接关系则相对较少^[16],因此形成了无标度网络的结构。

此外,研发项目规模的增加也意味着子任务(子项目)数量的增加,而子任务(子项目)之间的关系则主要体现为执行时间的时序依赖关系。学者 Smith 等^[20]人就将研发项目定义为由一系列紧密相关的研发任务而组成的网络。关于研发活动之间的时序关系,Smith^[20-22]先后提出了串行模式、并行模式和反馈模式三种类型。事实上,随着研发规模的大型化以及外部环境的多变性,这三种类型往往同时存在于同一个研发项目之中,从而形成了研发项目的任务网络。

任何一个项目的子任务必须在参与组织方的执行下才能完成,于是研发项目的组织网络与任务网络之间就形成了这样一种关系——组织对任务的执行关系。而且,这种关系具有一定的多样性,即不同的组织对同一任务的作用和影响可能并不一样,比如有的组织是任务的主要实施方,有的则是任务的参与方,而有的则负责任务的验收评估等。于是,研发项目的组织网络与任务网络通过组织对任务的执行关系联系在了一起,从而形成了研发项目的组织-任务网络,如下图 1 所示。

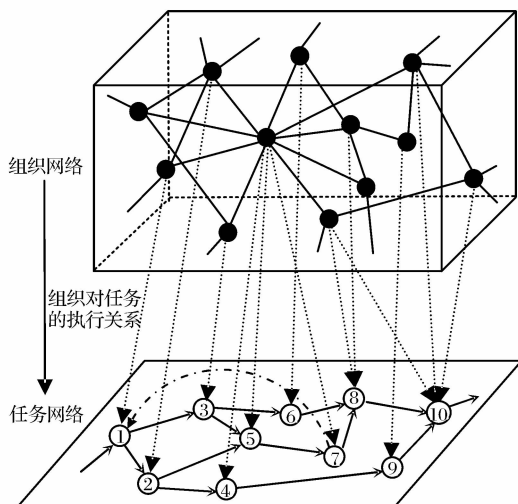


图 1 研发项目的组织-任务网络模型

3 基于组织-任务网络的研发项目工期风险分析模型

上述建立的组织-任务网络模型,将研发项目的参与组织和任务联系起来,便于从整体角度来揭示组织节点失效对项目工期的影响机制。因此,本文基于上述组织-任务网络模型,研究组织节点失效后如何通过组织对任务的执行关系而最终影响研发项目各任务的工期,以此来探讨影响研发项目工期风险的关键因素。

3.1 模型假设

对任何项目而言,其总工期是由关键路径上所有关键任务的持续时间所决定。简化起见,本文仅针对研发项目关键任务的工期进行研究,即下文所提到的研发项目子任务均指关键路径上的子任务。基于上述假设,本文假定研发项目的(关键)子任务数量为 M ,同时设定 $t_i (1 \leq i \leq M)$ 为任务 i 的计划工期,于是项目的计划总工期 $t_{\text{总}} = \sum_{i=1}^M t_i$ 。同时,假定参与执行研发项目所有关键子任务的组织个数为 N ,并将 B 作为该组织网络的邻接矩阵,其元素 $b_{ij} = 1$ 表示组织 i 与 j 存在连接关系,而 $b_{ij} = 0$ 则表示两者不存在任何关系。同时假设 H 为组织对任务的执行关系矩阵,其元素 $h_{ij} > 0 (1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N)$ 表示组织 j 参与任务 i 的实施,而 $h_{ij} = 0$ 则表示组织 j 对任务 i 不存在关系。其它假设如下:

(1)由于参与研发的各组织选择合作伙伴具有一定的偏好性,本文假设组织网络具有无标度网络的拓扑结构。同时鉴于组织之间建立的连接关系通常具有双向性,因此假定组织网络为无向网络。

(2)假设研发项目在实施过程中,非关键子任务仍为非关键任务,于是研发项目的实际总工期 $t_{\text{总}}$ 等于 M 个序贯执行的关键子任务实际完工时间之和,即 $t_{\text{总}} = \sum_{i=1}^M t_i$,其中 t_i 表示任务 i 的实际工期。

(3)研发项目的参与组织处于动态的组织网络之中,即当某些组织节点发生失效后将组织网络中剔除,不能再与网络中其他组织建立连接关系。同时假设组织节点的相继失效过程发生在项目启动初期,失效所经历的时间相对于项目总工期可忽略不计。

(4)项目每个子任务的平均参与执行的组织个数为 d ,并假定 $d \approx \frac{N}{M}$ 。同时假定每个组织随机地参与对任务的执行过程。

(5)由于不同组织对同一任务的执行关系存在强弱之分,于是本文假设组织对任务的执行关系矩阵 H 为加权有向网络,假定组织执行任务的关系共分为三种类型,分别为主要实施关系($h_{ij} = 3$)、验收评估关系($h_{ij} = 2$)和协助实施关系($h_{ij} = 1$)。

3.2 模型构建

本文将研发项目的组织网络和任务网络联系起来,将组织节点的失效作为项目工期风险发生的影响因素来揭示组织失效对项目工期的影响机制。在过去十几年里,基于耦合映象格子的相继故障模型已经被广泛用于研究复杂系统的时空动力学行为。近年来,不少学者开始针对小世界或无标度网络来研究 CML 中的动力学行为,并取得了许多有价值的成果和结论^[23-24]。因此,本文借鉴相继故障理论的思想,采用 CML 模型来揭示研发项目组织网络的节点相继失效过程。下面,本文建立包含 N 个组织节点的 CML 模型:

$$s_i(t+1) = |(1-\epsilon)f(s_i(t)) + \epsilon \sum_{j=1, j \neq i}^N b_{ij}(t) f(s_j(t))/k_i(t)| \quad (1)$$

其中, $s_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, N$) 表示 t 时刻组织节点 i 的状态, $0 < s_i(t) < 1$ 意味着 t 时刻组织节点 i 处于正常状态,而 $s_i(t) \geq 1$ 则意味着该节点处于失效状态; $b_{ij}(t)$ 表示 t 时刻组织节点 i 与 j 的连接状态; $k_i(t)$ 表示 t 时刻组织节点 i 的度,即与节点 i 存在直接连接关系的节点个数;可调参数 $\epsilon \in (0, 1)$ 表示组织之间的耦合强度, ϵ 值越大,说明节点 i 的状态受邻居节点状态影响的程度越大,反之就越小;非线性函数 f 表示节点自身的动态行为,这里假定为 Logistic 映射,如下:

$$f(x) = 4x(1-x) \quad (2)$$

不难看出,在没有外部扰动的前提下,如果所有 N 个组织节点的初始状态都在 $(0, 1)$ 范围内,按照上式(1)进行迭代,所有的节点将永远保持正常状态。为了研究由单个组织节点受到扰动而导致的相继失效过程,本文假定在 m 时刻给某组织节点 c 施加一个外部扰动值 $R > 0$,如下式(3)所示:

$$s_c(m) = |(1-\epsilon)f(s_c(m-1)) + \epsilon \sum_{j=1, j \neq i}^N b_{ij}(m-1)f(s_j(m-1))/k_c(m-1)| + R \quad (3)$$

其中, $s_c(m) \geq 1$ 表示组织节点 c 在 m 时刻失效,并在所有的 $t > m$ 时刻均有 $s_c(t) \equiv s_c(m) \geq 1$ 。在 m 时刻,所有与节点 c 存在连接关系的邻居节点状态都将受到失效节点 c 的状态 $s_c(m)$ 所影响,于是这些邻居节点的状态值都将按照上式(1)重新进行计算。若迭代后某些节点处于失效状态,将会引发新一轮的节点失效行为。在 m 时刻末期,失效节点 c 将从组织网络中移除,即在下一时刻的迭代计算中将不再考虑该节点 c 。上述过程反复进行,节点的相继失效行为最终将可能扩散至整个组织网络。

事实上,研发项目任务 i 的实际工期 t_i 受三方面因素共同影响:一是该任务的计划工期 t_i ,即计划工期越长,说明完成该任务的难度越大,意味着实际工期也就越长;二是参与执行该任务的失效组织节点比例,该比例越高,意味着实际工期越长;三就是组织节点的失效对实际工期的影响程度,影响程度越大,说明子任务需要越多的时间来完成。基于上述分析,本文提出任务 i 实际工期 t_i 的计算公式,如下所示:

$$t_i = (1 + \omega \cdot \frac{\sum_{l \in \Psi_i} h_{il}}{\sum_{j=1}^N h_{ij}}) \cdot t_i \quad (4)$$

其中, Ψ_i 表示参与执行任务 i 的失效组织节点集合; ω 表示组织节点的失效对实际工期的影响程度,即当参与执行任务 i 的所有组织全部失效时,该任务 i 将比正常情况多需要 ω 倍的计划时间来完成。

最后,为了衡量组织失效最终造成研发项目总工期延误的程度,本文提出将项目实际总工期与计划总工期的比值即 $\sum_{i=1}^M t_i / \sum_{i=1}^M t_i$ 作为测量指标。该比值越大,说明组织节点的失效对研发项目总工期造成的影响就越大,从而为研发项目工期风险的管理与控制提供了一定的决策依据。

4 仿真及结果分析

针对研发项目组织网络具有的无标度特性,本文采用 Barabási 和 Albert^[13] 提出的 BA 无标度网络模型来构造。具体算法是:首先构造一个具有 m_0 个节点的全局网络,然后每隔相等时间引入一个新的节点,并使其与在位节点相连接产生 m' 条新边,其中 $m' \leq m_0$ 。同时规定新节点与每一个在位节点 i 相连的概率 Π_i 由节点 i 的度 k_i 及其它所有节点度的总和决定,公式如下:

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j} \quad (5)$$

最后,经过 t 个时刻后,BA 模型将生成一个具有 $m_0 + t$ 个节点、平均度 $\langle k \rangle = 2m'$ 的无标度网络。

同时,本文假设初始时刻参与项目的各组织均处于正常状态,即满足 $s_i(0) \sim U(0,1)$;同时设定研发项目的组织总数 $N=1000$, (关键)任务总数 $M=200$,于是每个任务的平均参与组织数 $\bar{d} = 5$;组织失效对工期的影响程度 $\bar{\omega} = 1$ 。简化起见,假设项目各子任务的计划工期服从 1 天到 60 天的均匀整数分布。鉴于耦合强度 ϵ 、外部扰动值 R 、组织网络拓扑结构以及不同类型组织在执行任务时所起的不同作用可能对研发项目工期具有不同的影响,本文将运用数值仿真方法从可调参数 ϵ 和 R 、组织网络的平均度、袭击组织节点策略这三个方面展开研究。

4.1 可调参数 ϵ 和 R 对项目工期的影响

可调参数 R 表示施加到网络中某一节点的外部扰动值,具有导致该节点出现失效并可能引发整个组织网络出现相继故障的作用。当然,当 R 值足够大时,任一节点的失效都可以导致所有节点出现相继失效。但在实际的工期风险管理中,应努力寻求导致所有节点相继失效的最小 R 值,本文将其称为关键扰动阈值 R^* 。 R^* 实际上反映了复杂网络面对外部干扰所具有的鲁棒性,即 R^* 值越大,鲁棒性越强。参数 ϵ 作为组织节点之间的耦合强度,反映了节点状态受邻居节点状态影响的程度。 ϵ 值越大,节点越容易受到邻居节点状态的影响,对 R 值的变化也就越敏感。为了研究参数 ϵ 和 R 对研发项目工期的影响,本文以组织节点数 $N=1000$ 、组织网络平均度 $\langle k \rangle = 6$ 、任务数 $M=200$ 、 $\bar{d} = 5$ 、 $\bar{\omega} = 1$ 时的研发项目组织—任务网络为例,对随机袭击某一失效组织节点如何影响项目工期风险进行数值仿

真,结果如下图 2 所示。

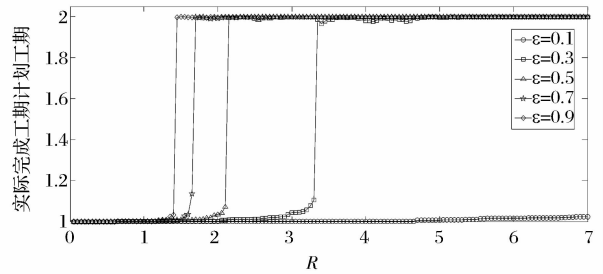


图 2 不同 ϵ 值下研发项目工期与外部扰动 R 之间的关系

从上图 2 可以看出,除 $\epsilon = 0.1$ 以外,用来衡量组织节点失效对项目工期风险影响大小的指标——实际总工期 / 计划总工期起初随着 R 值的增加呈现出缓慢增加的趋势,但随着 R 值超过某一数值即所谓的关键扰动阈值 R^* 后便迅速上升,最终稳定在 2 左右保持不变。此时,所有组织节点已全部失效,项目的实际工期比原计划工期多出了一倍。

上述仿真结果说明了研发项目在实施过程中,只有施加给某一组织节点的外部扰动超过关键扰动阈值 R^* 时,项目的工期才会出现明显延误:即当 $R < R^*$ 时,只有极少量的组织节点会发生故障进而导致极少数任务的工期出现延误;而当 $R > R^*$ 时,组织失效的规模会快速增加并进而引发项目的工期出现明显延误。因此,在实际的项目管理实践活动中,管理者应该建立健全项目各参与组织方之间进行沟通的信息搜集和反馈机制,实现对各个组织状态的实时监控,防止出现大规模的相继失效现象。同时,时刻关注各种外部环境因素比如市场需求变动、宏观调控措施出台、股市出现波动等可能对研发项目正常运行产生的影响和冲击,防止这种影响和冲击超过研发项目所能承受的范围而出现组织相继失效现象,进而导致项目工期出现明显延误。

同时,对比上述不同 ϵ 值下实际总工期 / 计划总工期随 R 值的变化情况,发现 R^* 随着 ϵ 值的增加而不断减小。例如,当 $\epsilon = 0.3$ 时, $R^* = 3.35$; 当 $\epsilon = 0.5$ 时, $R^* = 2.15$; 当 $\epsilon = 0.7$ 时, $R^* = 1.7$; 当 $\epsilon = 0.9$ 时, $R^* = 1.45$ 。该数值仿真结果说明,研发项目组织网络在具有较小耦合度的情况下,对外部扰动的抵抗能力较强,进而项目面对单个组织节点的随机失效也就具有较强的鲁棒性。因此,要想提高研发项目工期面对外部扰动的鲁棒性,管理者应该对组织之间的耦合度进行适当控制:一方面,提高各个组

织节点独立应对和处理外部扰动的能力,将外部扰动对自己的冲击尽量减小到最小值;另一方面,尽管研发项目是在各个参与组织方的密切合作下完成的,但当外部扰动超过关键扰动阈值进而可能引发大规模的组织相继失效现象时,管理者应该有意识地控制组织之间的合作程度,保持组织自身在财务、技术、人员、以及工艺等资源管理上的自主性,尽量将组织自身受周围组织的影响降低到最小。

4.2 组织网络平均度对项目工期的影响

复杂网络的拓扑结构对其上的物理行为具有重要的影响,其中网络平均度就是非常重要的指标^[25]。为了探讨组织网络平均度在组织失效对研发项目工期的影响中所扮演的角色,本文分别以不同平均度的研发项目组织-任务网络为例,对随机袭击某一失效组织节点如何影响项目工期风险进行数值仿真,结果如下图 3 所示。

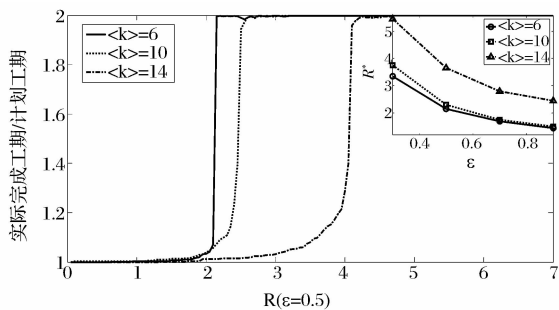


图 3 研发项目工期与组织网络平均度 $\langle k \rangle$ 之间的关系

从上图 3 可以看出,当 $\epsilon = 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ 时, R^* 与组织网络的平均度 $\langle k \rangle$ 均呈现出正相关关系,即组织网络的平均度越大,关键扰动阈值就越大,项目工期面对单个组织的随机失效也就具有越强的鲁棒性。这说明随着无标度网络平均度的减小,组织节点度之间的差异性将越来越大,网络的非均匀性就会越来越显著(可见下图 4),从而施加在组织上的外部扰动就会更加快速地在网络中传播,并进而对所执行的任务工期产生更大影响。说明当组织网络的非均匀性增强时,研发项目面对外部扰动将更加脆弱。

该仿真结果再次验证了相对于不均匀的网络,更为均匀的网络具有更强的抵制相继故障的鲁棒性这个结论^[26]。因此,若要提高研发项目组织-任务网络抵抗外部干扰的能力,可以采取适当措施增加组织网络的平均度:具体就是通过制定有助于参与组织方之间知识溢出和共享的优惠措施,不断降低

组织之间传递知识和信息的成本,从而为组织之间的合作与交流创造更加便利的条件和环境。通过上述措施,研发项目的不同参与组织更加愿意也更加容易与周围的组织建立起合作关系,整个组织网络的平均度随之增加,进而导致研发项目面对外部干扰的鲁棒性也随之提高。

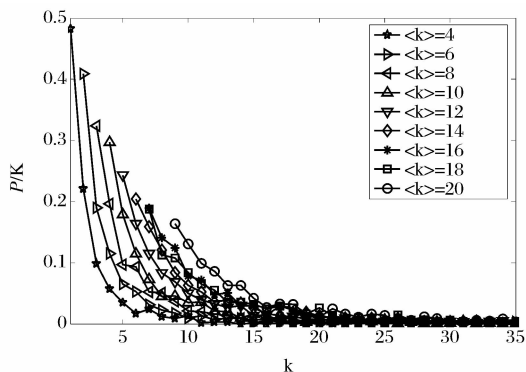


图 4 组织网络度分布与平均度 $\langle k \rangle$ 之间的关系

4.3 不同袭击策略对项目工期的影响

不同的组织节点在执行项目任务时具有的作用不同,其重要性也就各不相同,正确认识和分析组织在执行任务时的重要性对提高组织节点失效情况下研发项目工期风险管理能力以及项目的鲁棒性具有重要意义。在前文的数值仿真中,本文均假设所袭击的失效组织都是随机选取的。而实际上,复杂网络通常面临两大类袭击策略:随机袭击策略和蓄意袭击策略。其中,随机策略就是随机地选取节点进行破坏,而蓄意策略则是指选择性地选取节点进行破坏。接下来,本文将以组织节点数 $N=1000$ 、 $\langle k \rangle = 6$ 、任务数 $M=200$ 、 $d=5$ 、 $\bar{\omega}=1$ 时的研发项目组织-任务网络为例,对比分析当 $\epsilon = 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ 时,随机袭击策略、度小袭击策略(袭击网络中度最小的节点)和度大袭击策略(袭击网络中度最大的节点)这三种策略对研发项目工期风险的影响,结果如下图 5 所示。

从上图 5 可以看出,不管 ϵ 取何值,袭击度最大的组织节点所对应的关键扰动阈值最小,接下来依次是随机袭击策略和度小袭击策略。例如当 $\epsilon = 0.5$ 时,袭击度大组织节点时所对应的关键扰动阈值 $R^* = 1.45$,袭击随机组织节点时的 $R^* = 2.15$,袭击度小组织节点时的 $R^* = 3$ 。该数值仿真结果说明了度大袭击相比于随机袭击和度小袭击两种策略,更易于导致研发项目工期风险的发生。这是因为研

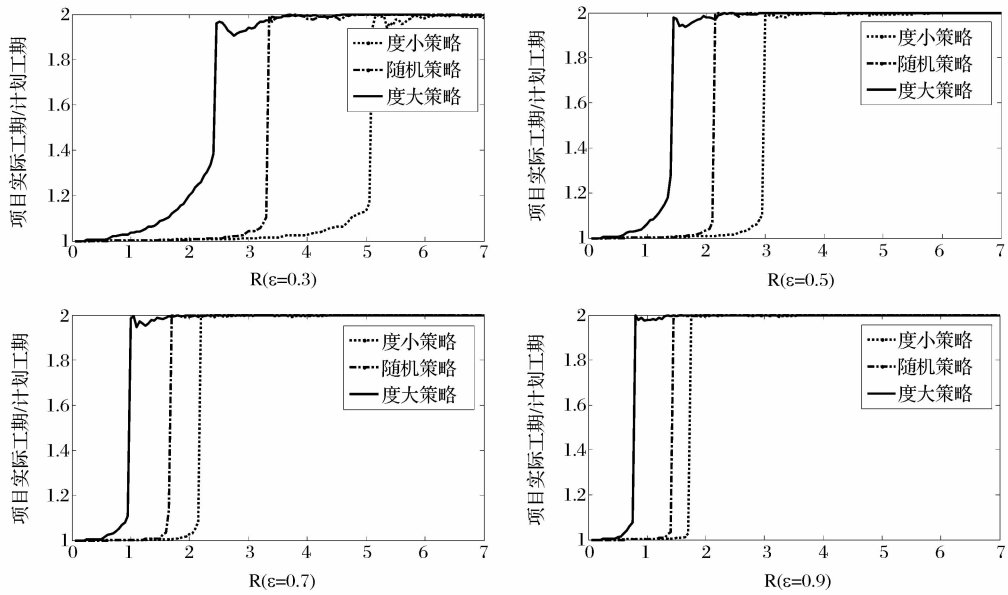


图 5 不同袭击策略对研发项目工期的影响

发项目的组织网络具有无标度网络特性,即大部分组织节点的度很小,而且基本都和少数几个度非常大的中心节点相连接,从而使得施加在中心组织节点上的扰动能够最大范围地在整个组织网络中进行扩散进而导致组织节点大规模失效,最终影响项目工期延误的程度明显大于其他两种袭击策略。

同时,对比图 5 的四个子图发现,随着参数 ϵ 值的减小,这三种袭击策略所对应的关键扰动阈值之间的差异越来越大。这说明随着组织之间的耦合度越来越小,袭击度大组织节点对项目任务工期的影响将越来越显著,而随着耦合强度的逐渐增加,这三种袭击策略对项目工期影响程度之间的差异将越来越小。因此,当组织之间合作关系程度较弱时,鉴于袭击节点度大的组织更易于导致研发项目工期风险的发生,管理者应该对那些连接关系较多的中心组织予以重点监控和管理,提高他们应对外部干扰的能力,确保其功能的正常有序进行,防止其失效可能给整个研发项目的工期造成严重影响。而当组织之间合作关系程度较为密切时,鉴于三种袭击策略对项目工期的影响差异度逐渐减小,此时管理者不得不扩大管理和监控的范围和力度,除了重点提高节点度大组织的抗干扰能力之外,还应该投入相应资源有意识地关注周围其他组织的运行状态,提高他们应对外部干扰的能力。

5 结语

本文将研发项目涉及的组织和任务这两个要素

联系起来,从整体上建立了研发项目的组织-任务网络模型。在此基础上,通过借鉴相继故障理论中的耦合映象格子,以组织失效作为项目工期风险因素,构建了研发项目工期风险分析模型,并运用数值仿真探讨了在组织节点出现失效的情况下不同因素对项目工期的影响关系。研究发现:(1)研发项目的完成工期只有当施加给失效组织节点的外部扰动超过某一阈值即所谓的关键扰动阈值 R^* 时才会出现明显的延误。即当 $R < R^*$ 时,除失效节点外几乎没有其他节点发生故障;而当 $R \geq R^*$ 时,失效组织节点规模将急速增加。同时 R^* 随着组织节点间耦合强度 ϵ 的增加而减小,说明要想提高研发项目工期面对外部扰动的鲁棒性,可以适当减小组织节点之间的耦合度,使自身状态尽量少受其他组织状态的影响;(2)关键扰动阈值 R^* 随着组织网络平均度的增加而不断增加,而无标度网络平均度的增加意味着网络的均匀性愈加凸显,这再次验证了相对于不均匀网络,均匀网络具有更强的抵制相继故障的鲁棒性这个结论。说明要想提高研发项目工期抵抗外部干扰的鲁棒性,可以采取适当措施即促使参与单位之间建立起更为广泛的合作关系;(3)不管 ϵ 取何值,度大袭击策略更易于导致项目工期风险的发生,接下来依次是随机袭击和度小袭击策略。而且在这三种袭击策略下,研发项目工期面对外部扰动的鲁棒性之间的差异随着组织之间耦合强度的减小而更加显著。说明当组织间耦合程度较弱时,应对那些连接关系较多的组织予以重点监控和管理,确保其

正常有序进行。

本文将组织失效作为研发项目工期风险的影响因素进行研究,这为项目工期风险管理过程中涉及的组织网络结构设计以及工期风险控制提供了新的视角。后续研究中,将组织节点相继失效的发生时间推广到项目运行的任何时刻从而完善研发项目工期风险分析模型以及将该模型运用到实际研发项目将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 李占强,李广. 开放式 R&D、R&D 网络与 R&D 能力的互动演进——跨案例的纵向比较研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(6): 31—43.
- [2] 高峰. 基于过程集成的研发项目进度风险分析方法与应用[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [3] 李建平,王书平,宋娟. 现代项目进度管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] Liu Y, Wang Z F. Analysis of project schedule risk indexes in PERT network using Monte Carlo simulation [J]. Advanced Materials Research, 2013, 760: 2205—2211.
- [5] Zhang Ailing, Geng Tingting. Study on the schedule management methods of projects based on critical chain technology[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 488: 1454—1457.
- [6] Wang J. A fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 127(2): 99—116.
- [7] 朱宗乾,师红昆,张永辉. 基于影响图理论的 ERP 项目实施风险评价模型研究[J]. 管理评论, 2010, 22(12): 45—52.
- [8] Luu V T, Kim S Y, Tuan N V, et al. Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks[J]. International Journal of Project Management, 2009, 27(1): 39—50.
- [9] Yang Qing, Zhang Xiaofeng, Yao Tao. An overlapping-based process model for managing schedule and cost risk in product development [J]. Concurrent Engineering, 2012, 20(1): 3—17.
- [10] Sambasivan M, Soon Y W. Causes and effects of delays in Malaysian construction industry [J]. International Journal of Project Management, 2007, 25(5): 517—526.
- [11] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks [J]. Nature, 1998, 393(6684): 440—442.
- [12] Albert R, Jeong H, Barabási A L. The diameter of the world-wide web[J]. Nature, 1999, 401(6749): 130—131.
- [13] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509—512.
- [14] Zhang Yanlu, Yang Naiding. Development of a mitigation strategy against the cascading propagation of risk in R&D network[J]. Safety Science, 2014, 68: 161—168.
- [15] Yanlu Zhang, Naiding Yang. Research on robustness of R&D network under cascading propagation of risk with gray attack information[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2013, 117: 1—8.
- [16] Hanaki N, Nakajima R, Ogura Y. The dynamics of R&D network in the IT industry[J]. Research Policy, 2010, 39(3): 386—399.
- [17] Clodt M, Hagedoorn J, Roijackers N. Inter-firm R&D networks in the global software industry: An overview of major trends and patterns[J]. Business History, 2010, 52(1): 120—149.
- [18] Barber M J, Krueger A, Krueger T, et al. Network of European Union-funded collaborative research and development projects[J]. Physical Review E, 2006, 73(3): 1—13.
- [19] 王珊珊,田金信,唐宇. 基于 R&D 联盟发展演化特点的管理体系优化研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2010, 31(3): 56—60.
- [20] Smith R P, Eppinger S D. Identifying controlling features of engineering design iteration[J]. Management Science, 1997, 43(3): 276—293.
- [21] Smith R P, Eppinger S D. A predictive model of sequential iteration in engineering design[J]. Management Science, 1997, 43(8): 1104—1120.
- [22] Smith R P, Eppinger S D. Deciding between sequential and parallel tasks in engineering design[J]. Concurrent Engineering, 1998, 6(1): 15—25.
- [24] Huang Dong, Pan Ying, Liang Jingzhang. Cascading failures in bipartite coupled map lattices[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 198: 1810—1814.
- [24] 陈会云. 基于小世界网络的耦合映象格子的动力学研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [25] 王建伟,荣莉莉,王铎. 基于节点局域特征的复杂网络上相继故障模型[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 42—80.
- [26] Xia Yongxiang, Fan Jin, Hill D. Cascading failure in Watts-Strogatz small-world networks [J]. Physica A, 2010, 389(6): 1281—1285.

Analysis of R&D Project Schedule Risk Based on the Organization-task Network: With the Organization Failure as a Risk Factor

ZHANG Yan-lu, YANG Nai-ding

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

Abstract: In modern society, facing the complexity of technology, scarcity of resources and dynamic of market demand, it has become an effective mode for R&D project to form a network composed of many organizations. However, duration delay has been a common phenomenon in R&D project due to the great amount of sub-organizations and sub-tasks, high complexity of technology and uncertainty of external environment. Research studies also show that schedule problem has been one major cause of many risk events, and become a big challenge faced by managers. Therefore, it has become essential to analyze the schedule risk of R&D project under the context of networking R&D.

According to literature review, many studies focus on analyzing the project schedule risk from the view of uncertain task by adopting Gantt Chart, Work Breakdown Structure, Critical Path Method, Program Evaluation and Review Technology, Graphical Evaluation and Review Technology, etc. However, few studies focus on the schedule risk from the organization failure that implements the project task. In fact, project organization is an important factor of schedule risk by allocating materials, human and budget that are necessary for project tasks. In this sense, the failure of a few organizations in R&D project will cause many neighboring organizations to fail, and then influences the durations of some tasks that are implemented by those organizations. Therefore, this paper adopts the coupled map lattice model to describe how the failure of some organization influences the duration of R&D project, which can provide a new insight into managing the schedule risk of R&D project under the context of networking.

Firstly, this paper establishes the organization-task network model of R&D project, where organization network has the characteristics of scale-free network based on referring to the conclusions from many scholars, and task network includes three modes of sequence relationships of tasks, finally the execution relationships from organizations to tasks is established based on the organization network and task network.

Secondly, based on the established organization-task network, this paper proposes the risk analysis model of R&D project with the organization failure as the factor of R&D project schedule risk. In this model, this paper adopts the coupled map lattice model of cascading failure theory to describe the cascading failure process of organizations in R&D projects, which is shown as below:

$$s_i(t + 1) = \left| (1 - \epsilon)f(s_i(t)) + \epsilon \sum_{j=1, j \neq i}^N b_{ij}(t)f(s_j(t))/k_i(t) \right| \tag{1}$$

Where $s_i(t)$ means the state of organization i at time t , $b_{ij}(t)$ means the state whether organization i is linked to j or not at time t , $k_i(t)$ means the node degree of organization i at time t , tunable parameter $\epsilon \in (0, 1)$ means the coupling degree between organizations. At time m , an external disturbance R is imposed on organization c and then causes this organization to fail. Then, all the other organizations' states will be calculated again according to the equation (1). In this way, the cascading failure process of nodes spreads in the organization networks.

Thirdly, this paper proposes the influencing mechanism of how the actual duration of task i is affected by the failure of organizations that implement this task. More specifically, this paper proposes that the actual duration t_i' of task i is affected by three elements, which are the planned duration t_i of task i , the proportion of failed organizations against all organizations, the influencing degree of organization failure on the

actual duration. Therefore, the actual duration of task i is calculated according to the following equation:

$$t'_i = (1 + \bar{\omega} \cdot \frac{\sum_{l \in \Psi_i} h_{il}}{\sum_{j=1}^N h_{ij}}) \cdot t_i \quad (2)$$

Where Ψ_i means the set of failed organizations that implement task i , $\bar{\omega}$ means the influencing degree of organization failure on the actual duration.

Finally, this paper explores how the organization failure influences the schedule risk of R&D project through numerical simulation under different elements, which are tunable parameter R and ϵ , average degree of network $\langle k \rangle$, attack strategy. The results show that the external disturbance R that is imposed on one organization node can eventually cause the duration delay of R&D project badly only when it reaches a certain threshold, i. e. critical disturbance threshold; This threshold has the negative correlation with the degree of coupling among the organizations, and has the positive correlation with the average degree of organization network; highest-degree attack can more easily lead to the occurrence of schedule risk than random attack and lowest-degree attack, and the gap between their consequences is becoming much larger with the coupling degree among the organizations being smaller.

Takes the organization failure is taken as the element of schedule risk of R&D project, and analyzes how the organization failure influences the schedule risk of R&D project through numerical simulation is analyzed. The research work of this paper will provide a new view for R&D project schedule risk management under the context of networking.

Key words: R&D project; schedule risk; organization failure; organization-task network; coupled map lattice; numerical simulation