



重大工程复杂性与适应性组织 ——港珠澳大桥的案例

麦强¹, 安实¹, 林翰², 高星林³

1 哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001

2 南京审计大学 信息工程学院, 南京 211815

3 港珠澳大桥管理局, 广东 珠海 519015

摘要: 重大工程通常由技术难度、系统关联性、未知因素存在巨大差异的异质性子工程组成, 不同子工程往往采取不同的组织模式。传统权变理论认为, 不同的外部环境需要采用不同的组织模式, 组织的构建要适应外部环境的不确定性。但在重大工程中, 子工程本身及其环境的复杂性均会产生不确定性, 组织模式的选择和构建与子工程的复杂性具有重要的联系。因此, 有必要从复杂性的视角解释重大工程的组织多样化现象。

在梳理重大工程复杂性及组织适应性研究的基础上, 选择港珠澳大桥工程中的岛隧工程、钢结构工程、路面铺装工程、海事工程等子工程的组织管理实践作为研究对象, 通过访谈、参与式专家和文档资料等方式获取相关数据, 从复杂性视角对子工程进行分类, 界定重大工程适应性组织概念, 解析重大工程中不同子工程采取不同组织模式的适应性组织现象, 总结构建适应性组织的路径。

基于重大工程复杂性的具体表现即工程技术方案与外部环境的关联性和认知不完备性, 构建子工程复杂性评价指标体系, 据此将子工程分为复杂性工程、创新性工程、关联性工程和简单工程4种类型; 提出重大工程适应性组织概念; 得出重大工程适应性组织构建的路径包括组织需求设计和匹配、工程主体创新和构建、组织系统形成和集成、组织职能实现和协同4个步骤。

研究旨在提出重大工程适应性组织概念, 揭示重大工程组织模式选择和构建的机理及动态过程, 说明重大工程组织模式与工程复杂性之间的关联性, 指导其他重大工程组织管理模式的选择和构建。由于单案例研究的局限性, 有必要在其他重大工程中对所提出的重大工程适应性组织概念及适应性组织构建过程进行进一步的完善和验证。

关键词: 重大工程; 复杂性; 适应性组织; 港珠澳大桥; 关联性; 认知不完备性

中图分类号: F271

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2018.03.008

文章编号: 1672-0334(2018)03-0086-14

收稿日期: 2017-10-03 **修返日期:** 2018-04-08

基金项目: 国家自然科学基金(71571057, 71390522, 71771125)

作者简介: 麦强, 管理学博士, 哈尔滨工业大学管理学院副教授, 研究方向为系统工程和重大工程管理等, 代表性学术成果为“均衡和绩效: 重大航天工程总体部方案设计”, 发表在2018年第1期《系统管理学报》, E-mail: maiqiang@hit.edu.cn

安实, 管理学博士, 哈尔滨工业大学管理学院教授, 研究方向为系统工程等, 代表性学术成果为“Location planning for transit-based evacuation under the risk of service disruptions”, 发表在2013年第54卷《Transportation Research Part B: Methodological》, E-mail: anshi@hit.edu.cn

林翰, 管理学博士, 南京审计大学信息工程学院副研究员, 研究方向为重大工程管理等, E-mail: linhan@nau.edu.cn

高星林, 高级工程师, 港珠澳大桥管理局局长助理兼计划合同部部长, 主要从事重大工程计划和招标管理等, E-mail: gxl@hzmbo.com

引言

重大工程一般是指投资超过10亿美元的交通、能源、通信等基础设施工程^[1],这类工程通常由众多在技术难度、要素关联性、未知因素上存在巨大差异的异质性子工程组成^[2-4],并且不同类型的子工程往往采用不同的组织管理模式^[5]。

对于这种组织多样化的现象,企业管理领域中的权变理论认为,企业是一个受外部环境影响的开放系统,会根据不同的环境采取不同的组织管理模式,即组织模式改变是适应环境的结果^[3,6]。而对于重大工程,组织管理面对的除环境影响外^[7],还面临着技术方案中的关联性、对建造的影响及建造知识的不完备性等复杂性问题^[8-9]。企业的不确定性是外生的,而重大工程中的不确定性既是外生的也是内生的^[10-11]。因此,重大工程的不确定性与企业的不确定性具有完全不同的属性,其组织选择和构建的适应性过程也存在差别,需要根据重大工程管理实践进行总结。

为揭示重大工程中组织多样性产生的原因及其规律,基于港珠澳大桥工程的岛隧工程、钢结构工程、路面铺装工程、海事工程等子工程的组织管理实践,提出复杂性引发组织管理模式适应性的重大工程适应性组织概念,总结该适应性过程的主要路径。本研究认为,重大工程内部组织管理模式的多样性源于工程内部和外部的复杂性,是子工程在控制主体的支持下,通过不同的组织模式解决子工程不同复杂性问题、实现工程目标的受控适应性过程。本研究揭示了重大工程复杂性驱动适应性的机理,解释了重大工程组织模式多样性的现象,区分了重大工程组织适应性与企业组织适应性的不同。

1 相关研究评述

经典的权变理论认为,企业面临不确定的外部环境,需要根据环境的不确定性程度采取不同的组织模式^[12]。这类研究认为组织模式有机械组织和有机组织两种类型,以正式、层级制、中央控制为特征的机械组织,适应于没有变化或变化缓慢的市场;以非正式、层级较少、分权为特征的有机组织,适应于快速变化的市场环境^[13]。一般认为,产生不确定性的因素主要有技术进步、产品需求波动、经营环境制度变化等^[14-15]。针对这些外部因素产生的不确定性,一些学者从提升组织能力的视角提出了多种组织适应性方案,如重塑竞争能力^[16],采取隐性知识、经验、实时学习及灵活应变等柔性措施^[17],实验性的经验学习和咨询性的认知学习提高适应能力等^[18]。还有一些学者认为应该建立二元组织,在扩展已有能力的同时探索新的技术知识^[19-20]。可以看出,企业管理研究认为外部环境的不确定性是引起企业适应性组织行为的原因,不同的不确定性程度需要采取不同类型的组织管理模式。

各类工程的开发建造会受到不确定性事件的影响,其组织管理也面临着不确定性的挑战。针对这

类问题,在工程管理研究领域,第1类研究关注基于工程项目的企业,认为这些企业在通过现有工程项目维持利润的同时,还要开展创新性的工程项目,开发新技术以适应市场变化^[21]。这些研究假设外部环境的不确定性是新工程项目的诱因,仍然属于企业管理的范畴。第2类研究关注工程本身,认为面临不同问题的工程需要采用不同的组织管理模式^[3,22]。第3类研究关注某个独立的重大工程,认为不确定性是其组织管理的重要挑战,并提出动态能力、柔性策略、选择和学习等众多策略应对该类问题^[23-24]。

与企业管理不同,重大工程自身是组织管理要实现的目标,不确定性体现在工程自身的未来状态上^[25]。引发重大工程未来状态不确定的因素很多,根据其来源可以分为两大类,一类是重大工程自身的复杂性因素,另一类是外部环境的复杂性因素。

重大工程自身的复杂性主要有两种类型,一类从关联的视角解释,另一类从工程的认知视角描述。关联的视角认为,工程技术方案要素间或方案中各子系统间存在相互依赖关系,某一部分的改变会引起其他相关部分的方案改变^[2,10,26],这类复杂性通常称为关联复杂性或结构复杂性^[2,27]。在这种关联复杂性较强的情况下,工程的系统状态存在众多的局部最优解,系统发展极易陷入其中,并且会产生反复的迭代,致使系统很难达到稳定状态^[28-29]。工程认知视角的研究认为,造成重大工程未来状态不稳定的原因有不明晰的工程需求^[30]、不清晰的工程目标定义^[31]及采用新技术方案^[32]等。根据不确定性的一般定义,即由于知识缺乏无法精确描述未来的多种可能结果^[30],这些因素都属于知识缺乏的范畴,可能会引发未来的不确定状态,因此可以将这类因素归类于认知复杂性或非结构复杂性^[33-34]。并且,重大工程的关联复杂性与认知复杂性存在密切的相关性,要素及系统结构的相互依赖会强化认知上的困难,对关联关系的认知模糊也加剧了结构复杂性^[35]。因此,对于重大工程这一特殊的工程活动,其未来状态的不确定性主要受到工程技术方案复杂性的影响,即工程技术方案中子系统间的相互关联(关联复杂性)以及对创新技术、需求和目标的有限知识(认知复杂性)。与企业管理中外生的不确定性完全不同,重大工程的技术方案复杂性也会造成不确定性,因此重大工程的不确定性表现出了内生性的特征。由于这种本质上的差异,不能简单借用企业管理中的适应性理论解释重大工程管理中的组织多样化现象。

除工程自身的复杂性外,外部环境也是重大工程复杂性的重要因素,也会造成重大工程未来状态的不确定性^[7,36]。与一般工程相比,重大工程往往建设在自然环境更为恶劣的地区,是人类对大自然的极端挑战,其建造过程会受到自然环境的影响^[37];并且,这类工程投资大,对民生影响深入广泛,所涉及的其他组织及相关利益主体众多^[38]。这些因素与重大工程的设计、建造和运营均密切相关,

因此在外环境上也具有关联复杂性。同时,在对自然环境变化和发展的认识上,对工程相关利益主体目标及偏好的掌握上,也会存在信息不足、认识不清晰的问题^[39],反映出外部环境的认知不完备性这一复杂性特征。因此,从外部环境的复杂性看,重大工程的不确定性也表现出了外生性的特征。

针对重大工程的复杂性,如何构建合适的组织管理模式已经成为研究热点。一些研究认为,重大工程的组织管理本质是一个适应性过程,面对技术及外部环境的复杂性,在管理上需要构建合适的组织结构以实现部门之间的合作,并且要有效应对工程生命周期内可能发生的不确定性事件^[40]。有学者提出适应性是管理主体在重大工程管理活动中应对环境深度不确定性和管理问题复杂性所遵循的基本行为准则,并提出根据任务、主体、资源和环境进行组织设计的适应性机制^[41]。一些研究从解决工程技术方案复杂性的视角开展研究,认为子系统间的关联会使方案设计陷入不断的修改困局,并极易得到局部最优解,进而采用仿真方法证明层级制等组织方式能够提升管理效率和工程绩效^[28,42]。一类研究从具体的运作层面研究工程技术方案与工程管理之间的相关性,认为在资源有限的情况下需要考虑技术和管理的综合风险,并在一个统一的风险管理框架下构建量化的技术和管理方案优化决策模型^[8,43]。还有的研究认为重大工程的复杂性在于工程由许多不同性质的子系统组成,因此在设计时要考虑子系统间的集成界面,在研制过程中要保证具体研制单位的合作、不同合同方式的严格执行、不同利益组织的信息披露等,需要一个掌握全局并具有多方知识和经验的集成主体^[44-45]。

根据以上有关重大工程复杂性及其组织管理的研究,本研究认为有以下几点问题:

(1)重大工程的不确定性既是内生性的也是外生性的,由不同类型的复杂性所产生,并且会被复杂性强化,因此不能简单借用以外生不确定性为基本假设的企业管理领域的适应性理论,需要根据重大工程实践提出工程管理领域的组织适应性理论。

(2)已有研究还是从宏观层面提出解决工程技术复杂性的单一组织管理模式,没有认识到重大工程中不同子系统的技术复杂性差异及外部环境差异对组织管理模式带来的挑战。因此,既需要从技术复杂性和环境复杂性的视角,也需要从关联复杂性和认知复杂性的视角,分析重大工程适应性组织模式的构建和选择。

(3)重大工程的组织构建是一个适应性的过程,但已有研究还停留在概念的提出和形式的描述上,缺少组织适应性过程的详细总结。

针对以上问题,本研究根据港珠澳大桥的工程案例,从复杂性的视角分析重大工程中不同组织模式的产生原因,并总结重大工程适应性组织的构建过程。

2 研究方法

连接粤港澳的港珠澳大桥工程是一个典型的重大工程,其路线总长约56公里,总投资约1 050亿元人民币,设计使用寿命120年,从2009年12月15日工程开工,2017年底建成通车,历时8年时间。该工程具有典型的复杂性特征,即技术方案创新性强,参与主体众多,系统内部及系统间关联密切,涉及香港、珠海和澳门三地,并且在伶仃洋中开展建造,受海洋水文及台风等自然因素影响。该工程包括桥隧主体工程、三地口岸岛和三地连接线3个主体工程,并且不同的子工程也采用了不同的组织管理模式。其复杂性及组织模式的多样性为开展单案例研究提供了很好的案例样本^[46-47]。

本研究关注港珠澳大桥在技术方案设计及建造过程中所采取的不同组织管理模式及其形成过程。在研究过程中,收集各类管理文件、合同、报告及相关报道等资料,并且采取参与式专家方法参与到包括各类会议的真实管理活动中。从2015年初至2016年底,开展两次访谈,共访谈20名各个层次的工程人员,包括工程甲乙双方的高级管理人员、项目承建方高管、项目监理、工程施工人员等。第1次访谈关注港珠澳大桥管理局的组织管理措施及其作用,特别收集了其在基础管理措施制定、组织模式选择控制、不同组织间的协调集成等方面的具体做法;第2次访谈关注不同子工程的复杂性及组织模式的特点、组织构建的过程等。

3 重大工程适应性组织

3.1 重大工程复杂性分析及工程分类

3.1.1 港珠澳大桥复杂性特征

在访谈过程中,受访者一致认为复杂性是港珠澳大桥面临的主要问题。根据访谈关键词提取并结合相关研究,本研究认为复杂性包括关联性和认知不完备性两个维度。其中,关联性是指系统要素之间的相关性,体现了要素之间的关联关系和相互影响;认知不完备性是指对系统要素及其关联关系的认知不全面,存在信息不足、信息过量以及信息模糊和不准确。

在关联性中,根据关联的不同属性,可以将其分为结构关联性和动态关联性。

(1)结构关联性是指工程子系统与其他子系统之间的关联性。这种关联性随着系统个数的增加而呈指数增长,致使工程整体的系统状态存在众多的可能性。

(2)动态关联性是指在工程全生命周期过程中,工程某一阶段行为对其他阶段行为产生的影响。这种影响有可能是逆生命周期的,即在工程生命周期的后序阶段发现问题,要求返回到前序阶段修改已做出的决策,致使工程不断发生更改,极端情况会产生恶性循环和连锁反应。

同样,根据认知要素的来源,可以将认知不完备性分为内部认知不完备性和外部认知不完备性。

(1)内部认知不完备性是指工程设计和建造主体还未拥有必备的知识和经验来执行建造任务并实现工程设计目标,具体表现为系统间关系认识模糊,缺少实现工程目标所需技术方案的知识,不具备同类工程的经验。

(2)外部认知不完备性是指工程设计和建造主体面对众多的自然、社会、政治等外部环境因素,不知道哪些具体因素会在未来影响工程建设、管理、运营和工程绩效,无法预测影响范围和影响程度。

以上的各种复杂性特征体现在港珠澳大桥的不同子工程中。表1描述了港珠澳大桥几个典型子工程在不同复杂性特征方面的具体表现。

3.1.2 基于复杂性的工程分类

由表1可知,港珠澳大桥工程中不同的子工程在复杂性上有明显的不同。根据重大工程复杂性评价指标体系,结合港珠澳大桥不同子工程的案例,可以将重大工程中的子工程划分为以下4种不同的类型。

第1类子工程不仅关联性较强,而且工程本身在技术上具有很强的创新性,外部环境影响较大,工程的未来状态具有高度不确定性,这类子工程称之为

复杂性工程。港珠澳大桥工程中的岛隧工程是这类工程的典型代表,其涉及到的相关子工程众多,技术方案在未来建造阶段很可能会根据实际情况进行修改,因此具有较强的结构关联性和动态关联性。同时,岛隧工程采取了大量的创新技术,受到多种外界环境影响,因此其内部认知和外部认知均不完备,需要新的信息和知识。

第2类工程在系统界面上较为清晰,并且建造阶段无法再对技术方案进行调整,主要的难点是如何确定技术方案并在建造过程中通过技术创新和恰当的组织管理实现确定的技术指标并保证质量。这类子工程的复杂性主要体现为缺乏技术及管理知识,解决措施是技术和管理创新,因此称之为创新性工程。这类工程的典型代表是港珠澳大桥中的钢结构工程和路面铺装工程。例如,钢结构工程与其他工程的关联关系较为明确,同时由于技术指标清晰,未来进行修改的可能性并不是很大,因此其关联性并不很大;但是,无论在内部认知上还是在外部认知上,钢结构工程都体现出不完备性,工程主体目前拥有的知识有限,需要开展多方面的创新。

表1 港珠澳大桥子工程的复杂性

Table 1 Complexity of Subprojects of the Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

复杂性	岛隧工程	钢结构工程	路面铺装工程	海事工程	交通工程
结构 关联性	涉及沉管工程、公路桥梁工程、隧道工程、水运工程及生态保护工程等,工程界面众多	涉及桥梁工程、路面铺装等工程,包含钢箱梁、钢锚箱等多种钢结构类型	涉及钢箱梁工程、交通工程等其他工程	涉及桥梁主体工程、岛隧工程、人工岛工程等与海事船运有关的工程	包括收费、监控、通信等工程,系统间数据和接口有着标准化的协议
关联 性	各子系统的设计需要根据施工的具体情况进行调整,无法提前“冻结”技术方案,如沉管的设计需要根据浮运、沉降、对接等施工情况进行适当的调整	钢结构的建造生产有明确的设计指标要求,并且该技术指标要求很高	路面铺装的实施必须在技术方案确定后	既需要确定的航线(五定一归口)及明确的规章制度,也需要根据工程实际需求进行灵活的调整	在工程建造的后期,并且有明确的技术指标要求,在技术方案确定后开始施工
内部 认知 不完 备性	采用众多的创新性技术,如深插钢圆筒、半刚性沉管结构、外海沉管安装系统、沉管最终接头等	抗疲劳性要求高,要求熔深不得低于U肋板厚的80%,超过日本规范,工期紧张	需要在国际先进技术的基础上进行必要的创新	海事部门拥有丰富的海事管理经验和技术,双方信息沟通顺畅	各系统采用的均是成熟技术
外部 认知 不完 备性	工程位于伶仃洋海洋环境下,水深浪大,台风频繁,基床泥沙回淤难以预测,严重影响工程工期、经费和质量	国内桥梁钢结构行业总体工装及技术水平较低,产品质量稳定性受人为因素影响大	高温、高湿和高盐环境影响桥面铺装,集料加工市场处于粗放型阶段,无法满足工程要求	政府主管部门高度重视工程建设,海事部门也采取了多种有效措施实施保障	受到台风等天气因素的影响

第3类工程的特点是相关主体已经具备了充分的工程技术知识,也具有丰富的经验应对外界环境的影响,但工程中某一主体的行为会对其他主体的行为产生很大影响,工程的未来状态也存在不确定性。这类工程称之为关联性工程,港珠澳大桥中的海事工程和工程审计是这类工程的典型代表。这类工程表现为认知充分,但结构关联性和动态关联性均较强。

第4类工程是一类简单工程,系统内部关联性不强,整个工程行业也具有丰富的知识和经验,工程的未来状态较为明确。港珠澳大桥中的交通工程、房建工程等均属于这类工程。

图1在复杂性的二维评价空间中描述不同的工程类别及典型代表。

3.2 重大工程组织构建及适应性组织概念

3.2.1 港珠澳大桥组织模式选择及构建

针对以上具有不同复杂性特征的子工程,港珠澳大桥在组织模式选择和设计过程中采取了问题与组织模式相匹配的策略,对于不同类型的子工程选择构建不同的组织模式。根据访谈和相关资料的总结,港珠澳大桥工程中不同子工程所选择的组织模式见表2。

本研究通过访谈和资料整理发现,港珠澳大桥管理局(以下简称大桥管理局)在子工程的组织选择及构建过程中发挥了重要作用。一方面,港珠澳大

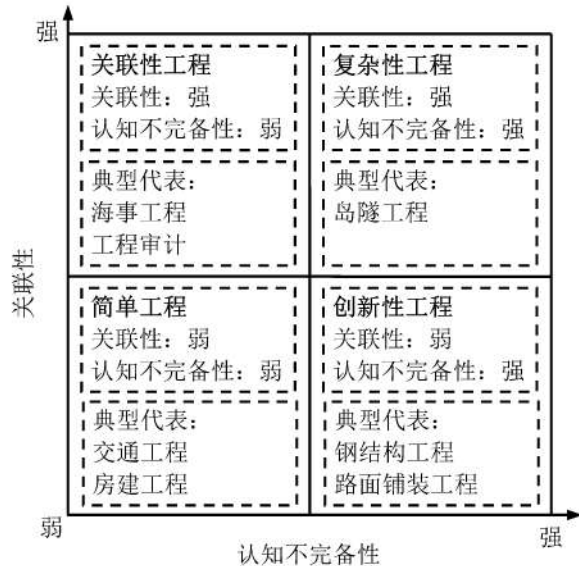


图1 基于复杂性的子工程分类
Figure 1 Types of the Subprojects Based on the Complexity

桥管理局通过招投标将设计建造工作委托给具体的承包方;另一方面,港珠澳大桥管理局作为工程甲方代表行使工程的整体组织管理工作,表现为确保管理的一致性。表3描述了港珠澳大桥管理局在工程组织一致性方面所做的工作。

表2 港珠澳大桥工程中不同子工程与组织模式的匹配
Table 2 Matching between the Subprojects and the Organization Patterns in the Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

子工程	工程类型	主要特点	主要问题	解决策略	组织选择
岛隧工程	复杂性工程	工程结构关联性和动态关联性较强,某个子系统的改变会影响其他子系统随之发生改变,复杂性无法有效降解;工程采用了大量的新技术,并且受到大量外部因素的影响,系统状态发展具有高度不确定性,很难精确预测	技术状态更改频繁,进度超期,经费超支,信息不对称	在关联条件下进行系统整体和全过程的总体协调优化,选择最高水平的承包商,支持创新	设计施工总承包,联合体招投标
钢结构工程、路面铺装工程	创新性工程	工程相对独立,与其他系统具有明确的工程界面,并且在明确的技术指标要求下开展施工;工程技术指标要求较高,超过一般工程要求甚至是最高行业标准,建造难度很大	传统施工方式无法满足技术指标要求,行业建造水平低,质量差	改变传统的现场施工方式,提升行业建造水平,培育行业领军企业,强化质量管理	设计、施工独立,工厂化建造
海事工程、工程审计	关联性工程	工程相关活动与其他工程子系统的关联性极强,其活动结果也会对其他工程子系统的活动产生较大影响;其活动本身是常规性的活动,创新性并不是很强	信息不对称,机会主义行为等	加强沟通,信息透明,严格执行法律法规	协同协作,统一管理
交通工程	简单工程	工程相对独立,接口界面清晰,相互影响较小;多采用成熟技术,外界环境影响小	信息缺失,资源浪费	系统集成,采用BIM信息化方法	设计、施工独立,联合体招投标

表3 港珠澳大桥管理局的组织一致性工作

Table 3 Organization Consistency Works of the Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge Authority

组织一致性内容	组织问题	组织一致性措施
标准一致性	香港、内地和澳门三地设计技术规范要求和设计习惯不完全一致	大桥管理局组织专项研究,综合香港地区及有关国际标准的长处,形成港珠澳大桥专用技术标准体系
资质要求一致性	中国在生产产能、供应保障、合同履行等方面满足港珠澳大桥的市场资源较少	大桥管理局在大桥核心关键环节引入国外优质资源,引进先进技术和工艺,学习新的管理理念。同时,在招投标环节制定了《港珠澳大桥招标管理规划》,对涉及建造单位资质提出统一的高标准要求,并通过公开招标鼓励竞争
管理措施一致性	工程中标单位在国别、所有制性质、所处行业等方面有巨大差异,行为习惯等均不相同	大桥管理局在工程伊始就制定了工程建设项目管理的纲领性文件《港珠澳大桥主体工程项目管理规划》,之后又完成了《港珠澳大桥信息化建设规划》《港珠澳大桥质量管理规划大纲》《港珠澳大桥职业健康、安全、环境保护(HSE)管理规划大纲》,并在投标过程中向投标人发布《港珠澳大桥主体工程项目管理制度》,统一了整个工程在全寿命周期过程中的管理制度和措施
工程文化一致性	工程中标单位对工程的重要性认识不足,仍然从自身的经济视角看待工程建设,与其他单位的合作、协同不足	大桥管理局总结出了“客观科学,不负众望;实事求是,敢于担当;宠辱不惊,奉献至上;理性沟通,合作共赢”的港珠澳大桥精神,统一了所有单位对工程的认识;大桥管理局倡导“基于严格履约基础上的伙伴关系”理念,构建良好的甲乙双方合作伙伴关系,共同承担风险

3.2.2 重大工程适应性组织概念

根据港珠澳大桥组织管理实践,本研究提出重大工程适应性组织的概念,即工程设计和建造相关主体采取不同组织模式应对子工程的不同复杂性问题,避免不确定事件发生或降低不确定事件的影响,在统一控制下实现工程目标的行为。

(1)适应性组织定义说明了即使在同一个工程中,重大工程所采取的组织模式也是多样的。一些子工程采取传统的项目管理模式,如交通工程采取传统的设计施工独立的联合体承包模式。一些子工程采取工程领域较为新颖的组织模式,如岛隧工程采取国家近期推广的设计施工总承包模式;顺应工厂化建造的趋势,钢箱梁工程和路面铺装工程采取工厂化建造的模式。一些子工程根据需要进行组织创新,如在工程建设伊始就引入审计部门,开展持续跟踪审计等。

(2)适应性组织中不同模式的组织形式是为了应对不同类型的复杂性问题。不同类型的复杂性给工程管理带来了不同的问题,需要采取不同的建造行为。而不同的组织模式构建了组织间的不同关系,规定了不同的组织规则,确定了不同的工作顺序,所产生的组织行为也是不同的。因此,在具体的管理过程中,要针对不同的复杂性问题采用不同的组织模式,也就是说,要使复杂性特征与组织模式相匹配,这是重大工程适应性组织的核心。例如,对于复杂性工程的典型代表岛隧工程来说,由于其关联性和认知不确定性均较强,带来技术状态改变频繁、进

度超期、经费超支等问题。对于该问题,需要有效控制变更,并能够从总体上对关联行为进行协调优化,这就需要有一个统一的组织在设计、建造的全寿命周期内承担各环节的具体工作,将关联性纳入统一的管理框架中,并对各项要素进行总体优化。而设计施工总承包模式的优点在于全寿命周期的统一管理和整体优化,因此复杂性工程与设计施工总承包相互匹配,岛隧工程适应于采取设计施工总承包的模式。

(3)工程的复杂性会引发后期阶段的不确定性,复杂性不同,工程未来表现出的不确定性事件也不同,不确定性程度也有所差异。而在不同类型的组织模式下,能够有针对性的避免不确定性事件的发生,即使发生不确定性事件,适当的组织也能够有效降低其带来的影响。例如,设计施工总承包能够通过建造过程的实时监控快速发现最初的设计问题,从而对设计方案进行迅速调整;钢结构工程和路面铺装工程中相关产品的工厂化生产能够有效提高工程建造质量;海事工程中海事部门与工程管理部门的协同协作能够对突发事件进行快速响应;审计部门在工程初期的进入则能够形成良好的监督,规避机会主义行为的产生。

在该过程中,适应性组织的选择和构建是为了实现之前设定的工程目标,因此尽管在组织模式上有所区别,但在组织水平和能力上的要求是一致的,这种一致性具体体现为建造标准的一致性、资质要求的一致性、组织管理思想的一致性和组织文化的

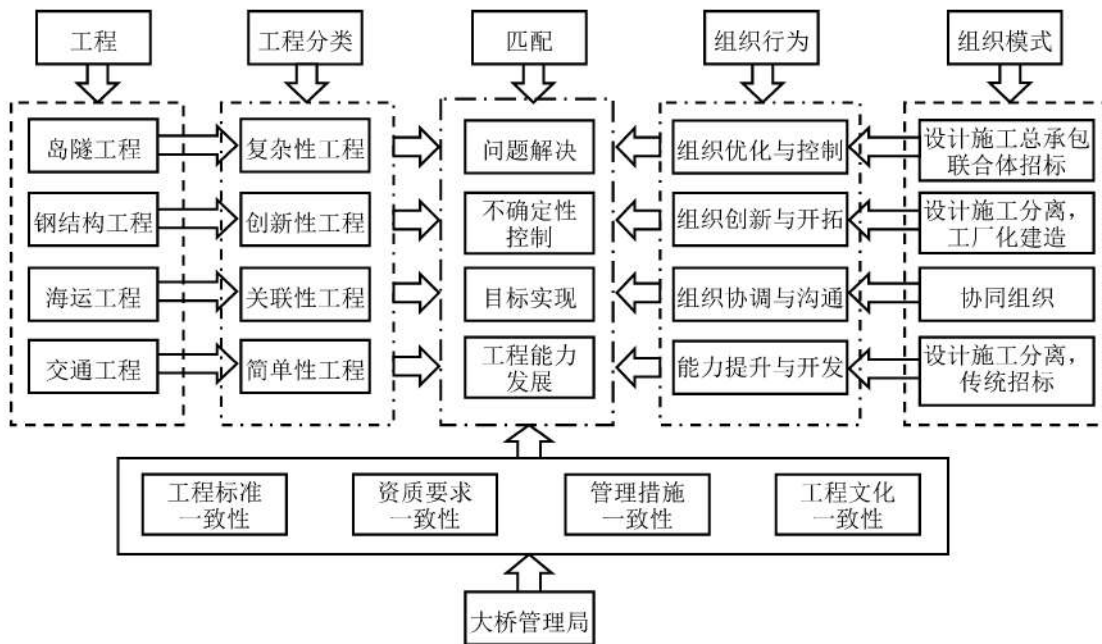


图2 港珠澳大桥工程的适应性组织过程

Figure 2 Adaptive Organization Process of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge Project

一致性。并且,这种组织管理一致性的实现必须依靠一个权威部门的统一规划和实施。在港珠澳大桥工程中,港珠澳大桥管理局发挥了这一重要的职能。因此,重大工程的组织适应过程是一个受控的适应过程。

根据以上概念,可以更清晰地理解港珠澳大桥工程的适应性组织过程。图2描述了在港珠澳大桥管理局的基础管理措施构建及总体控制下,各个具有不同复杂性特征的工程采取不同的组织模式、各自面临的问题与相应组织模式的组织行为和措施相匹配的过程。

4 重大工程适应性组织构建路径

在访谈及资料整理过程中,本研究发现在港珠澳大桥管理局的控制和指挥下,港珠澳大桥工程的整体组织构建遵循着一定的规律和步骤。基于工程实践,本研究总结了重大工程适应性组织的构建路径:在工程控制主体的控制和监督下,工程相关主体按照“组织需求设计和匹配、工程主体创新和构建、组织系统形成和集成、组织职能实现和协同”的路径,形成既多样化、差异化又协调统一的工程组织。该动态过程是工程主体适应技术需求的一个创新性过程,体现了工程主体通过适应性行为形成复杂工程系统的一般规律。本研究收集港珠澳大桥在招投标和组织管理措施等方面的资料,逐条说明适应性组织构建路径中的各个步骤。

4.1 组织需求设计和匹配

重大工程适应性组织构建的首要工作是确定组织目标对象,即确定能够实现工程目标组织要满足什么样的条件,并且在整个行业找到满足条件的

工程单位,该过程称为组织需求设计和匹配。在基础设施建设行业,有众多的建设单位及相关部门,这些组织主体形成了一个范围很广、性质各异、同时很多主体又较为类似的工程主体选择空间。对于一项重大工程,组织构建的首要工作就是要在在这个异质性主体数量众多、同类主体区分较为困难的工程主体空间中,确定具备实现工程目标潜质的工程主体,并吸引其参与到工程中。该过程包括组织需求设计和目标组织匹配两部分内容,是适应性组织过程的起始阶段。

4.1.1 组织需求设计

组织需求设计是指根据工程技术指标,通过全行业的普遍调查,确定工程建设主体及其他相关主体应具备哪些要求的标准制定过程。

在工程建设行业,每个建设单位都有自己的特性,表现在资质、所有制、资金、工程经验、人力资源等方面,这些特性反映了工程主体是否具备参与重大工程的能力。重大工程中,每个子工程不仅在细分领域上是不同的,在复杂性上也是不同的,因此组织构建的第一步就是要确定什么样的组织满足不同子工程建设需要。这就需要设计工程组织目标,制定工程组织评价标准。同时,一些工程相关主体尽管其主要工作不是重大工程项目(如政府相关部门),但其某些职能是重大工程所必须的,因此也需要从工程角度给出明确的组织目标。

4.1.2 目标组织匹配

目标组织匹配是指通过行政、招投标等方式,工程建设单位及相关主体提供组织能力供给,工程控制主体对组织能力供给与子工程组织目标需求相匹配,确定子工程主体的过程。

表4 港珠澳大桥的组织需求设计和匹配

Table 4 Design and Matching of Organization Needs of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

工程	组织需求设计	目标组织匹配
岛隧工程	岛隧工程整体设计施工联合体招标 ①相关工程施工总承包特级资质等; ②安全生产许可证证书; ③近期承担重大工程经验; ④近期承担类似工程经验; ⑤企业注册资金、营业收入、净资产的要求; ⑥ISO9000 系列质量标准认证证书。	中国交通建设股份有限公司联合体作为总牵头人的联合体。 该联合体还包括中交公路规划设计院有限公司等5家国内外企业,涉及设计、施工、咨询等。该联合体满足组织需求设计的所有资质、证书、资金等要求,也承担过国内外多项重大工程及其他岛隧工程,具有丰富的经验和显著的成绩。
钢结构工程	钢箱梁分标段并采取独家形式招标 ①钢结构工程专业承包一级资质; ②企业法人营业执照; ③安全生产许可证; ④ISO9000 等认证证书; ⑤近期类似工程钢结构制造经验; ⑥资本金、营业额等要求; ⑦对自动化设备提出强制资格审查要求。	中铁山桥集团有限公司中标 CBO1 段钢箱梁制造。该公司符合所有组织要求,并且在钢桥梁、钢结构产品方面被誉为中国钢桥的摇篮; 武船重型工程有限公司中标 CBO2 段钢箱梁制造。该公司符合所有组织要求,是中国大型钢结构制造基地和现代化钢制桥梁供应商。 两个单位均承诺建立自动化生产线。
海事工程	①港珠澳大桥跨越的珠江口水域是中国水上运输最繁忙、船舶交通密度最大的水域之一; ②海事机构众多,涉及港、澳、深、广东海事机构,又涉及广州、珠海两个分管辖区,多个港航部门参与; ③建设施工单位众多,正常航运与桥梁建设、沉管浮运安装等工程相互影响,风险大。	交通运输部各级领导高度重视; 海事部门直接打破传统海事行政区划,将分散的港珠澳大桥建设所涉相关海事事权集中收回,经过优化、整合后,再授权广东海事局统一行使。

通过工程主体能力供给与子工程需求间的匹配,可以建立多样化的工程组织关系。该过程的匹配方式主要有3种类型:第1类是行政命令匹配,其匹配方法往往是已经建立好的行政法规,工程控制主体根据相关法规规定,实现工程主体与工程需求间的匹配;第2类是市场匹配,其匹配方法通常是招投标,工程控制主体根据制定好的工程指标要求确定需求,而投标方根据自身的技术和管理水平确定供给;第3类是社会伙伴匹配,其匹配方式通常是产业联盟、产学研联盟等,工程主体根据专业化的知识供给和需求确定关联关系。

表4描述了港珠澳大桥中不同子工程在组织需求设计和组织匹配上的具体做法。

4.2 工程主体创新和构建

在工程实践中,中标单位可以根据以往的经验组建成熟的项目团队承担具体的工程设计和建造任务;某些特殊的情况下,根据工程需要,也可以吸收其他产业的先进经验,借鉴其他地区的先进组织模式,构建创新型的工程主体组织。无论是采取传统组织方式还是创新组织方式,之前通过组织需求设计和匹配确定的仅是负责某项工程的具体单位,但该单位是以公司、研究所等常设组织形式出现的,还需要其在内部构建专门负责该工程的组织。以上过程称之为工程主体创新和构建,该过程是适应性组

织形成组织雏形的阶段。

4.2.1 工程主体创新

工程主体创新是指在传统的工程组织模式无法实现重大工程高标准指标要求的情况下,工程责任单位在现有人员和资源的基础上,采用新的设备,雇佣新的员工,改变工作流程,创建一种完全不同于以往的组织模式的过程。

重大工程复杂性中的认知不完备性说明,经验最为丰富的工程企业可能也不拥有某些子工程所需要的新技术和新知识。这种情况下,以往的经验不能提供有效的借鉴,传统的组织方式也无法满足技术指标要求。因此,对于承担这类子工程的责任单位,必须改变传统的组织模式,开展组织创新,这种组织创新可以表现为不同的层次。首先,是组织模式创新,其组织形式可以是一种全新的组织模式;其次,是引进式的组织创新,这类组织是指引入其他领域或其他国家和地区成熟的组织模式;最后,是局部的组织创新,如基于新工程设备的新工作流程。

4.2.2 工程主体构建

工程主体构建是指获得工程合同或必须承担工程某类任务的组织和机构,根据工程要求、职责规定和合同规定,组建一个在人力、物力和技术知识上能够实现工程任务的组织实体的过程。

组织匹配确定了工程任务的承担单位,但并没

表5 港珠澳大桥的工程主体创新和构建
Table 5 Innovation and Construction of Engineering Agents
of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

工程	组织创新	工程主体构建
岛隧工程	采用中外合作联合模式,中国牵头联合模式引入国外优质资源,如设计上引入国外沉管隧道设计咨询复核团队(AECOM和COWI),在施工中聘请国际知名工程顾问公司Motto MacDonald,引入国外的先进技术及工程管理经验	建立以联合体指挥部为最高决策机构、以港珠澳大桥项目总经理部为项目管理机构、以总体技术组和专家顾问组为专家指导机构,按设计、施工和管理咨询3部分设置不同项目组的工程顶层主体结构
钢结构工程	根据港珠澳大桥管理局机械化、自动化和信息化的制造理念,确定采取板单元工厂流水线制造和总拼厂工厂法制造的方式	中铁山桥集团在山东秦皇岛山海关建立中铁山桥产业园,建成世界第一条板单元自动化生产线 武船重工在武汉建立阳逻制造基地
海事工程	广东海事局设立港珠澳大桥海事处,提供零距离监管、服务和应急响应 设立港珠澳大桥办公室,集中办公,提高行政审批效率 港珠澳大桥成立调度中心,接入海事部门专线	将港珠澳大桥海事处建在一艘装有海事监管平台的“海巡1550”监管船上 交通运输部及广东海事局港珠澳大桥建设水上交通安全监管领导小组办公室均设在广东海事局并合署办公,简称大桥办

有确定具体的承担人。中标公司、机构或相关组织必须根据需求设计和匹配过程中确定的标准,重新组织人力和物力,构建以重大工程为对象的工程主体,承担具体的工程任务。承担单位通常根据其以往的重大工程建设经验构建工程责任主体,由于重大工程具有重要的社会政治意义,这些单位往往会投入经验丰富、能力出众的工程技术和管理人员,并且为了组织发展,也会派遣一些具有潜力的员工参与到工程中。因此,该过程是一种继承性的组织构建,能够在组织形式和组织要素上继承以往的经验 and 优点。

表5描述了港珠澳大桥中不同子工程在工程主体创新和构建上的具体做法。

4.3 组织系统形成和集成

上一步中所构建的工程主体仅仅是工程组织的初始形式,还没有实现工程目标的各种职能部门,也缺少指导工程工作的具体规章制度,因此需要扩展其内部结构,梳理内外部关联关系,形成既有明确系统边界又具有整体性的工程组织系统,该过程本研究称之为组织系统形成和集成。组织系统形成和集成说明了适应性组织系统既具有内生自组织性,也具有外部控制性。前者是指工程相关主体在自身利益的驱动下主动与其他主体产生关联形成组织系统的过程,而后者强调工程控制主体激励或要求工程主体开展交互形成组织系统的过程。该过程是适应性组织形成的核心和关键。

4.3.1 组织系统形成

工程主体形成后,为实现工程目标,工程主体在内部组建各类部门,同时制定工作职责、工作流程、规章制度,各子工程形成边界明确、具有差异性的组

织系统,该过程称之为组织系统形成。

在组织系统形成过程中有两种主要工作。①构建组织内部结构,具体表现为在工程主体内部形成工程必须的各种部门,包括横向上建立各种工程职能部门,如技术、计划、人力资源、风险管理部门等,也包括纵向上通过工程分包等方式形成其他层次的组织。②确定组织内部关联关系,通过制定工作流程和管理规章制度等,详细规定组织内各部门的工程行为及其顺序衔接。通过结构及关联关系的定义,各工程组织系统表现出不同的系统属性和特征,形成不同的系统边界,体现了工程组织适应性的复杂性。在组织系统产生差异性的同时,一致性的工程标准、技术质量要求、管理措施及工程文化等工程基因会在各系统中继承和转播,保持系统整体的统一性。

4.3.2 组织系统集成

在各子工程组织系统形成的基础上,工程总体部门通过接口定义、合作原则确定等方式,开展各子工程组织系统间的系统集成,最终形成一个协调优化的工程整体组织结构,该过程称之为组织系统集成。

组织系统集成有3项重点工作。①各工程组织系统要确定好系统集成接口,要求各工程组织系统的输入输出清晰,并且接口数量较少,衔接关系明确。②各组织系统的连接具有柔性和韧性,要求能够灵活应对各种事件,并且在发生不确定性事件时能够维持之前的接口关系。③在工程总体部门控制下,在不同阶段确定不同的集成重点系统,开展不同层次的系统集成,实现集成的优化协调。组织系统集成是构建“系统的系统”,是组织体系层面的集

表6 港珠澳大桥的组织系统形成和集成
Table 6 Formation and Integration of Organization System
of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

工程	组织系统形成	组织系统集成
岛隧工程	在设计中将桥梁设计、隧道设计、总体设计、人工岛设计和补充地质勘察交于中交规划院、上海隧道院、中交四航院等不同部门;将施工分为4个工区,分别交于中交一、二、三航局、广航局等不同部门。建立工程部、总工办、质检部等部门,制定相应的管理规章制度。	在工程的分系统层面,通过设计总体部、工程部等机构对各规划院和航局的具体设计和施工工作开展集成;在工程整体层面,项目总经理部对设计和施工开展集成,港珠澳大桥管理局开展岛隧工程与其他工程(如海事工程)的集成。
钢结构工程	山桥产业园和阳逻制造基地均建设了现代化的板单元生产线,配备了世界一流的自动化切割焊接设备,配置了经验丰富的技术和管理人员;制定统一的质量标准,精细化的工艺方案、制造规则和管理措施。	在山桥产业园和阳逻制造基地,板单元的流水线制造将所有相关工作集成在一起;在九州航道桥钢塔建造中,通过引入工程质量顾问公司 Motto MacDonald,制定了统一的工艺及质量标准,实现钢结构制造综合创新体系的一致性。
海事工程	制定安全保障方案,开辟临时航道,出台内河船舶参与港珠澳大桥建设施工意见,实施“五定一归口”管理,开展法律、法规培训等。	建立统一的数据服务系统,保证信息共享;统一“零事故、零污染、零伤害”的安全思想;建立协调长效机制,定期召开联合联席会议。

成,在维持差异化的同时实现工程整体组织的统一。

表6描述了港珠澳大桥中不同子工程在组织系统形成和集成上的具体做法。

4.4 组织职能实现和协同

工程系统的功能实现依赖于组织职能的有效发挥。工程组织形成后,就要根据制定的工作任务、工作流程、规章制度等,应用获得的资金、设备、人力等资源开展各项规定工作,发挥组织职能,同时与其他组织系统开展协同工作,实现工程预期目标,该过程称之为适应性组织的职能实现和协同过程。在解决复杂性问题并实现工程预期功能的过程中,不同形式的组织系统发挥着不同的职能。同时,各组织系统通过协作完成具有相关性的工程工作,并且针对突发不确定性事件共同调整工作计划,实现工程状态稳定发展。该过程也是适应性组织的最后阶段。

4.4.1 组织职能实现

工程组织职能实现是指各工程组织系统围绕工程技术指标,按照具体的规章制度和工作流程,通过物资、资金、进度等要素的优化使用,完成工程任务,高效实现工程主体预期功能的过程。

工程组织职能实现有两个层次的内容。第1层次是工程组织系统中各层级的部门遵守相关的管理规章制度,按照工作职责执行具体的工作任务,实现工程系统的基本功能;第2层次是指在工作执行过程中,对工程经费、进度、设备等诸多管理要素进行综合优化,使工程功能实现更为有效。组织职能的有效发挥既依赖于明确的规章制度,也依赖于组织中具体执行各项工作的工程人员的经验和知识。

4.4.2 组织职能协同

组织职能协同是指在工程总体部门的协调下,各子工程的不同组织系统按照系统集成框架中确定

的规范和流程开展合作,并相互配合解决工程中由于各种不确定性事件产生的技术和管理问题,使工程稳定发展,实现重大工程整体功能的过程。

组织职能协同主要包括刚性协同和柔性协同两种类型。刚性协同是指针对某些明确的共同工作,按照已经规定好的相关条款开展合作的主体行为,这些条款主要体现在具体的合作流程和规范中。柔性协同是指针对工程中的不确定性事件,开展灵活的合作,共同承担风险,降低其对工程整体影响的主体行为。在柔性协同中,合作的基础包括半结构化的章程和强调合作的工程文化。

表7描述了港珠澳大桥不同子工程在组织职能实现和协同方面的具体做法。图3描述了重大工程适应性组织过程和港珠澳大桥组织管理实践。

5 结论

本研究通过对港珠澳大桥岛隧工程、海事工程、钢结构工程、路面铺装工程和交通工程等子工程组织管理模式及组织管理过程的调研、访谈,从复杂性视角将重大工程的子工程划分为不同类型,剖析组织模式选择与其复杂性特征的对应关系,提出重大工程适应性组织概念,并总结构建适应性组织的途径。得出以下研究结论。

(1)构建基于关联性和认知不完备性的重大工程复杂性评价指标体系,并将子工程分为复杂性工程、创新性工程、关联性工程和简单工程4种类型。根据文献整理和资料分析,发现重大工程的复杂性主要表现为关联性和认知不完备性。关联性包括结构关联性和动态关联性,认知不完备性包括内部认知不完备性和外部认知不完备性。基于该复杂性评价指标体系,将重大工程的子工程分为不同的类型。

表 7 港珠澳大桥的组织职能实现和协同
Table 7 Realization and Coordination of Organization Functions
of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge

工程	组织职能实现	组织职能协同
岛隧工程	建成两个 10 万平方米的人工岛和长达 6.7 公里的海底沉管隧道, 实现沉管 100% 的水密性, 确保 120 年使用寿命目标	工程各组织系统开展合作解决突发问题, 降低不确定性事件的影响。例如, 在 E24 沉管安装过程中, 发现基床回淤, 海事部门与港珠澳大桥项目总经理部协作调整, 在海洋环境非常恶劣的情况下顺利拖回坞中; 广东省政府全力协调各方利益关系, 停止周边海域采沙等
钢结构工程	通过统一的钢结构制造综合创新体系, 使板单元生产达到国际水平, 保证港珠澳大桥钢产品质量稳定性, 推动行业发展	针对武船重工初期工厂化进程缓慢、信心不足等问题, 港珠澳大桥管理局深入调研寻找原因, 在坚守合同要求的基础上, 协助武船重工改变传统工程理念, 指明其在设备、人员、材料、工艺、组织等方面的问题, 并派驻专业人员赴武船提供具体指导。通过协调, 武船重工的板单元制造在进度和质量上均赶上了中铁山桥, 保证了工程顺利实施
海事工程	保障桥隧主体工程、人工岛及沉管浮运沉放, 实现 800 次大型构建运输及 30 万次施工船舶的安全监管	在广州、深圳、珠海、东莞、中山等海事部门的通力配合下, 实现 11 阶段 40 余次的航道调整 在 E15 沉管无法按计划安装时, 大桥办立刻召开安全保障协调会, 制定各种方案, 海事局紧急协调 10 艘海事警戒船连续作业, 沉管顺利回拖; 在台风、水上安全风险事件发生时, 海事部门、大桥办等迅速开展人员及船舶的救援。



图 3 港珠澳大桥工程适应性组织构建过程

Figure 3 Construction Process of Adaptive Organization of Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge Project

(2) 提出重大工程适应性组织的概念, 揭示了重大工程组织模式适应工程复杂性的机理。本研究发
 现, 港珠澳大桥各子工程组织模式的选择和构建与

子工程的复杂性特征相关, 进而通过案例研究提出
 重大工程适应性组织概念。该概念认为, 重大工程
 中构建的不同组织模式能够有效解决子工程内部的

结构和动态关联性问题,也能够解决内外部的认知不完备性问题,避免不确定事件的发生或降低不确定事件的影响,有助于实现工程目标。并且,通过分析港珠澳大桥管理局在工程标准和管理措施等方面发挥的组织职能,说明重大工程的适应性组织构建是一个受控的适应过程。

(3)总结重大工程适应性组织构建的路径。其中,组织需求设计确定了实现工程目标的组织标准,组织匹配通过招投标等方式初步确定了满足需求的工程单位;工程单位根据需求创新组织模式,整合资源组建具体承担任务的工程主体;工程主体扩展内部结构,梳理关联关系,形成工程组织系统,并开展系统间的组织集成,构建工程整体组织架构;各组织通过组织职能的实现完成各工程任务,并在工程总体的协调下通过职能协同降低不确定性事件的影响。

本研究根据港珠澳大桥组织管理的案例研究,提出重大工程适应性组织的概念,揭示了重大工程组织模式适应工程复杂性的机理,为重大工程组织的进一步深入研究建立了基础,也为重大工程组织实践构建了一个基本的路径框架。然而,研究还有不足之处:①研究资料的整理还需要进一步细化,提高分析过程的客观性,使提出的概念和路径更能反映中国重大工程的管理实践;②本研究是根据港珠澳大桥的单案例开展的,未来将选取其他典型重大工程对提出的概念和路径进行完善和验证。

参考文献:

- [1] SANDERSON J. Risk, uncertainty and governance in mega-projects: a critical discussion of alternative explanations. *International Journal of Project Management*, 2012, 30(4): 432-443.
- [2] BACCARINI D. The concept of project complexity: a review. *International Journal of Project Management*, 1996, 14(4): 201-204.
- [3] SHENHAR A J. One size does not fit all projects: exploring classical contingency domains. *Management Science*, 2001, 47(3): 394-414.
- [4] SHENHAR A J, DVIR D. Toward a typological theory of project management. *Research Policy*, 1996, 25(4): 607-632.
- [5] DAVIES A, MACKENZIE I. Project complexity and systems integration: constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games. *International Journal of Project Management*, 2014, 32(5): 773-790.
- [6] 张莉,王丹. 复杂环境下企业适应性领导行为研究. *管理科学*, 2009, 22(5): 13-23.
ZHANG Li, WANG Dan. Study on the enterprise adaptive leadership behavior in complex environment. *Journal of Management Science*, 2009, 22(5): 13-23. (in Chinese)
- [7] ROLSTADAS A, SCHIEFLOE P M. Modelling project complexity. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2017, 10(2): 295-314.
- [8] DILLON R L, PATÉ-CORNELL M E, GUIKEMA S D. Programmatic risk analysis for critical engineering systems under tight resource constraints. *Operations Research*, 2003, 51(3): 354-370.
- [9] BRADY T, DAVIES A. Managing structural and dynamic complexity: a tale of two projects. *Project Management Journal*, 2014, 45(4): 21-38.
- [10] PICH M T, LOCH C H, MEYER A D. On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management Science*, 2002, 48(8): 1008-1023.
- [11] SOLAK S, CLARKE J P B, JOHNSON E L, et al. Optimization of R&D project portfolios under endogenous uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 2010, 207(1): 420-433.
- [12] PENNING S J M. Structural contingency theory: a multivariate test. *Organization Studies*, 1987, 8(3): 223-240.
- [13] DAMANPOUR F. Organizational innovation: a meta-analysis of effects of determinants and moderators. *The Academy of Management Journal*, 1991, 34(3): 555-590.
- [14] TEECE D J, PISANO G, SHUEN A. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 1997, 18(7): 509-533.
- [15] SIRMON D G, HITT M A, Ireland R D. Managing firm resources in dynamic environments to create value: looking inside the black box. *Academy of Management Review*, 2007, 32(1): 273-292.
- [16] TEECE D J. Alfred Chandler and "capabilities" theories of strategy and management. *Industrial and Corporate Change*, 2010, 19(2): 297-316.
- [17] EISENHARDT K M, FURR N R, BINGHAM C B. CROSSROADS-microfoundations of performance: balancing efficiency and flexibility in dynamic environments. *Organization Science*, 2010, 21(6): 1263-1273.
- [18] HELFAT C E, PETERAF M A. The dynamic resource-based view: capability lifecycles. *Strategic Management Journal*, 2003, 24(10): 997-1010.
- [19] 池毛毛,赵晶,李延晖,等. 合作电子商务价值创造的实证研究:情景二元理论. *管理科学*, 2017, 30(4): 97-110.
CHI Maomao, ZHAO Jing, LI Yanhui, et al. E-business value creation under inter-firm cooperation environment: based on the contextual ambidexterity. *Journal of Management Science*, 2017, 30(4): 97-110. (in Chinese)
- [20] O'REILLY C A, TUSHMAN M L. Organizational ambidexterity: past, present, and future. *Academy of Management Perspectives*, 2013, 27(4): 324-338.
- [21] PELLEGRINELLI S, MURRAY-WEBSTER R, TURNER N. Facilitating organizational ambidexterity through the complementary use of projects and programs. *International Journal of Project Management*, 2015, 33(1): 153-164.
- [22] SHENHAR A J, TISHLER A, DVIR D, et al. Refining the search for project success factors: a multivariate, typological approach. *R&D Management*, 2002, 32(2): 111-126.
- [23] DAVIES A, DODGSON M, GANN D. Dynamic capabilities in complex projects: the case of London Heathrow Terminal 5. *Project Management Journal*, 2016, 47(2): 26-46.
- [24] GIEZEN M. Adaptive and strategic capacity: navigating mega-projects through uncertainty and complexity. *Environment*

- and Planning B: Planning and Design, 2013, 40(4): 723–741.
- [25] SAYNISCHE M. Mastering complexity and changes in projects, economy, and society via project management second order (PM-2). *Project Management Journal*, 2010, 41(5): 4–20.
- [26] MORRIS P. Reconstructing project management revisited: a knowledge perspective. *Project Management Journal*, 2013, 44(5): 6–23.
- [27] MCKELVEY B. Energising order-creating networks of distributed intelligence: improving the corporate brain. *International Journal of Innovation Management*, 2001, 5(2): 181–212.
- [28] MIHM J, LOCH C H, WILKINSON D M, et al. Hierarchical structure and search in complex organizations. *Management Science*, 2010, 56(5): 831–848.
- [29] 麦强, 王宁, 安实. 均衡和绩效: 重大航天工程总体部方案设计. *系统管理学报*, 2018, 27(1): 93–100.
MAI Qiang, WANG Ning, AN Shi. Equilibrium and performance: innovative organization design in major aerospace engineering through establishment of the general department. *Journal of System & Management*, 2018, 27(1): 93–100. (in Chinese)
- [30] MILLIKEN F J. Three types of perceived uncertainty about the environment: state, effect, and response uncertainty. *Academy of Management Review*, 1987, 12(1): 133–143.
- [31] WILLIAMS T, EDEN C, ACKERMANN F, et al. The effects of design changes and delays on project costs. *Journal of the Operational Research Society*, 1995, 46(7): 809–818.
- [32] TURNER J R, COCHRANE R A. Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of Project Management*, 1993, 11(2): 93–102.
- [33] ALLEN P M. What is complexity science? Knowledge of the limits to knowledge. *Emergence*, 2001, 3(1): 24–42.
- [34] WILLIAMS T M. The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 1999, 17(5): 269–273.
- [35] DIEHL E, STERMAN J D. Effects of feedback complexity on dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1995, 62(2): 198–215.
- [36] GERALDI J, MAYLOR H, WILLIAMS T. Now, let's make it really complex (complicated): a systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations & Production Management*, 2011, 31(9): 966–990.
- [37] LATRUBESSE E M, ARIMA E Y, DUNNE T, et al. Daming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 2017, 546(7658): 363–369.
- [38] BOSCH-REKVELDT M, JONGKIND Y, MOOI H, et al. Grasping project complexity in large engineering projects: the TOE (technical, organizational and environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 2011, 29(6): 728–739.
- [39] HENISZ W J, LEVITT R E, SCOTT W R. Toward a unified theory of project governance: economic, sociological and psychological supports for relational contracting. *Engineering Project Organization Journal*, 2012, 2(1/2): 37–55.
- [40] SOMMER S C, LOCH C H. Selectionism and learning in projects with complexity and unforeseeable uncertainty. *Management Science*, 2004, 50(10): 1334–1347.
- [41] SHENG Z H. *Fundamental theories of mega infrastructure construction management: theoretical considerations from Chinese practices*. Springer International Publishing, 2018: 118–123.
- [42] SIGGELKOW N, RIVKIN J W. Speed and search: designing organizations for turbulence and complexity. *Organization Science*, 2005, 16(2): 101–122.
- [43] 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. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2005, 52(3): 382–395.
- [44] JOHNSON S B. Systems integration and the social solution of technical problems in complex systems // PRENCIPE A, DAVIES A, HOBDAI M. *The Business of Systems Integration*. Oxford: Oxford University Press, 2003: 35–55.
- [45] DAVIES A, GANN D M, DOUGLAS T. Innovation in mega-projects: systems integration at London Heathrow Terminal 5. *California Management Review*, 2009, 51(2): 101–125.
- [46] THOMAS G. A typology for the case study in social science following a review of definition, discourse, and structure. *Qualitative Inquiry*, 2011, 17(6): 511–521.
- [47] FLYVBJERG B. Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 2006, 12(2): 219–245.

Complexity and Adaptive Organization of Mega Project: The Case of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

MAI Qiang¹, AN Shi¹, LIN Han², GAO Xinglin³

1 School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China

2 School of Information Engineering, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China

3 Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Authority, Zhuhai 519015, China

Abstract: Mega projects are usually composed of multitudinous heterogeneous subprojects with difference in technical difficulty,

system interdependency, and uncertainties and these subprojects often adopt distinct organization patterns. Traditional contingency theory asserts that different external conditions require different organization pattern, and the effectiveness of the organization depends upon the fitness between organization and environmental uncertainty. However, in mega projects, the uncertainty stems from not only the complexity of its environment but also the complexity of the subprojects themselves, and the selection and construction of the organization may be associated with the complexity of the subprojects. Therefore, it is necessary to rethink the organizational diversity in mega projects from the perspective of complexity.

Based on a systemic review of relevant research on complexity and the organizational adaptability of mega projects, this paper focuses on the organization of the island tunnel subproject, the steel structure subproject, the pavement subproject, and the marine sub-engineering in the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge project. Using face to face interview engaged scholarship, and archive files, this paper classifies the subsystems from the perspective of complexity, defines the concept of adaptive organization of mega projects which explicates the phenomenon of organization diversification, and summarizes the construction steps of the adaptive organization.

The paper establishes the evaluation index system for the complexity of subprojects on account of the interdependency and cognitive incompleteness about engineering technology solutions and external environment, according to which subprojects can be divided into four types: complex subproject, innovative subproject, interdependent subproject, and simple subproject. The paper also presents the concept of the adaptive organization of mega projects referring to a dynamic process in which the agents responsible for the design and construction adopt or establish different organization patterns according to the different complexity characters of the subprojects to prevent the uncertain events or reduce their impacts, and take adaptable methods to realize the goals of the project under the control of one main agent. Furthermore, the paper puts forward the concrete steps of constructing adaptive organization for the mega projects that include the designing and matching of organization needs, the innovation and construction of engineering agents, the formation and integration of organization system, and the realization and coordination of organization functions.

This research aims to define the adaptive organization of mega projects, reveal the mechanisms and dynamic processes of selection and construction of organization patterns, clarify the relationship between the complexity and the organization of mega projects, and guide the organization construction for other mega projects. Due to the limitation of the single case study, it is necessary to further verify the findings in other mega projects.

Keywords: mega project; complexity; adaptive organization; the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge; interdependency; cognitive incompleteness

Received Date: October 3rd, 2017 **Accepted Date:** April 8th, 2018

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(71571057,71390522,71771125)

Biography: MAI Qiang, doctor in management, is an associate professor in the School of Management at Harbin Institute of Technology. His research interests include system engineering and management of mega project. His representative paper titled "Equilibrium and performance: innovative organization design in major aerospace engineering through establishment of the general department" was published in the *Journal of Systems and Management*(Issue 1, 2018). E-mail: maiqiang@hit.edu.cn

AN Shi, doctor in management, is a professor in the School of Management at Harbin Institute of Technology. His research interest focuese on system engineering. His representative paper titled "Location planning for transit-based evacuation under the risk of service disruptions" was published in the *Transportation Research Part B: Methodological* (Volume 54, 2013). E-mail: anshi@hit.edu.cn

LIN Han, doctor in management, is an associate research fellow in the School of Information Engineering at Nanjing Audit University. His research interest focuese on management of mega project. E-mail: linhan@nau.edu.cn

GAO Xinglin, professorate senior engineer, is an assistant director of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Authority and minister of planning contract department. His research work include the planning and tendering management of mega project. E-mail: gxl@hzmbo.com □