

重大工程管理决策复杂性及复杂性降解原理^①

麦强¹, 盛昭瀚², 安实¹, 高星林³

(1. 哈尔滨工业大学经济与管理学院, 哈尔滨 150001; 2. 南京大学工程管理学院, 南京 210093;
3. 港珠澳大桥管理局, 珠海 519015)

摘要: 重大工程管理系统是一类典型的复杂系统。如何认识该系统的复杂性特征并应对复杂性带来的挑战一直是重大工程管理领域的研究热点。以重大工程管理决策过程为例, 构建了一个决策概念模型, 描述了决策关联性、认知模糊性和偏差性、知识有限性等复杂性因素对重大工程管理决策过程的影响。进而在决策关联性和信息不完备性的复杂性框架下, 将重大工程管理决策的复杂性划分为“混沌”、“冲突”、“关联”和“混杂”四种类型。根据该复杂性特征分类, 提出了包括“复杂性探索”、“复杂性吸收”、“复杂性分解”和“复杂性承担”四个基本逻辑策略的重大工程管理决策“复杂性降解”原理, 揭示了重大工程管理决策实践的复杂自组织规律, 说明了重大工程管理决策复杂性的内生性及动态演化特征。最后, 应用“港珠澳”大桥桥面铺装工程的管理决策实践论证了“复杂性降解”原理, 并讨论了该原理对重大工程管理带来的启示。

关键词: 重大工程; 管理决策; 复杂性降解; 复杂自组织; 动态演化

中图分类号: N94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2019)08-0017-16

0 引言

重大工程管理系统是一类典型的具有复杂性特征的系统, 这已经成为理论界和工程界的共识^[1]。理论界试图基于复杂性提出新的重大工程管理理论, 解释重大工程管理中出现的特殊问题^[2, 3]。在传统工程管理方法失效的情况下, 工程界也期望能够有切实可行的方法解决管理实践中面临的复杂性问题^[4]。在这种理论和实践需求的共同推动下, 重大工程管理复杂性的研究方兴未艾。

1 文献评述

在过去的二十多年中, 有关复杂性的研究一

直是理论界的热点之一。这类研究一般认为复杂系统由众多存在非线性动态相关性的元素组成, 具有开放性、远离平衡态、自组织等特征, 是系统宏观层面的一种涌现现象^[5]。经过多年的发展, 有关复杂性的定义有30多种, 直到现在也没有形成统一的观点, 不同的学派、不同学术背景的学者、不同的学术领域对复杂性的理解完全不同^[6]。在管理学的有关研究中, 尽管从自然科学吸取了很多复杂性的概念和认识, 但一般认为这类系统的复杂性存在两类基本特征: 一类是关联复杂性, 认为系统组成要素之间的相互关联是复杂性的重要原因^[7]。另一类是信息不完备性, 包括知识方法的有限性及对系统演化发展结果的认知有限性^[8]。前者描述了管理过程的客观复杂性, 而后者描述了人类的主观复杂性。

^① 收稿日期: 2017-05-31; 修订日期: 2018-09-18。

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(71390522; 71390521); 国家自然科学基金资助项目(71571057)。

作者简介: 麦强(1977—), 男, 甘肃人, 博士, 副教授。Email: maiqiang@hit.edu.cn

在重大工程管理复杂性的研究中,对于复杂性的认识也没有形成统一意见^[9]. 一些学者认为,重大工程管理的复杂性就是不确定性,其特征在于无法理解、预测和控制^[10]. 一些学者将重大工程管理的复杂性与不确定性区分开来,认为复杂性在于工程要素的关联性^[11,12]. 还有一些研究从文化、环境等宏观因素层面论述重大工程管理的复杂性^[13,14]. 根据复杂性研究中对复杂性的认识,认为无论关联性还是不确定性均不能完整地描述有人参与的重大工程的复杂性,而文化等宏观要素也仅是复杂性的外在表现. 因此将综合决策关联性及信息不完备性两种复杂性描述重大工程管理的复杂性特征.

在重大工程复杂性应对策略的研究中,基本上可以分为两种研究类型. 一类研究仍然在传统的项目管理框架内开展^[15,16]. 这类研究通常从工程的不确定性出发提出相应策略,例如增加经费和时间余量、制定应急计划、引入风险管理^[17]等. 一些研究借鉴了企业管理的研究成果,认为工程管理需要增加组织柔性,进行技术投资等^[18]. 第二类研究关注于工程的关联复杂性,提出了诸如层级制组织结构、复杂性分解、适应性搜索、技术选择和学习等措施和方法^[19-21]. 这些研究仅仅关注了重大工程管理复杂性特征的某一个方面,所提出的措施和方案也呈现出碎片化特征^[22]. 并且这类研究将复杂性看成是一种外生的问题,没有认识到工程本身是一种人造活动,复杂性具有内生性.

与应用“还原论”的方法论将复杂性进行分解的思路不同,一些学者还提出了系统工程、“综合集成”等方法^[23-26]. 这些方法强调“整体论”,试图通过不同专业、不同方法的综合来解决重大工程的复杂性问题. 认为,无论是“还原论”还是“整体论”在重大工程管理过程中均是解决复杂性的重要方法. 但这些方法并没有纳入到重大工程复杂性的演化过程中,仅仅在复杂性演化的某些阶段或某些时段具有效果. Sheng 提出了“复杂性降解”的概念,认为可以应用该原理从工程虚体的视角降低重大工程实体的复杂性^[27]. 该原理为解决重大工程复杂性问题提出了新的思路,但其原理建立在复杂性已经形成的基础上,并且理论基础、逻辑过程及管理策略还需要进一步深

入和细化.

因此,重大工程管理复杂性的认识还缺少一个概括性的、统一的框架,也缺少一个系统性的、一般性的复杂性应对方法. 本研究将以决策过程为例,说明重大工程管理决策复杂性的各种特征,并据此构建一个二维的复杂性认知框架,对重大工程管理决策复杂性特征进行分类. 在该框架内,将提出重大工程管理决策“复杂性降解”原理,并应用港珠澳大桥桥面铺装工程的管理决策过程说明该原理. 最后将提出该原理对重大工程管理的启示.

2 重大工程管理决策复杂性

重大工程管理系统复杂性要素众多,表现形式多种多样,涉及到工程管理的各个方面,因此其描述也是一项复杂的工作. 为更好地说明管理系统的复杂性,本节以工程决策这一最为典型的管理过程为例,说明复杂性对重大工程管理过程的影响.

工程是人通过一系列的行为决策建造一个有价值的物质实体的动态过程. 该过程中的决策主要分为两类:技术决策和管理决策^[28]. 前者是工程建造知识、工艺的载体,反映在工程实体价值的实现上,如水坝蓄水量、发电量,火箭载重量等;后者是工程技术行为的规划与组织,反映在工程实体价值的实现效率上,如工程计划的 PERT 网络,经费的挣值管理等.

设在某一时刻,技术决策用 $a'_i \in A' = (a'_1, a'_2, \dots, a'_M) \in \mathfrak{S}$ 表示,管理决策用 $b'_j \in B' = (b'_1, b'_2, \dots, b'_N) \in \mathfrak{R}$ 表示. 工程绩效与工程的这两类决策相关,工程绩效函数可以表示为

$$\Pi' = P(A' B') \tag{1}$$

其中 $\Pi' \in \mathfrak{N}$. 当工程技术人员和管理人员清晰掌握技术和管理决策信息时(即 A', B' 信息完备),并且对采取相应决策后的技术及管理状态的演化过程有明确预期的情况下,就可以对当期技术和管理行为制定最优决策,最大化项目的整体绩效

$$\begin{aligned} (A' B')^* &= \arg \max \Pi' \\ &= \arg \max [P(A' B' A'^{-1} B'^{-1})] \end{aligned} \tag{2}$$

例如,当知道前期某项技术的状态 A^{t-1} 和时间、经费的状态 B^{t-1} ,也知道在时间和经费 B^t 的投入下新的技术水平 A^t 会演化到哪种程度,则可以通过决策树及 PERT 网络等方法确定最优决策 $(A^t, B^t)^*$ 。

但对于重大工程,上述最优决策很难实现,其主要原因在于重大工程管理决策的复杂性。该复杂性主要体现在以下三个方面。

1) 决策相关性

首先是所有决策之间的相关性。无论在技术决策和管理决策内部,还是在这两种决策之间,均存在着密切的相关性。例如,如果某一分系统的技术决策发生改变,会影响与之相关的其它分系统的技术决策,而且也会影响进度、经费等管理决策;同样,如果工程经费发生改变,技术决策也需要调整^[29]。为表示技术决策和管理决策之间的相关性,引入两个函数 $A^t = Q(A^{t-1}, B^t)$ 和 $B^t = G(A^t, B^{t-1})$,表示当期技术和管理同时受到前期技术及管理决策的影响。根据以上假设,工程绩效函数及决策可以表示为

$$\Pi^t = P(Q(A^{t-1}, B^t), G(A^t, B^{t-1})) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} (A^t, B^t)^* &= \arg \max \Pi^t \\ &= \arg \max [P(Q(A^{t-1}, B^t), G(A^t, B^{t-1}))] \end{aligned} \quad (4)$$

这种复杂性带来的问题在于随着相关性的增加,传统优化方法往往会陷入局部的最优解,很难找到全局最优解^[30]。

2) 认知模糊性和偏差性

第二是对函数 P , 函数 Q 和函数 G 在认识上存在模糊性和偏差性^[31]。这种复杂性观点认为复杂性不仅仅体现在关联性这种客观复杂性上,而且还体现在“认知”复杂性上,是一种“主观”复杂性^[32]。其主要原因是工程众多主体在认知能力和认知偏好上是不同的,对于一些行为所产生的效果没有清晰或者一致性的认识。例如,不同技术部门由于创新文化不同,对同一技术的认识是不同的;技术部门在 $A^t = Q(A^{t-1}, B^t)$ 中会弱化 B^t 对 A^t 的影响,同样管理部门在 $B^t = G(A^t, B^{t-1})$ 中会弱化 A^t 对 B^t 的影响;工程设计单位、建造单位、政府主管部门及社会公众对 P 的认识和理解也存在差异。因此,无论是技术还是管理,乃至整个工程绩效,均存在认识上的模糊性和偏差性。

这时实际工程绩效函数及工程决策是

$$\tilde{\Pi}^t = \tilde{P}(\tilde{Q}(A^{t-1}, B^t), \tilde{G}(A^t, B^{t-1})) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (A^t, B^t)^* &= \arg \max \Pi^t \\ &= \arg \max [\tilde{P}(\tilde{Q}(A^{t-1}, B^t), \tilde{G}(A^t, B^{t-1}))] \end{aligned} \quad (6)$$

其带来的问题在于不清楚工程相关主体的利益偏好,容易诱发机会主义行为^[33],从而影响工程的决策选择及最终绩效。

3) 知识有限性

第三是技术、管理及绩效空间 \mathfrak{S} 、 \mathfrak{R} 和 \mathfrak{N} 的有限性。这种复杂性与知识的有限性有关^[34]。在工程上,这种有限性主要是指工程相关主体在知识、工艺、技能及工具等方面的有限性。也就是说实践中 A^t 所在的空间 \mathfrak{S} 和 B^t 所在的空间 \mathfrak{R} 仅仅是所有可能性空间的一部分,造成工程绩效空间 \mathfrak{N} 也是所有可能性绩效空间的一部分。例如,某工程采用了一种较为成熟的技术 a_i ,但在工程建成后却又发现有一种新的技术 a_j 能够使工程达到更高的技术指标,并且更为节省经费,这也意味着绩效的可能性空间应该更大。因此,在认知存在不完备性的情况下,工程行为及绩效的选择空间仅是所有可能性空间的一部分,即 $\tilde{A}^t \in \tilde{\mathfrak{S}} \in \mathfrak{S}$, $\tilde{B}^t \in \tilde{\mathfrak{R}} \in \mathfrak{R}$, $\tilde{\Pi}^t \in \tilde{\mathfrak{N}} \in \mathfrak{N}$ 。这时的工程绩效函数及工程决策可以表示为

$$\tilde{\Pi}^t = \tilde{P}(\tilde{Q}(\tilde{A}^{t-1}, \tilde{B}^t), \tilde{G}(\tilde{A}^t, \tilde{B}^{t-1})) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (A^t, B^t)^* &= \arg \max \Pi^t \\ &= \arg \max [\tilde{P}(\tilde{Q}(\tilde{A}^{t-1}, \tilde{B}^t), \tilde{G}(\tilde{A}^t, \tilde{B}^{t-1}))] \end{aligned} \quad (8)$$

这种复杂性产生于工程系统的开放性,技术、管理方法的发展及外部政治、经济因素的变化均会影响工程的策略选择及最终绩效,使工程存在大量“未知的未知”(unknown-unknown)现象^[35],对工程管理带来巨大的挑战。

针对这种重大工程管理决策过程的复杂性,需要从复杂性视角更为系统和宏观地总结重大工程管理实践的规律,提出一种更具一般性的解决方案。

3 重大工程管理决策复杂性分类

在以上的重大工程决策概念模型中,决策关

关联性、认知偏差性和模糊性、可选择空间的有限性都会影响技术和管理决策 因此重大工程管理决策依赖于对复杂性的正确判断. 将重大工程管理决策复杂性区分为不同的类型将有助于实现该目标.

根据上一节提出的八个决策概念模型,可知重大工程管理决策面临着四种不同的复杂性类型. 模型(1)和模型(2)描述了一种复杂程度最低的决策类型,其中的决策关联性不高,并且是对已知行为的优化决策. 模型(3)和模型(4)描述了一种以关联复杂性为主要特征的决策问题,其中决策行为及其效果是已知的,但各类决策高度相关. 模型(5)和模型(6)描述了一种关联性较高同时缺少绩效及偏好信息的复杂性情况,其中关联性较强的不同组织之间由于认知不同会产生较为激烈的冲突. 模型(7)和模型(8)描述了一种以未知性为主要特征的复杂性情况,其中已知的决策行为信息很少,这也意味着工程参与主体较少,工程要素的关联性也较低.

由于认知的偏差性、模糊性和决策知识的有限性均与信息相关,因此将这两种复杂性统一为信息不完备性. 这样,上述的四种复杂性情景就可以从决策关联性和信息不完备性两个维度进行

描述. 其中,每个维度可以大致分为高、低两个区域,这样就在一个平面图上得到了如下图所示的四种复杂性类型

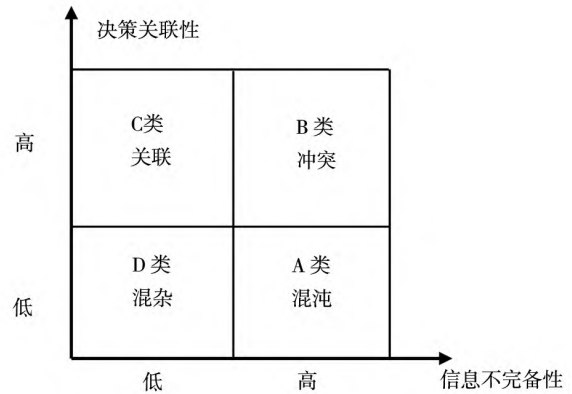


图1 重大工程管理决策复杂性分类

Fig. 1 Complexity classification of megaproject management decisions

对于图1中的D类复杂性,尽管认为其决策关联性及信息不完备性均较低,但对于重大工程管理决策来说,不可能实现关联性的完全分解及信息的全部掌握^[24]. 因此更为合理及现实的情况是简单性与复杂性的共存状态,因此该阶段的复杂性特征表现为一种“混杂”的特征.

下表1总结了上述各种复杂性类型的特征.

表1 重大工程复杂性分类及各类特征

Table 1 Complexity classification of megaproject and the characters of each class

		混沌(A类)	冲突(B类)	关联(C类)	混杂(D类)
属性	信息不完备性	高	高	低	低
	决策关联性	低	高	高	低
对应公式		(7-8)	(5-6)	(3-4)	(1-2)
特征		工程处于初始的无序状态,工程参与主体不确定,并且规模较少,对自身的需求也不清晰;无论是技术还是管理,可供选择的范围较小	工程处于“远离平衡态”,工程参与主体不断涌现,自身需求在相互间激烈的博弈过程中不断更改;出现大量的技术方案和管理措施,之间可能是互补的,也可能是竞争的,也可能没有关系	工程处于“竞争”状态中,工程参与主体已经明确,其利益需求及偏好也已经知道;已确定好需要的技术方案和管理措施.参与主体关联性强,竞争性的搜索各类决策空间寻求最优决策组合	工程处于概率性相对确定状态中,工程主体间的相关性显著降低,并且能够对技术方案及管理措施的未来影响进行概率性预测,但仍然存在着一一定的关联和未知信息,简单与复杂混杂在一起

4 复杂性降解原理

从以上分类可以看出,重大工程管理决策复杂性既不是一种杂乱无章没有规律的复杂性,也

不是一种单一的复杂性,而是一种有规律的、多样化的复杂性. 不同类型的复杂性具有不同的内涵,所面临的问题也是不同的. 因此,重大工程管理决策复杂性问题的解决不能仅仅依靠一种单一的策略或方法,而是要遵循人类应对复杂性问题

的规律. 只有提炼出重大工程管理决策实践中处理复杂性的基本原理, 才能具有针对性的选择具体的管理措施.

基于复杂自适应系统理论和社会系统理论, 结合不同的复杂性状态特征, 提出重大工程管理决策过程伴随着复杂性状态的动态演化过程. 首先, 重大工程的决策过程遵循适应性造就复杂性的复杂自适应系统理论. 根据该理论, 一个系统的演化过程是一个适应环境的过程, 在该过程中其复杂性不断演化^[5]. 因此, 重大工程的决策过程是工程管理者适应系统环境的过程, 针对不同的系统环境问题, 工程管理者的适应性行为会使系统复杂性状态发生改变^[36]. 第二, 重大工程复杂性状态的演化路径遵循社会系统理论. 根据该理论, 一个人工系统的复杂性存在先增长后降低的规律^[37]. 其中, 为获得更多的可能性方案, 复杂性首先是增长的; 之后, 为使方案可执行, 需要降低系统的复杂性. 作为一种典型的人工系统, 重大工程复杂性状态的演化也应当遵循这种先增长后降低的规律. 第三, 重大工程的决策过程对应着复杂性状态转移的逻辑过程. 从上一节可知, 重大工程决策过程中的复杂性经历了从无到有、从模糊到清晰、从错综交织到结构明确、从整体分解到部分剩余的过程. 因此, 从复杂性视角来看, 重大工程决策遵循了复杂性“产生-加强-减弱-剩余”的基本逻辑过程. 根据以上理论演绎及逻辑分析, 认为重大工程决策过程是一个复杂性状态演化过程, 工程管理主体会遵循系统复杂性先增长后降低的规律, 按照复杂性“产生-加强-减弱-剩余”的逻辑过程, 采取不同的策略措施, 促使系统复杂性状态发生有规律的变化, 以适应工程目标要求及其所处的政治、经济及技术环境.

根据以上理论演绎, 基于重大工程管理决策实践, 在上一节提出的重大工程管理决策复杂性认知框架中, 提出了重大工程管理决策“复杂性降解”原理. 该原理认为: 重大工程管理实践是一个复杂自组织过程, 通过“复杂性探索”、“复杂性吸收”、“复杂性分解”和“复杂性承担”四个基本逻辑策略, 促使复杂性内生动态演化, 并且遵循信息不完备性从“熵增”到“降低”、决策关联性从“叠加”到“分解”的基本规律.

其中, 复杂自组织过程是指工程主体为实现工程整体目标及自身利益, 通过主动的竞争、合作等交互作用, 不断修正信息不完备性、改变决策关联性, 促使工程管理系统组成、结构与关系逐步发展、变化到稳定的过程. 在实践中, 这种自组织过程是指工程主体为实现工程技术指标、经费、进度等工程整体目标及利润、名誉等个体目标, 通过投融资、招投标等主动的竞争、合作等交互行为, 不断学习技术、工艺和管理知识, 形成组织、奖惩等管理措施, 由不知道由谁做什么到每个工程主体或个人都有明确的工作任务和职责的过程.

复杂性的内生性是指在以上的自组织过程中, 工程主体的交互作用会在工程系统内部产生决策关联性和信息不完备性. 例如, 工程主体制定的目标与其能力的差距产生了信息不完备性, 工程主体之间的合作与竞争产生了决策关联性. 在该过程中, 信息不完备性(可以理解为表示不确定性的“熵”)会随着目标的出现而产生, 进而在“复杂性探索”过程中随着主体的冲突而增加, 最后通过“复杂性吸收”过程中的信息暴露而降低; 而决策关联性也会在“复杂性探索”过程中伴随着新复杂性的出现而产生, 进而在“复杂性探索”和“复杂性吸收”过程中随着主体的增加及冲突的加剧而不断叠加, 最后又会通过“复杂性分解”减少决策关联度. 将这种信息不完备性从“熵增”到“降低”、决策关联性从“叠加”到“分解”的复杂自组织规律简称为“复杂性降解”原理.

图 2 描述了在复杂性分类框架中的重大工程管理决策“复杂性降解”原理.

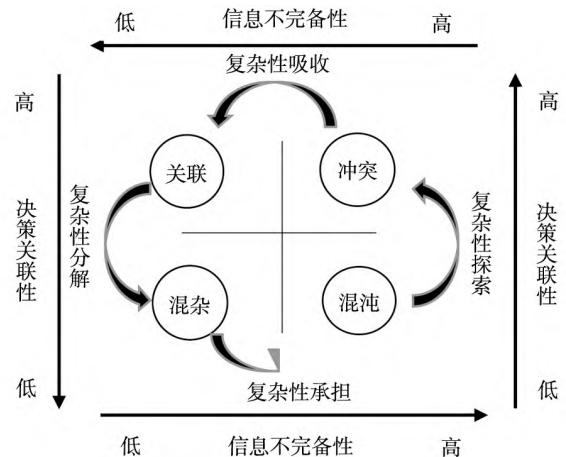


图 2 “复杂性降解”原理

Fig. 2 Complexity degradation theory

4.1 复杂性探索

重大工程管理决策“复杂性降解”过程中,首先面临的复杂性是“混沌复杂性”(A类)——工程主体数量少、关联性低、信息不完备性高。在实践中,这种复杂性体现为已知的有限性,即工程利益相关者及其行为可选择项较少,并且对需求的认知及偏好也不清晰。在这一区域,重大工程存在大量“未知的未知”(unknown-unknown)事件。由于之前没有或缺少成功的案例,工程中的初期参与主体也没有相关的知识和经验,因此这类事件无法用概率论方法表示。

当重大工程面临着这类复杂性问题时,需要采用“复杂性探索”策略将重大工程管理决策复杂性转变为“冲突复杂性”(B类)。因A类复杂性的主要问题是知识的有限性,因此必须采取扩展知识的方法。而知识蕴藏或嵌入在主体的相互关系中,通过扩展主体及主体间关系来扩展知识就成为一种重要的措施。该策略的目的是扩大参与主体及其可选择行为的空间,并为主体目标、偏好及行为的暴露创造条件,其实质是增加关联复杂性以解决未知复杂性。这时的初始主体要主动与其它潜在的工程主体进行互动,创建关联性并拓展工程系统范围。这种扩展可以在原有的主体内部通过新组织的设立实现——例如同时成立多个研发部门同时进行多个不同基础技术的研发,也可以通过外部主体的关联实现——例如建立联盟、公众参与^[38,39]等。该过程是在一个未知的领域中进行探索,因此称之为“复杂性探索”。

设该策略集合为 E , 则该策略的目的是要实现以下目标

$$E: (\tilde{S}, \tilde{R}, \tilde{N}) \rightarrow (S, R, N) \quad (9)$$

该过程容易出现的问题是,在可选择项较少及需求认知不清晰的情况下急切做出决策,即由混沌复杂性(A类)直接进入混杂性(D类)。如果采取这种策略,重大工程势必将存在很多风险,“黑天鹅”事件发生的可能性会较高^[40]。

4.2 复杂性吸收

经过“复杂性探索”,重大工程管理决策复杂性会演化为“冲突复杂性”(B类)——体现为决策关联性及目标、偏好的未知性,即工程中存在大

量相互关联的利益主体,但这些主体的关联关系未知,需求和偏好还不清晰,彼此间存在激烈的冲突。认为这时的首要问题是认知的模糊性和偏差性问题,主要表现为:工程系统存在多种演化趋势,并且演化状态无法用已知的高斯概率等方法描述;每个工程主体对其它主体的行为、偏好及目标也不充分了解。

当重大工程面临着这样的复杂性问题时,认为需要采用“复杂性吸收”策略将“冲突复杂性”(B类)转变为“关联复杂性”(C类)。该策略的目的是对系统未来演化结果进行多视角的预测,充分暴露所有工程主体的目标及其偏好。其实质是在保留关联复杂性的同时,消除认知复杂性。为解决这种认知复杂性,需要提高整个工程的认知能力和水平,同时要建立一个能够产生信息并交流信息的环境。前者既可以采用“情景耕耘”等技术措施通过计算机的强大功能预测重大工程未来的演化结果获取信息,也可以提高工程参与主体的学习能力减少认知上的偏差^[41,42]。后者在技术上需要建立一个数据充分共享的数据平台,避免信息孤岛问题,在管理上需要创造一个扁平化的组织结构,建立有效的激励机制,鼓励所有参与主体的竞争及合作,避免出现信息不对称引起的道德风险等问题^[43-45]。该过程是主体的自我认知及系统当前和未来状态的发现过程,参与主体的目标、偏好及未来的可能状态从迷雾中逐渐清晰,因此称之为“复杂性吸收”。

设该策略集合为 K , 该策略的目的是要实现以下目标

$$K: (\hat{P}, \hat{Q}, \hat{G}) \rightarrow (P, Q, G) \quad (10)$$

该区域容易出现的问题是,在未来情景、主体目标和偏好均不清晰的情况下,直接减少系统的关联性,即从B类跳过C类直接向D类转移。这样做不仅会使系统回到A类的未知性问题,使策略E的投入变成沉没成本,而且在主体目标、偏好不明确的情况下,无法进行有效的复杂性分解,直接进行优化会产生更多的冲突。

4.3 复杂性分解

当所有参与主体的偏好及目标等信息充分暴露后,重大工程管理系统的复杂性演化到关联复

杂性阶段. 这类复杂性特征体现为主体之间密切的关联性, 即如果某一主体改变其决策, 相关主体也会改变自身的决策. 由于主体间的密切关联性, 这种改变会持续进行, 直到所有主体不再期望通过改变决策获得更多收益. 这一区域的问题在于系统由于关联性而存在很多局部最优解, 现有的优化搜索策略无法有效处理这种关联性, 系统稳定状态可能陷入某一局部最优解.

当复杂性体现为这种特征时, 工程相关主体需要采用“复杂性分解”策略有目的的、有规划的分解工程及主体之间的关联, 将工程及关联主体分解为较小的系统, 使具有有限能力和知识的工程主体能够完成分解后的工程工作. 为实现该目标, 既可以在技术上通过模块化降低技术之间的关联性^[46], 也可以对不同主体进行分类并通过层级化的组织结构进行管理^[19]. 前者的模块化设计在工程及项目管理领域已经成为一项标准的设计方法, 其中的一项重要指标是要求较少的接口关系. 而后者的层级化管理也是处理关联复杂性的重要组织模式, 能够有效降低组织设计过程中的搜索迭代时间, 并且可以通过优化的搜索策略提高组织绩效. 通过分解, 还可以将复杂的管理系统分解为不同的管理要素, 进而采用 PMBOOK 知识系统实现各管理要素的专业化管理和控制^[47]. 该过程将具有复杂关联的系统分解为独立性较强的单元, 因此称之为“复杂性分解”.

设该策略集合为 D , 其目的是实现以下目标

$$D: (a_1, a_2, \dots, a_3, b_1, b_2, \dots, b_3) \rightarrow ((a_1, \dots, a_k, b_1, \dots, b_k), (a_{k+1}, \dots, a_l, b_{k+1}, \dots, b_l), \dots) \quad (11)$$

该区域的错误策略是在关联复杂性情况下直接进行优化, 这会使系统不停迭代从而无法实现系统稳定, 或者使系统陷入某些局部最优解, 无法实现全局最优.

4.4 复杂性承担

当重大工程管理决策复杂性演化到确定性后, 工程及主体已经信息完备, 关联恰当, 尺度合适, 相对独立, 因此可以采用 BMBOOK 知识体系、蒙特卡洛模拟、优化等技术方法进行决策并执行^[48]. 但是, 工程系统中仍然有一些关联性是非

常紧密的, 无法通过分解方法进行彻底的阻断. 并且, 尽管进行了多方面的信息收集, 但重大工程中的创新性及其样本较少的特殊性决定着仍然存在未知的信息^[27]. 因此, 该阶段简单与复杂共存, 其确定性是一种相对的确性, 呈现出一种混杂的特点.

对于类复杂性, 出于技术和成本的考虑, 无法再通过之前的策略进一步降低其复杂性, 因此需要通过“复杂性承担”策略来直接面对复杂性, 承担复杂性所造成的影响. 该策略的目的通过多种组织管理措施避免残存的复杂性对工程建造阶段的影响, 其实质是承认重大工程管理决策的局部不可分解性及信息的不完备性. 是对重大工程复杂性的承认. 为实现该目标, 在组织管理上要根据预测制定相应的策略, 更为重要的是通过能力构建等方式使组织在建造阶段能够灵活处理无法预测的事件. 对于前者, 需要建立全面系统的“应急预案”应对已经预测出的各类可能风险事件^[49]. 对于后者, 可行的措施包括构建柔性工程组织, 学习型组织, 在经费和进度等资源上留有余地等^[18]. 并且, 可以采取设计施工总承包的组织模式, 根据工程建造情况对技术方案进行实时调整. 同时, 对于未来影响较大的不可预测风险事件, 在组织上需要各方的共同承担, 这就需要构建一种风险共担组织文化^[50]. 该逻辑策略是在决策上承认剩余关联性 & 信息不完备性所产生的复杂性, 并通过组织管理决策承担复杂性所引起的风险, 因此称之为“复杂性承担”.

设该策略集合为 S , 其目的是实现以下目标

$$S: (\mathfrak{S}, \mathfrak{R}, \mathfrak{N}) \rightarrow (\tilde{\mathfrak{S}}, \tilde{\mathfrak{R}}, \tilde{\mathfrak{N}}) \quad (12)$$

该阶段容易出现的问题是, 所有主体认为当前的决策已经足够完美, 不去发现工程中仍然存在的复杂性, 致使无法应对后续建造中出现的风险事件, 致使决策失效, 引起工程返工等问题.

上述“复杂性降解”原理可以用图 3 的“复杂性降解”螺旋表示. 其中, 最内圈表示每种策略所面对的复杂性问题, 中间的螺旋表示信息不完备性的变化, 最外的螺旋表示关联性的变化, 而四个象限代表了四种逻辑策略及其可以采取的组织管理措施.

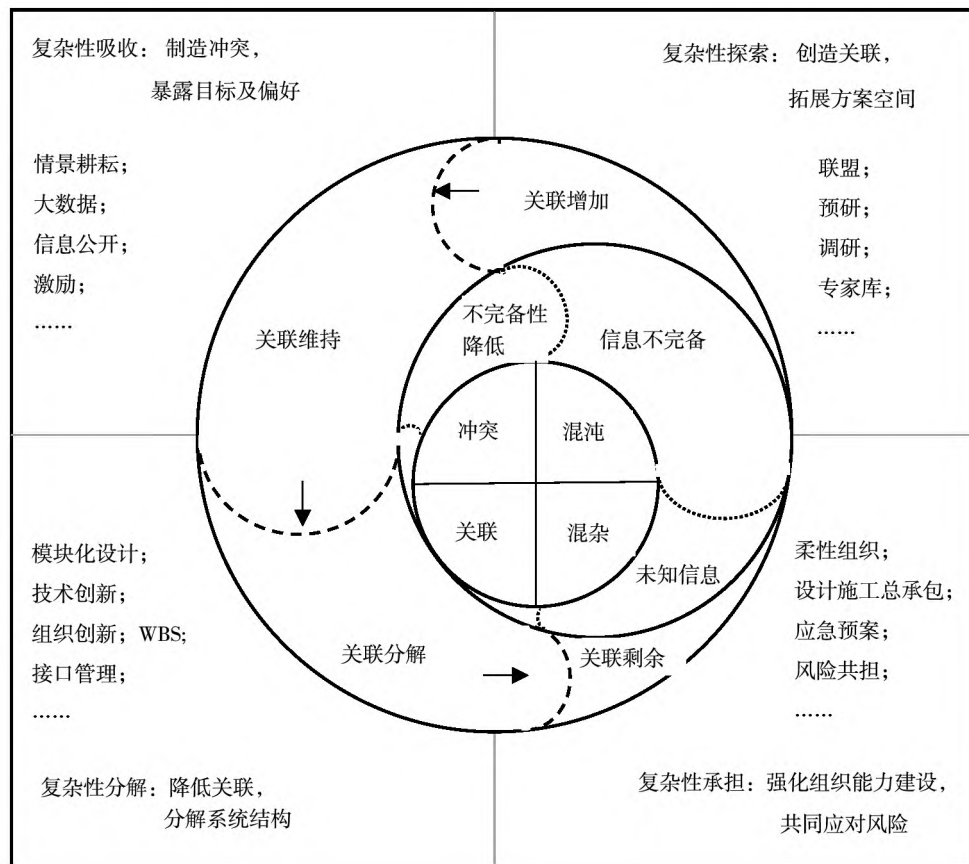


图3 重大工程管理决策“复杂性降解”螺旋

Fig. 3 Spiral of complexity degradation in mega-project management decisions

表2总结了“复杂性降解”原理中的四个基本逻辑策略。

表2 重大工程管理决策“复杂性降解”原理基本逻辑策略

Table 2 Basic logical strategies for complexity degradation theory of megaproject management decision

	复杂性探索	复杂性吸收	复杂性分解	复杂性承担
复杂性特征	混沌复杂性	冲突复杂性	关联复杂性	混杂复杂性
问题描述	未知的未知	深度不确定性	关联复杂性问题	剩余关联及未知信息
概率分布类型	无法用概率论方法表示	不符合传统概率论分布	尖峰厚尾的概率分布	已知经典的概率分布
复杂性降解内容	用关联性拓展工程参与主体及可供选择的方案	制造主体“冲突”,暴露主体目标及偏好	降低主体间的关联性,分解系统结构	提高系统组织能力和水平,共同承担未知风险
可供选择的措施	基础研究; 应用型预先研究; 技术调研; 联盟; 前期工作组; VC,PE等新型股份性投资; 专家库构建;	情景耕耘; 知识库; 大数据共享平台; 信息发布平台; 扁平化组织; 激励机制; 招投标; 学习型组织;	模块化设计; 接口管理; 工作分解结构(WBS); BIM; 层级化组织; 总体部管理; 总指挥-总师体系;	应急预案; 柔性组织; 学习型组织; 工程能力建设; 设计施工总承包; 不可预测费; 进度余量; 风险共担;

5 港珠澳大桥桥面铺装工程案例

港珠澳大桥桥面铺装工程是大桥工程的一项子工程,其规模庞大(70万平方米),铺装要求高(使用寿命15年),技术难度大(高温、高湿、高盐),是一项典型的重大工程。该工程的方案决策过程中采用了不同策略,促使复杂性状态不断演化发展,遵循了“复杂性降解”原理。因此,应用该工程说明以上所提出的复杂性状态演化路径及复杂性降解原理。

5.1 混沌状态及复杂性探索

在工程伊始,无论是桥面铺装技术、工艺还是铺装施工单位选择及组织,均处于一种信息不完备的“混沌”状态。在铺装技术方面,尽管我国从1997年虎门大桥开始进行大跨境钢箱梁桥梁建设,但仍然缺少技术成熟并且应用效果良好的技术方案。由于知识产权限制,行业内多采用传统粗放型的工艺及设备。并且,行业内具有铺装能力和经验的单位数量较少。国内桥面铺装界的技术储备不足及经验缺乏使整个工程面临着一种以信息不完备为主要特征的复杂性,如何丰富相关信息成为主要任务。

针对这种以信息不完备性为特点的“混沌”复杂性,港珠澳大桥管理局通过外部关联关系的建立,积极开展“复杂性探索”,丰富工程技术及管理信息。首先,与国内具有桥面铺装经验的企业建立关联。港珠澳大桥管理局开展了全国范围的调研,深入具有桥面铺装经验的企业了解我国在虎门大桥、南京2桥、山东胜利黄河公路大桥等工程上所采取的桥面铺装技术及当前的工程状况;第二,与国内研究机构建立关联。港珠澳大桥先后与华南理工大学、同济大学、广州长达公司、中国香港安达臣等单位合作,委托其对环氧沥青、浇筑式沥青、树脂沥青混凝土等典型的铺装方案开展预研及比选。第三,与国外工程企业及研究机构建立关联。港珠澳大桥管理局还开展了多种形式的国外调研,通过与国外企业的交流深入了解了当前主流的桥面铺装技术、工艺及设备。通过这些关联关系的建立,港珠澳大桥管理局掌

握了当前国内外桥面铺装的技术、工艺及设备信息,摸清了国内外相关工程企业的铺装能力及技术水平。

5.2 冲突状态及复杂性吸收

关联的建立丰富了工程信息,同时也增加了工程的复杂性,其主要特征是出现的各类冲突:第一,技术间的冲突。因为日本热拌环氧沥青铺装技术在虎门大桥及黄埔大桥均得到成功实施,该技术一度成为工程的首选方案。但英国浇注式沥青技术在中国香港青马大桥的成功实施及港珠澳大桥连接三地的现实又促使港珠澳大桥管理局重新思考技术方案的选择。这时,就出现了来源于不同国家的两种截然不同技术的冲突。第二,工艺需求及工艺能力间的冲突。在调研过程中发现,尽管我国的一些工程项目采取了国外较为先进的铺装技术,但实际效果并没有达到国外采用同类技术施工的工程质量水平,说明我国仍然没有完全掌握工程工艺,特别是缺少具有自主知识产权的工艺。而港珠澳大桥桥面铺装使用寿命设计为15年,铺装规模又很大,对工程工艺水平提出了较高的要求。因此,港珠澳大桥工艺需求及工艺能力间的冲突显现出来。第三,工程规模要求与铺装企业经验的冲突。港珠澳大桥桥面铺装规模达到了70万平方米,其中钢箱梁铺装面积50万平方米,而当时我国大跨径公路桥已完成钢桥面铺装,面积仅为200万平方米。因此,从整个行业来看,具有铺装经验的工程企业数量较少,即使承担过铺装工程的企业也缺少类似工程的铺装经历和能力。港珠澳大桥在技术、工艺及组织等要素上所表现出的冲突特征使工程复杂性进入了一种新的状态。

针对这种多要素的“冲突”,港珠澳大桥管理局采取多种方式开展“复杂性吸收”,在保留关联性的同时降低信息的不完备性。首先,港珠澳大桥进一步与之前建立关联的国内外科研机构合作,在充分评估港珠澳地域及交通条件的基础上,对日本热拌环氧沥青铺装技术和英国浇注式沥青技术进行比选,并通过协调会等方式充分听取各方意见。第二,在工艺方面,港珠澳大桥管理局、设计单位与合作单位联手开展了MA(mastic asphalt)、GA(guss asphalt)等多种工艺的比选工作,

结合数百组室内模拟实验及室外高温稳定性及低温疲劳试验,充分获知了不同工艺方案的优缺点. 第三,在工程组织方面,基于企业调研信息,港珠澳大桥管理局研究了当时国内施工企业资源配置与港珠澳大桥设计要求之间的匹配程度,围绕招标过程、招标条件、招标设备及工艺要求等设计了招标工作计划. 这些在技术、工艺及组织管理上的实验、模拟及分析,有效暴露了各类技术和工艺的优缺点及相关各方的偏好,化解了工程系统中不同层面的冲突,为工程相关决策提供了重要依据.

5.3 关联状态及复杂性分解

通过关联关系的建立及各类信息的收集,工程形成了一个结构清晰但关联性很强的复杂系统. 对于港珠澳大桥桥面铺装工程来说,该阶段的关联主要体现在以下几个方面. 首先是技术方案与施工环境的关联. 根据前期复杂性吸收过程获得的信息,可知技术方案的选择不仅仅要考虑技术本身的先进程度,也要考虑港珠澳大桥连接两岸三地的特殊环境. 与中国香港的连接,决定了双方技术方案的衔接性,这种关联性的考虑无论对工程建造还是对后期的工程维护都会产生重要的影响. 第二是技术、工艺、施工材料及设备的关联. 施工工艺是铺装工程的重要决策,其受到技术方案的决定,同时也决定了施工材料的选择及设备的选择. 根据前一阶段获得的信息,我国还缺少具有自主知识产权的工艺技术,在施工材料及设备上还无法支撑高水平的铺装质量. 第三是技术、工艺与组织管理间的关联. 技术及工艺的实现需要组织管理的支持,尽管相关企业的热情感度很高,但当时我国桥面铺装行业的能力和水平还无法实现确定的技术指标. 因此,在信息充分的条件下,工程技术、工艺及组织管理构成了一个要素高度关联复杂工程系统,某一项要素的改变均会影响其他要素的选择或决策.

针对这种关联复杂性,港珠澳大桥管理局通过多种复杂性分解策略降低要素之间的关联性,制定了科学的决策. 首先,通过顶层决策降低工程系统的复杂性. 港珠澳管理局在多种技术方案优缺点明确及各方观点清晰的情况下,制定了数

据详实的报告向省交通厅等上级部门汇报,通过顶层决策制定了4cm厚SMA+3cm厚浇注式沥青混凝土组合铺装结构体系的钢桥面铺装设计方案,为工艺及组织管理模式选择指明了方向. 第二,通过技术及组织管理创新降低工程系统的复杂性. 在技术方案确定的情况下,港珠澳大桥采取了具有自主知识产权的GMA工艺,在保证混合料性能的前提下大幅度提高了功效. 同时,分解传统的现场铺装模式,创造性的采取了工厂化的集料生产及铺装作业模式,降低了环境对铺装作业的影响. 第三,通过条件限制降低工程系统的复杂性. 为满足铺装要求,港珠澳大桥管理局在招标时对投标企业的铺装设备(车载式抛丸机)提出了具体要求,降低了组织管理的复杂性. 第四,通过系统分解降低工程系统的复杂性. 在招标过程中,将整个铺装工程分成了两个标段,提高了铺装工程的组织效率. 通过以上措施,将复杂的工程系统分解为界面清晰的技术、工艺、组织单元,降低了要素内部及其之间的关联性.

5.4 混杂状态及复杂性承担

通过“复杂性降解”,重大工程降低了各要素之间的关联性. 但由于重大工程复杂性的本质,很多关联性是无法彻底分解的,在未来的工程建造过程中势必会产生由于关联性所引发的不确定性. 因此,在“复杂性分解”之后,简单与复杂共存,工程的复杂性呈现出“混杂”的特点.

针对这种情况,港珠澳大桥管理局也通过多种方式提高“复杂性承担”的能力. 首先,港珠澳大桥管理局制定了多种类型的应急预案来应对未来可能的各种不确定性事件. 第二,港珠澳大桥在经费、进度等方面预留出了一定的余量来应对可能的经费超支和进度拖期等问题. 第三,港珠澳大桥管理局通过工程文化构建的方式加强工程甲乙双方对工程的共同认识,形成了共担风险的共识. 这些措施有效提高了工程整体的“复杂性承担”能力. 例如,在铺装过程中,由于其他工程延误致使铺装工程延后,致使已经进场的铺装企业遭受了一定的经济损失. 但由于“复杂性承担”能力的构建,港珠澳大桥管理局和铺装企业共同

承担了损失,并且通过多种方式有效解决了该问题。

6 复杂性降解原理对重大工程管理的启示

“复杂性降解”原理揭示了重大工程管理决策复杂性的动态演化规律,对重大工程管理带来了诸多启示。

1) 重大工程管理复杂性表现为不同的特征,重大工程管理的本质是通过“复杂性降解”引发复杂性特征的演化

重大工程管理者应该认识到重大工程具有以信息不完备性和决策关联性为主要特征的复杂性,并且两者不同程度的两两组合可以将重大工程管理复杂性分为完全不同的类型。每种类型的复杂性所面临的管理问题是不同的,需要不同的策略予以解决。而“复杂性降解”是重大工程管理复杂性特征在不同类型间演化的动力机制,是重大工程管理的本质。

基于这种动态复杂性本体论,重大工程管理者可以更为深入地理解重大工程的一些特征。重大工程一定是周期较长、利益冲突巨大、风险较高、影响深远的工程项目,该特点不仅仅是因为重大工程本身复杂,而且是因为人类在处理复杂性事件时所采取的措施和方法本身就是复杂的。工程周期长,是因为重大工程从“混沌复杂性”转移到“冲突复杂性”的过程中,通过“复杂性探索”创建工程利益主体联接、扩展重大工程知识的时间往往是漫长的。例如,“港珠澳大桥”从1983年工程动议到2009年工程立项,历经26年时间。“三峡工程”从1955年中央决定开展论证到1992年全国人大通过《关于兴建长江三峡工程的决议》历时37年时间。重大工程利益冲突巨大,是因为在工程从“冲突复杂性”转移到“关联复杂性”的“复杂性吸收”过程中会产生激烈的利益博弈,例如“港珠澳大桥”在通关模式上的争论就体现出了不同地区的不同利益诉求。重大工程管理者认识了重大工程这种动态复杂性的本质,就可以正确评估重大工程的管理现状,并采取与复杂性特

征相匹配的组织管理措施。

2) “复杂性降解”会内生地创造复杂性,用新的复杂性解决原来的复杂性问题,是重大工程管理的重要策略

在重大工程管理中,通常认为复杂性是需要解决的问题,但“复杂性降解”原理揭示出,在重大工程的整个生命周期内,工程的管理活动在解决某些复杂性问题的同时,会内生地创造复杂性。因此,对于重大工程的复杂性要有新的认识:复杂性不仅是外生的,而且是管理活动内生的;复杂性不仅是需要解决的问题,而且也是解决问题的方法。

这种对重大工程管理复杂性的新认识论,对于重大工程管理者具有重要的启示。在重大工程管理处于“混沌复杂性”类型时,工程管理者不能直接将问题简化,而是要通过“复杂性探索”创建关联复杂性。尽管增加工程利益主体的行为势必增加以工程决策关联性为特征的复杂性,但这对于工程目标的实现是有益的,能够解决“混沌复杂性”的信息不完备性问题。这就要求重大工程管理者更为广泛的与工程潜在利益主体接触,不怕复杂性的出现去建立连接。例如,2004年3月“港珠澳大桥”前期工作协调小组办公室成立后,进行了2年的深入调研工作,与港珠澳各方、国家相关部委、工程建设企业等工程利益主体进行了协商和征求意见,提出了港珠澳大桥采用“三地三检口岸”模式等方案。如果仅仅将复杂性看成是问题,在制定决策时为了自身的工作便利将一些重要的利益主体排除在项目之外,则势必会带来极大的隐患。复杂性既是问题,也是解决问题的重要方法,重大工程“复杂性降解”原理对“复杂性”的这种认识符合马克思主义辩证统一的哲学思想。

3) “复杂性降解”原理提出了正确处理重大工程管理复杂性的逻辑路径,为重大工程管理问题的分析提供了新的视角

“复杂性降解”原理提出了分别应用“复杂性探索”、“复杂性吸收”、“复杂性分解”和“复杂性承担”四个策略促使重大工程管理复杂性在“混沌”、“冲突”、“关联”和“混杂”四种类型间依次

演化的路径。该路径符合重大工程管理复杂性产生、发展、解决及变化的演化规律,同时也规定了重大工程管理处理复杂性的工作顺序。

这种处理重大工程管理复杂性的基本顺序过程,为重大工程管理问题的分析提供了一个新的视角。例如,重大工程往往会出现“超拖降”问题,这已经成为重大工程最为诟病的问题。一般认为,经费“超”、进度“拖”和指标“降”的原因在于各自的管理方法不正确,执行不严厉,因此经费问题就从经费管理上找问题,进度问题就从工程进度安排上找问题。但在重大工程管理过程中,采用这种思路去查找问题并制定解决方案是行不通的。例如,重大工程的经费超支可能是项目设计单位为了工程立项,在夸大项目收益的同时低估了工程经费支出。根据“复杂性降解”原理,这种现象的产生可以归因为“复杂性吸收”过程没有充分暴露所有利益相关者的目标和偏好。经费超支和进度超期还可能在于业主修改目标,致使项目不得不重新设计。该现象可以解释为,从“关联复杂性”到“确定性”的“复杂性分解”过程出现问题,重大工程复杂性又变回为“冲突复杂性”或是“混沌复杂性”。因此,“复杂性降解”原理为重大工程管理者提供了一种正确认识重大工程问题的方法,也为如何评价重大工程的绩效提供了一种新的视角。

4) “复杂性降解”原理要求针对不同类型的复杂性匹配不同的管理措施和方法,指出了管理方法创新的方向

重大工程管理的四种复杂性表现出不同的复杂性特征,所面临的问题也是不同的。而“复杂性降解”原理针对不同类型的问题出了不同的策略,其中所涵盖的具体管理措施也是不同的。因此,在重大工程管理实践中,不但要正确判断工程当前的复杂性类型,而且每种策略均需要充分的管理措施的支持。

传统的以 PMBOOK 知识体系为主的工程管理方法假设工程是一个关联性不强及信息完备的确定性状态,因此其仅仅适用于复杂性演化的“确定性”状态,与其他类型的复杂性问题并不匹配。对于不确定性问题,该知识体系认为可以通

过增加时间、经费及技术的“余量”予以解决。但是,对复杂性的分类揭示出这种确定性仅仅是重大工程管理复杂性演化的一个阶段。尽管该阶段有着重要的意义和价值,但如果仅仅采用 PM-BOOK 知识体系为主的方法进行重大工程管理,则注定会带来巨大的风险,甚至造成失败。因此,需要根据“复杂性降解”原理中的各种策略,对于其他类型的复杂性应对方法开展研究,例如针对“混沌复杂性”的“工程治理机制”研究及“工程舆情分析”研究,针对工程“冲突复杂性”的“情景耕耘”研究,针对工程“关联复杂性”局部最优问题的“组织搜索”研究,针对工程概率“确定性”状态时的“创造性工程组织”研究等。当然,并不是说 PMBOOK 知识体系不值得再进行深入的研究,反而是当前工程智能化的发展对该部分的研究提出了新的要求,也有着广阔的研究前景。

5) “复杂性降解”原理既反映了还原论思想,也体现了整体论思想,是两种方法论的结合

“复杂性降解”原理能够将复杂的重大工程活动分解为一些相对独立的专业化劳动,利于专业人员的工作,反映了重大工程工业化时代的劳动分工和合作特征。同时,该原理也强调工程整体特征的涌现及系统综合,例如在“复杂性探索”和“复杂性吸收”策略中强调工程利益主体的关联,反映了系统整体思想在重大工程管理实践中的应用。

因此,“复杂性降解”原理即要求能够按照当前工业化时代的专业化分工对重大工程进行正确的分解,同时也要求采用综合集成方法对“复杂性降解”的整体过程进行顶层控制。针对不同的复杂性类型,尽管其面临的问题有所不同,但总体控制能够更好地收集相关信息,并促进不同部门、不同专业人士的合作。这也是我国各类重大工程的成功经验。例如,在港珠澳大桥建设过程中,不同时期有不同的总体部门实施顶层管理,经历了“港珠澳大桥前期工作协调小组”、“港珠澳大桥专责小组”、“港珠澳大桥管理局”等总体形式。我国航天工程更是在“综合集成”方法指导下,在每一个重大航天工程中成立了总体部,例如探月工程的“探月与航天工程中心”、载人航天工程的“中国载人航天工程办公室”等。除了在工程各阶

段实施总体控制之外,这些总体部门还能够更好的判断工程的复杂性特征并制定“复杂性降解”策略。同时,以BIM和大数据为主的信息技术的飞速发展对总体部的顶层控制提供了技术基础,总体部模式已经成为未来重大工程数字化管理发展的组织保障。

7 结束语

本研究构建了一个概念模型,描述了复杂性对重大工程管理决策的影响,提出了重大工程管理决策复杂性本体论认识框架,结合决策关联性 & 信息不完备性将重大工程管理决策复杂性分为“混沌”、“冲突”、“关联”及“混杂”四种不同类型。在此复杂性认识框架内,基于复杂自适应系统理论及社会系统理论,提出了包含“复杂性探索”、“复杂性吸收”、“复杂性分解”和“复杂性承担”四个基本逻辑策略过程的重大工程管理决策

“复杂性降解”原理,揭示了重大工程管理复杂性内生动态演化规律。并且,应用港珠澳大桥桥面铺装工程的案例验证了上述重大工程复杂性类型及“复杂性降解”原理。

重大工程管理决策“复杂性降解”原理揭示了重大工程复杂性的新特点,提出了应对复杂性的新方法,对重大工程管理者认识复杂性及进行重大工程管理方法创新均有新的启示。工程管理者应该基于重大工程复杂性的动态演化特征去认识工程复杂性,辩证地对待复杂性的问题性和方法性,并且正确应用“复杂性降解”原理中的策略去解决复杂性问题。在方法上,应该突破PM-BOK知识体系,在“复杂性降解”原理的框架中,针对不同的复杂性问题及策略进行管理方法和技术创新,结合当前工程管理信息化和智能化的发展趋势提出面向复杂性的、综合性的方法体系。基于“复杂性降解”原理的重大工程管理方法和技术创新是今后的研究重点。

参考文献:

- [1] Flyvbjerg B. What you should know about megaprojects and why: An overview [J]. *Project Management Journal*, 2014, 45 (2): 6-19.
- [2] Bosch-Rekvelde M, Jongkind Y, Mooi H, et al. Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework [J]. *International Journal of Project Management*, 2011, 29(6): 728-739.
- [3] 梁茹, 盛昭瀚. 基于综合集成的重大工程复杂问题决策模式 [J]. *中国软科学*, 2015, (11): 123-135.
Liang Ru, Sheng Zhaohan. Decision model for complex problems in major projects based on integration [J]. *China Soft Science*, 2015, (11): 123-135. (in Chinese)
- [4] Flyvbjerg B. *The Oxford Handbook of Megaproject Management* [M]. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- [5] Holland J H. *Emergence: From Chaos to Order* [M]. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- [6] Burnes B. Complexity theories and organizational change [J]. *International Journal of Management Reviews*, 2005, 7(2): 73-90.
- [7] Rivkin J W, Siggelkow N. Balancing search and stability: Interdependencies among elements of organizational design [J]. *Management Science*, 2003, 49(3): 290-311.
- [8] Allen P. What is complexity science? Knowledge of the limits to knowledge [J]. *Emergence, A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management*, 2001, 3(1): 24-42.
- [9] Dao B, Kermanshachi S, Shane J, et al. Exploring and assessing project complexity [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2017, 143(5): 04016126.
- [10] Howell D, Windahl C, Seidel R. A project contingency framework based on uncertainty and its consequences [J]. *International Journal of Project Management*, 2010, 28(3): 256-264.
- [11] Pich M T, Loch C H, Meyer A D. On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management [J]. *Management-*

- Science ,2002 ,48(8) : 1008 – 1023.
- [12]Salet W , Bertolini L , Giezen M. Complexity and uncertainty: Problem or asset in decision making of mega infrastructure projects? [J]. International Journal of Urban and Regional Research ,2013 ,37(6) : 1984 – 2000.
- [13]He Q , Luo L , Hu Y , et al. Measuring the complexity of mega construction projects in China: A fuzzy analytic network process analysis [J]. International Journal of Project Management ,2015 ,33(3) : 549 – 563.
- [14]Vidal L A , Marle F , Bocquet J C. Measuring project complexity using the analytic hierarchy process [J]. International Journal of Project Management ,2011 ,29(6) : 718 – 727.
- [15]Zhai L , Xin Y , Cheng C. Understanding the value of project management from a stakeholder' s perspective: Case study of mega-project management [J]. Project Management Journal ,2009 ,40(1) : 99 – 109.
- [16]Shi Q. Rethinking the implementation of project management: A value adding path map approach [J]. International Journal of Project Management ,2011 ,29(3) : 295 – 302.
- [17]Liu Z , Zhu Z , Wang H , et al. Handling social risks in government-driven mega project: An empirical case study from West China [J]. International Journal of Project Management ,2016 ,34(2) : 202 – 218.
- [18]Eriksson P E , Larsson J , Pesämaa O. Managing complex projects in the infrastructure sector: A structural equation model for flexibility-focused project management [J]. International Journal of Project Management ,2017 ,35(8) : 1512 – 1523.
- [19]Mihm J , Loch C H , Wilkinson D , et al. Hierarchical structure and search in complex organizations [J]. Management Science ,2010 ,56(5) : 831 – 848.
- [20]Giezen M. Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning [J]. International Journal of Project Management ,2012 ,30(7) : 781 – 790.
- [21]Chandrasekaran A , Linderman K , Sting F J , et al. Managing R&D project shifts in high-tech organizations: A multi-method study [J]. Production and Operations Management ,2016 ,25(3) : 390 – 416.
- [22]Cicmil S , Williams T , Thomas J , et al. Rethinking project management: Researching the actuality of projects [J]. International Journal of Project Management ,2006 ,24(8) : 675 – 686.
- [23]Locatelli G , Mancini M , Romano E. Systems engineering to improve the governance in complex project environments [J]. International Journal of Project Management ,2014 ,32(8) : 1395 – 1410.
- [24]成思危. 复杂科学与系统工程 [J]. 管理科学学报 ,1999 ,2(2) : 1 – 7.
Cheng Siwei. Complex science and system engineering [J]. Journal of Management Sciences in China ,1999 ,2(2) : 1 – 7. (in Chinese)
- [25]于景元. 从系统思想到系统实践的创新——钱学森系统研究的成就和贡献 [J]. 系统工程理论与实践 ,2016 ,36(12) : 2993 – 3002.
Yu Jingyuan. Innovation process from systems thinking to systems practice: In memory of Hsue-shen Tsien [J]. System Engineering: Theory and Practice ,2016 ,36(12) : 2993 – 3002. (in Chinese)
- [26]戴汝为 ,操龙兵. 综合集成研讨厅的研制 [J]. 管理科学学报 ,2002 ,5(3) : 10 – 16.
Dai Ruwei , Cao Longbing. Research of hall for workshop of metasynthetic engineering [J]. Journal of Management Sciences in China ,2002 ,5(3) : 10 – 16. (in Chinese)
- [27]Sheng Z H. Fundamental Theories of Mega Infrastructure Construction Management—theoretical Considerations from Chinese Practices [M]. Switzerland: Springer ,2017.
- [28]Dillon R L , Paté-Cornell M E , Guikema S D. Programmatic risk analysis for critical engineering systems under tight resource constraints [J]. Operations Research ,2003 ,51(3) : 354 – 370.
- [29]Dillon R L , Paté-Cornell M E , Guikema S D. Optimal use of budget reserves to minimize technical and management failure risks during complex project development [J]. IEEE Transactions on Engineering Management ,2005 ,52(3) : 382 – 395.
- [30]Mihm J , Loch C , Huchzermeier A. Problem-solving oscillations in complex engineering projects [J]. Management Science ,2003 ,49(6) : 733 – 750.
- [31]Duimering P R , Ran B , Derbentseva N , et al. The effects of ambiguity on project task structure in new product develop-

- ment[J]. *Knowledge and Process Management*, 2006, 13(4): 239–251.
- [32] Morcol G. What is complexity science? Postmodernist or psotpositivist? [J]. *Emergence, A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management*, 2001, 3(1): 104–119.
- [33] Henisz W J, Levitt R E, Scott W R. Toward a unified theory of project governance: Economic, sociological and psychological supports for relational contracting[J]. *Engineering Project Organization Journal*, 2012, 2(1–2): 37–55.
- [34] Lenfle S, Söderlund J. Large-scale innovative projects as temporary trading zones: Toward an interlanguage theory[J]. *Organization Studies*, 2018: <https://doi.org/10.1177/0170840618789201>.
- [35] Ramasesh R V, Browning T R. A conceptual framework for tackling knowable unknown unknowns in project management [J]. *Journal of Operations Management*, 2014, 32(4): 190–204.
- [36] 麦 强, 安 实, 林 翰, 等. 重大工程复杂性与适应性组织—港珠澳大桥的案例[J]. *管理科学*, 2018, 31(3): 86–99.
Mai Qiang, An Shi, Lin Han, et al. Complexity and adaptive organization of mega project: The case of Hong Kong-Zhuhai-Macau bridge[J]. *Journal of Management Science*, 2018, 31(3): 86–99. (in Chinese)
- [37] Luhmann N. *Introduction to Systems Theory*[M]. Cambridge: Polity Press, 2013.
- [38] Veenswijk M, Van Marrewijk A, Boersma K. Developing new knowledge in collaborative relationships in megaproject alliances: Organising reflection in the Dutch construction sector[J]. *International Journal of Knowledge Management Studies*, 2010, 4(2): 216–232.
- [39] Little R G. The emerging role of public-private partnerships in megaproject delivery[J]. *Public Works Management & Policy*, 2011, 16(3): 240–249.
- [40] Flyvbjerg B. What you should know about megaprojects and why: An overview[J]. *Project Management Journal*, 2014, 45(2): 6–19.
- [41] 盛昭瀚, 张 维. 管理科学研究中的计算实验方法[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(5): 1–10.
Sheng Zhaohan, Zhang Wei. Computational experiments in management science and research[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(5): 1–10. (in Chinese)
- [42] 梁 茹, 陈永泰, 徐 峰, 等. 社会系统多元情景可计算模式研究[J]. *管理科学学报*, 2017, 20(1): 53–63.
Liang Ru, Chen Yongtai, Xu Feng, et al. Computable patterns of multivariate scenarios in social systems[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(1): 53–63. (in Chinese)
- [43] Williams N L, Ferdinand N, Pasian B. Online stakeholder interactions in the early stage of a megaproject[J]. *Project Management Journal*, 2015, 46(6): 92–110.
- [44] Henisz W J, Levitt R E, Scott W R. Toward a unified theory of project governance: Economic, sociological and psychological supports for relational contracting[J]. *Engineering Project Organization Journal*, 2012, 2(1–2): 37–55.
- [45] 韩姣杰, 魏 杰. 项目复杂团队合作中利他偏好的生存和演化[J]. *管理科学学报*, 2015, 18(11): 35–46.
Han Jiaojie, Wei Jie. The evolutionary of altruism preferences in complex project team cooperation[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(11): 35–46. (in Chinese)
- [46] Taneja P, Ligteringen H, Van Schuylenburg M. Dealing with uncertainty in design of port infrastructure systems[J]. *Journal of Design Research*, 2010, 8(2): 101–118.
- [47] Morris P W G, Crawford L, Hodgson D, et al. Exploring the role of formal bodies of knowledge in defining a profession: The case of project management[J]. *International Journal of Project Management*, 2006, 24(8): 710–721.
- [48] 项目管理协会. 项目管理知识体系指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Project Management Institution. *Guide to Project Management Knowledge System*[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [49] Yzer J R, Walker W E, Marchau V A W J, et al. Dynamic adaptive policies: A way to improve the cost-benefit performance of megaprojects? [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2014, 41(4): 594–612.
- [50] Unger B N, Rank J, Gemünden H G. Corporate innovation culture and dimensions of project portfolio success: The moder-

ating role of national culture[J]. Project Management Journal ,2014 ,45(6) : 38 - 57.

Complexity and its degradation theory of megaproject management decisions

*MAI Qiang*¹ , *SHENG Zhao-han*² , *AN Shi*¹ , *GAO Xing-lin*³

1. School of Management , Harbin Institute of Technology , Harbin 150001 , China;
2. School of Management and Engineering , Nanjing University , Nanjing 210093 , China;
3. Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Authority , Zhuhai 519015 , China

Abstract: Management of megaprojects is a typical complex system. The characteristics of megaproject complexity , and how to solve such complexity , are popular in the field of project management. A conceptual model is established to study the effects of complex factors , such as decision relevance , cognitive ambiguity and bias , and limited knowledge , on megaproject management. Then , in a complexity framework of decision relevance and incomplete information , the complexities associated with megaproject management decisions are divided into four types “chaos” , “conflict” , “relevance” , and “hybrid” complexities. In accordance with those four types of complexity , this paper proposes a “complexity degradation” theory that consists of four basic logical strategies: complexity exploration , complexity absorption , complexity decomposition , and complexity tolerance. The complexity degradation theory reveals a complex self-organization law in the practice of megaproject management decision-making , and illustrates the endogenous and dynamic evolutionary characteristics of the complexities involved in megaproject management decisions. Finally , the complexity degradation theory is verified through the management decision-making practices of a deck pavement project for the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge , which provides an enlightening illustration of the complexity degradation theory and its application to megaproject management.

Key words: megaproject; management decision; complexity degradation; complex self-organization; dynamic evolution