

# 工程项目组织协同合作行为演化规律研究

杨煜,陈艳,张涵鑫

(青岛理工大学管理工程学院,山东青岛266520)

**摘要:**以装配式建筑项目为例,探讨工程项目组织协同行为发生机制及其演化规律问题。通过运用演化博弈理论构建装配式建筑项目三方协同演化博弈模型,分析装配式建筑项目各参建组织行为的动态演化过程。结果表明,系统的演化稳定策略取决于各组织的初始状态及相互关联的利益关系;在装配式建筑项目组织协同框架下构建预制单位策略选择的影响力最大,设计单位次之,施工单位的影响力最小,各组织之间应自发形成由构件预制单位主导的自组织协同模式。基于上述研究,自组织协同模式中的主导单位应从加强组织间信息沟通、协调组织间工作流程、优化组织间相互作用关系三个方面对工程项目组织进行引导与协调。

**关键词:**组织协同;装配式建筑;演化博弈;MATLAB仿真

**中图分类号:** C936 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7192(2022)01-0076-09

## 一、引言

根据国家统计局2018年度国民经济数据,国内生产总值为900309亿元,其中全国建筑业占26.11%,总产值为235086亿元<sup>[1]</sup>。但近年来,工程项目管理越来越呈现风险复杂化与扩大化的趋势,工程建设中的问题也不断涌现<sup>[2]</sup>,其中67%的问题都与工程项目组织有关<sup>[3]40-43</sup>,工程项目组织面临着亟需拓展风险应对方式的挑战。

工程项目是一个临时性的异质性组织<sup>[4]</sup>,而这个组织中又包含多个临时性子组织<sup>[5]</sup>。正是由于其临时性质<sup>[6]</sup>,使得工程项目一般由来自不同组织的成员共同实施<sup>[7]</sup>。但由于各参建组织共同缔约的工程项目合同的不完备性及施工过程中的信息不对称<sup>[8]</sup>,导致工程项目合约管理机制下的风险应对措施部分失效。由此,各方学者开始反思工程项目组织的风险管控问题,发现项目层面的理论研究虽然能够对工程项目整体目标进行有效管控,但组织层面上的机制设计相对缺失,常导致各参与组织的行为无法得到有效落实,相关研究<sup>[9-11]</sup>已逐步从项目层面向组织层面转变。

装配式建筑作为建筑业发展最重要的里程碑之一,以现代工业化的生产方式替代传统劳动密集

型的生产方式,从根本上解决一直以来建筑项目建造过程中存在的质量、效益、节能、环保等一系列重大问题。装配式建筑项目的典型特点是在一段时期内,有几个独立的、不同的组织(如设计单位、构件部品预制单位、施工单位以及监理单位等多个子组织)共同参与,形成了一个临时的、多组织的工程项目组织管理模式<sup>[9]</sup>。工程项目各组织均在建设单位的统筹管理下具体实施设计、采购、装配等工作,并在实现项目整体目标的基础上,完成各自的建设目标。

这对装配式建筑项目的子组织提出了高度的协同要求。装配式建筑项目活动是各临时性子组织对信息、人力、物力、资金等各种要素在各个工作环节上进行不断集成与整合的过程<sup>[12]</sup>。然而,集成与整合工程项目子组织绝非易事,必须努力克服在工程项目实施过程中的组织间沟通交流、工作配合、关系耦合、制度文化融合等方面的困难和壁垒<sup>[9]</sup>。因此,建立并保持各子组织之间良性的协同合作关系是工程项目组织管理面临的重要挑战。

纵观装配式建筑与传统工程项目发现,装配式建筑在项目过程中增加了深化,参与主体多元化协同难度较大<sup>[13]</sup>,主要表现在装配式建筑利益相关者协同界面增多,合作机制与整合机制不完善,协同

收稿日期:2021-08-27

作者简介:杨煜(1996-),女,青岛理工大学管理工程学院硕士研究生,研究方向为工程项目管理;陈艳(1975-),女,青岛理工大学管理工程学院教授,研究方向为工程项目管理。E-mail:1033279916@qq.com

合作效率较低。已有的工程项目协同研究多聚焦于某一阶段的组织、信息或资源协同,对于多阶段、多主体的装配式建筑项目并不适用。如何实现各子组织间的高效协同,突破子组织间存在的信息流壁垒、 workflow 壁垒、相互作用壁垒等壁垒问题成为工程项目组织管理领域亟须解决的问题。

基于此,本文以装配式建筑项目为例,分析工程项目组织协同效应内在机理及工程项目组织间协同行为的发生机制和演化博弈动态过程,为实现高效的工程项目组织间协同提供理论参考。

## 二、工程项目组织管理模式识别和博弈行为分析

通过对山东地区比较有代表性的装配式建筑项目——万科翡翠之光的工程项目组织管理模式进行实地调研,可以大致识别出目前装配式建筑项目的组织管理模式以及参建组织关系(图1)。

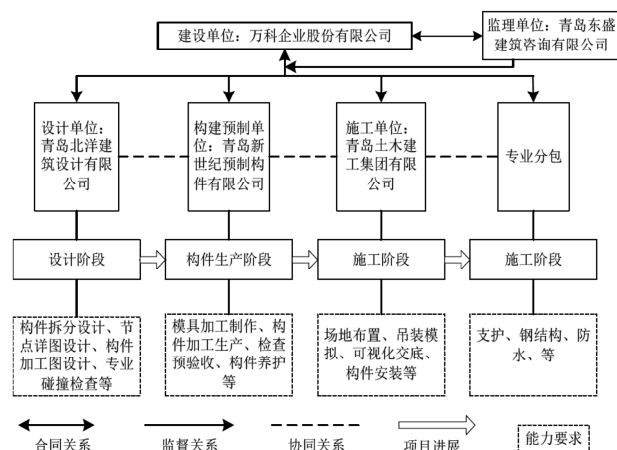


图1 装配式建筑项目组织管理模式

装配式建筑项目是一个由多个利益主体构成的多级委托代理的动态组织(图2)。由上述装配式建筑项目组织关系图可见,建设单位统筹管理各单位(组织)实现项目整体目标,设计单位、构件预制单位、施工单位等组织为装配式建筑项目的主要参建组织。但装配式建筑项目的各组织都是独立的组织(单位),相互之间不存在行政隶属关系。各组织也都有独特的、来自不同价值逻辑的利益、目的和动机,以及更复杂的决策行为<sup>[14]</sup>。在装配式建筑项目施工过程中各组织为实现各自的目标采取利己主义行为的现象屡见不鲜。在装配式建筑项目各组织共同实现项目整体目标的过程中,各组织的协同合作行为与现实存在的利己主

义行为相悖。因此,揭示工程项目组织协同合作产生与演化的潜在驱动机理,引导各参建组织形成自组织的协同模式是工程项目组织协同研究的核心问题。

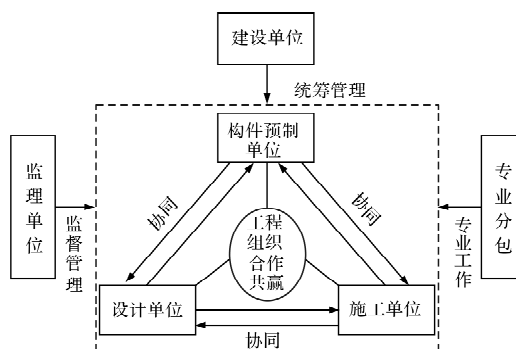


图2 装配式建筑项目组织关系

装配式建筑项目参建组织作为有限理性的博弈主体,在面临协同行为博弈决策时,往往无法直接选择最优策略,通常是根据实际情况来不断尝试和修正自己的策略。而任何一方的策略行动选择都会对其他组织的效益产生影响,使得各组织之间存在着既复杂又微妙的博弈关系。由于装配式建筑项目组织的策略选择是多重动态的渐进式模拟、效仿的过程,因此可以借鉴非对称性“演化博弈”的进化博弈框架<sup>[15]</sup>,分析装配式建筑项目组织间的内在相互影响机理及组织间协同行为的演化稳定策略 ESS(evolutionary stable strategy)。

## 三、装配式建筑项目三方协同演化博弈模型

### 1. 演化博弈模型假设和构建

由于装配式建筑项目的复杂性,在装配式建筑项目实施过程中的任何阶段均需要各组织协同合作。根据装配式建筑项目组织管理模式分析,装配式建筑项目实施阶段参建组织可以简化为一个如图3的“设计单位—构件预制单位—施工单位”三方博弈模型。设计单位、构件预制单位、施工单位可为长期合作所产生的增额收益而参与组织间协同。例如,参与协同组织形成长久的合作关系,使得协调成本、交易成本的降低,以及深化协同合作所带来的更多工程建设项目收益,但各单位将会付出相应参与协同成本,如前期协同机制制定与推广成本、信息平台的建设成本等。部分单位也可能会因短期利益动机,而不参与组织间协同,此时仅获

得基础收益。作为装配式建筑项目参建组织(设计单位、构件预制单位、施工单位)的协同行为策略空间为“参与协同,不参与协同”,其对应的博弈模型组合如表1所示。模型主要变量表及其含义如表2所示。假设在 $t$ 时刻,设计单位参与协同策略的比例为 $x(t)$ ,构件预制单位参与协同策略的比例为 $y(t)$ ,施工单位参与协同策略的比例为 $z(t)$ ,其中 $x \in [0, 1], y \in [0, 1], z \in [0, 1]$ 。

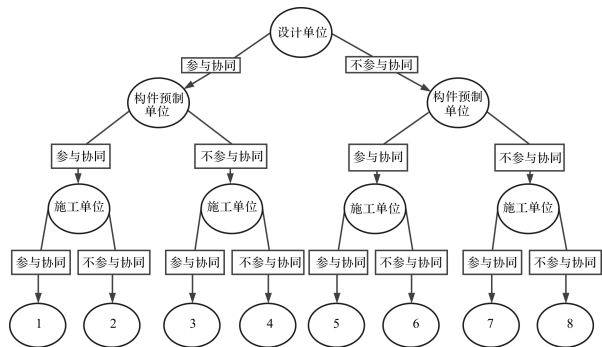


图3 三方博弈模型

表1 设计单位-构件预制单位-施工单位  
三方博弈策略组合

策略组合	设计单位	构件预制单位	施工单位
1	参与协同	参与协同	参与协同
2	参与协同	参与协同	不参与协同
3	参与协同	不参与协同	参与协同
4	参与协同	不参与协同	不参与协同
5	不参与协同	参与协同	参与协同
6	不参与协同	参与协同	不参与协同
7	不参与协同	不参与协同	参与协同
8	不参与协同	不参与协同	不参与协同

表2 模型主要变量及其含义

符号	含义
$x(t)$	设计单位参与协同策略的比例, $x \in [0, 1]$
$y(t)$	构件预制单位参与协同策略的比例, $y \in [0, 1]$
$z(t)$	施工单位参与协同策略的比例, $z \in [0, 1]$
$N_e$	设计单位不参与组织间协同行动时获得的效益
$N_p$	构件预制单位不参与组织间协同行动时获得的效益
$N_c$	施工单位不参与组织间协同行动时获得的效益
$R_e$	设计单位参与两方协同行动时获得的增额效益
$R_p$	构件预制单位参与两方协同行动时获得的增额效益
$R_c$	施工单位参与两方协同行动时获得的增额效益
$C_e$	设计单位参与组织间协同行动时支付的成本
$C_p$	构件预制单位参与组织间协同行动时支付的成本
$C_c$	施工单位参与组织间协同行动时支付的成本
$Z_e$	三方协同时,设计单位获得的增额效益
$Z_p$	三方协同时,构件预制单位获得的增额效益
$Z_c$	三方协同时,施工单位获得的增额效益

当设计单位、构件预制单位、施工单位采取不

同的策略时,收益对应的支付矩阵如表3所示。

表3 演化博弈收益支付矩阵

策略组合	设计单位	构件预制单位	施工单位
1	$N_e + R_e + Z_e - C_e$	$N_p + R_p + Z_p - C_p$	$N_c + R_c + Z_c - C_c$
2	$N_e + R_e - C_e$	$N_p + R_p - C_p$	$N_c$
3	$N_e + R_e - C_e$	$N_p$	$N_c + R_c - C_c$
4	$N_e + R_e - C_e$	$N_p$	$N_c$
5	$N_e$	$N_p + R_p - C_p$	$N_c + R_c - C_c$
6	$N_e$	$N_p + R_p - C_p$	$N_c$
7	$N_e$	$N_p$	$N_c + R_c - C_c$
8	$N_e$	$N_p$	$N_c$

## 2. 演化博弈模型分析

基于上述假设,选择不同策略时对应的期望收益以及平均期望收益可由表3计算得知。对于设计单位来说,参与协同策略、不参与协同策略的期望收益及平均期望收益为:

$$E_{e1} = yz(N_e + R_e + Z_e - C_e) + y(1-z)(N_e + R_e - C_e) + (1-y)z(N_e + R_e - C_e) + (1-y)(1-z)(N_e + R_e - C_e) \quad (1)$$

$$E_{e2} = yz(N_e) + y(1-z)(N_e) + (1-y)z(N_e) + (1-y)(1-z)(N_e) \quad (2)$$

$$E_e = xE_{e1} + (1-x)E_{e2} \quad (3)$$

复制动态是有限理性博弈方动态地对优势策略的模仿、调整的一种描述,其具体表现为,某种策略的平均期望收益越高,对该策略模仿和学习次数就越多。假设某一时刻设计单位采取参与协同策略的概率为 $x$ ,根据演化博弈理论,设计单位下一时刻选择参与协同策略的变化率与现在时刻的参与协同策略概率、参与协同策略平均期望收益的差值成正比。根据 Malthusian 方程及式(1)、式(2)、式(3)可得,设计单位采取参与协同策略的复制动态方程式:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{e1} - E_e) = x(1-x)(R_e - C_e + yzZ_e) \quad (4)$$

同理可得,构件预制单位和施工单位的复制动态方程分别为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{p1} - E_p) = y(1-y)(R_p - C_p + xzZ_p) \quad (5)$$

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(E_{c1} - E_c) = z(1-z)(R_c - C_c + xyZ_c) \quad (6)$$

### 3. 演化过程的平衡点及稳定性分析

复制动态的进化稳定策略对应数学中动态系统的具有稳定性的稳定状态,可以用复制动态微分方程对各组织的演化稳定策略进行分析。分析式(4)的平衡点可得设计单位演化稳定策略:

(1) 当  $y = \frac{C_e - R_e}{zZ_e}$  时,  $F(x) = \frac{dx}{dt} = 0$ , 在此条件下,

$x$  的任何取值都将使博弈达到稳定状态。

(2) 当  $y > \frac{C_e - R_e}{zZ_e}$  时, 令  $F(x) = \frac{dx}{dt} = 0, x = 0, x$

$= 1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$ , 故  $x = 1$  是平衡点。在此条件下, 设计单位选择参与协同是演化均衡策略。

(3) 当  $y < \frac{C_e - R_e}{zZ_e}$  时, 令  $F(x) = \frac{dx}{dt} = 0, x = 0, x$

$= 1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0$ , 故  $x = 0$  是平衡点。在此条件下, 设计单位选择不参与协同是演化均衡策略。

分析式(5)的平衡点可得构件预制单位演化稳定策略:

(1) 当  $z = \frac{C_p - R_p}{xZ_p}$  时,  $F(y) = \frac{dy}{dt} = 0$ , 在此条件下,

$y$  的任何取值都将使博弈达到稳定状态。

(2) 当  $z > \frac{C_p - R_p}{xZ_p}$  时, 令  $F(y) = \frac{dy}{dt} = 0, y = 0, y$

$= 1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0$ , 故  $y = 1$  是平衡点。在此条件下, 构件预制单位选择参与协同是演化均衡策略。

(3) 当  $z < \frac{C_p - R_p}{xZ_p}$  时, 令  $F(y) = \frac{dy}{dt} = 0, y = 0, y$

$= 1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0$ , 故是平衡点。在此条件下, 构件预制单位选择不参与协同是演化均衡策略。

分析式(6)的平衡点可得施工单位演化稳定策略:

(1) 当  $x = \frac{C_e - R_e}{yZ_e}$  时,  $F(z) = \frac{dz}{dt} = 0$ , 在此条件下,

$z$  的任何取值都将使博弈达到稳定状态。

(2) 当  $x > \frac{C_e - R_e}{yZ_e}$  时, 令  $F(z) = \frac{dz}{dt} = 0, z = 0, z =$

$1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0$ , 故  $z = 1$  是平衡点。在此条件下, 施工单位选择参与协同是演化均衡策略。

(3) 当  $x < \frac{C_e - R_e}{yZ_e}$  时, 令  $F(z) = \frac{dz}{dt} = 0, z = 0, z =$

$1$  是两种稳定状态, 此时,  $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} > 0$ , 故  $z = 0$  是平衡点。在此条件下, 施工单位选择参与协同是演化均衡策略。基于上述平衡点分析结果, 建立  $x, y, z$  的联立方程组:

$$\begin{cases} x = \frac{C_e - R_e}{yZ_e} \\ y = \frac{C_e - R_e}{zZ_e} \\ z = \frac{C_p - R_p}{xZ_p} \end{cases} \quad (7)$$

通过赋予  $x, y, z$  不同的值, 得到动态复制系统的平衡点。

$$\begin{cases} a = x = \sqrt{\frac{C_e - R_e}{(C_e - R_e)(C_p - R_p)Z_eZ_eZ_p}} \\ b = y = \sqrt{\frac{C_e - R_e}{(C_e - R_e)(C_p - R_p)Z_eZ_eZ_p}} \\ c = z = \sqrt{\frac{C_p - R_p}{(C_e - R_e)(C_e - R_e)Z_eZ_eZ_p}} \end{cases} \quad (8)$$

可得动态复制系统的9个平衡点(表4)。

表4 动态复制系统的平衡点

条件	$x$ 取值	$y$ 取值	$z$ 取值	平衡点 E
1	$x = a$	$y = b$	$z = c$	$(a, b, c)$
2	$x > a$	$y > b$	$z > c$	$(1, 1, 1)$
3	$x > a$	$y > b$	$z < c$	$(1, 1, 0)$
4	$x > a$	$y < b$	$z > c$	$(0, 1, 1)$
5	$x > a$	$y < b$	$z < c$	$(0, 1, 0)$
6	$x < a$	$y > b$	$z > c$	$(1, 0, 1)$
7	$x < a$	$y > b$	$z < c$	$(1, 0, 0)$
8	$x < a$	$y < b$	$z > c$	$(0, 0, 1)$
9	$x < a$	$y < b$	$z < c$	$(0, 0, 0)$

依据 Friedman 的演化博弈研究路径, 动态系统

的演化稳定策略(ESS)可由该系统 Jacobi 矩阵的局部稳定性分析得到。分别对  $F(x)$ 、 $F(y)$ 、 $F(z)$

求关于  $x$ 、 $y$ 、 $z$  的偏导数,由式(2)~式(4)构成方程组的 Jacobi 矩阵为:

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)(R_e - C_e + yzZ_e) & (x-x^2)(R_e - C_e + zZ_e) & (x-x^2)(R_e - C_e + yZ_e) \\ (y-y^2)(R_p - C_p + zZ_p) & (1-2y)(R_p - C_p + xzZ_p) & (y-y^2)(R_p - C_p + xZ_p) \\ (z-z^2)(R_c - C_c + yZ_c) & (z-z^2)(R_c - C_c + xZ_c) & (1-2z)(R_c - C_c + xyZ_c) \end{pmatrix} \quad (9)$$

则 Jacobi 矩阵的迹  $TrJ$  与行列式  $\det J$  为:

$$TrJ = (1-2x)(R_e - C_e + yzZ_e) + (1-2y)(R_p - C_p + xzZ_p) + (1-2z)(R_c - C_c + xyZ_c) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \det J = & (1-2x)(R_e - C_e + yzZ_e)(1-2y)(R_p - C_p + xzZ_p)(1-2z)(R_c - C_c + xyZ_c) + \\ & (x-x^2)(R_e - C_e + zZ_e)(y-y^2)(R_p - C_p + xZ_p)(z-z^2)(R_c - C_c + yZ_c) + \\ & (x-x^2)(R_e - C_e + yZ_e)(y-y^2)(R_p - C_p + zZ_p)(z-z^2)(R_c - C_c + xZ_c) - \\ & (x-x^2)(R_e - C_e + yZ_e)(1-2y)(R_p - C_p + xzZ_p)(z-z^2)(R_c - C_c + yZ_c) - \\ & (x-x^2)(R_e - C_e + zZ_e)(y-y^2)(R_p - C_p + zZ_p)(1-2z)(R_c - C_c + xyZ_c) - \\ & (1-2x)(R_e - C_e + yzZ_e)(y-y^2)(R_p - C_p + xZ_p)(z-z^2)(R_c - C_c + xZ_c) \end{aligned} \quad (11)$$

通过检验 Jacobi 矩阵的行列式  $\det J$  与迹  $TrJ$  的判定结果如表 5 所示。  
正负值可判定平衡点是否为演化稳定策略。具体

表 5 平衡点局部稳定性分析

平衡点	$\det J$ 与 $TrJ$ 的表达式	结论
	$TrJ = 0$	
$E_1 = (a, b, c)$	$\det J = (x-x^2)(y-y^2)(z-z^2)(R_e - C_e + Z_e)(R_p - C_p + Z_p)(R_c - C_c + Z_c)$	$\det J > 0, TrJ = 0$ $E_2$ 为中心点
$E_2 = (1, 1, 1)$	$TrJ = -(R_e - C_e + Z_e) - (R_p - C_p + Z_p) - (R_c - C_c + Z_c)$ $\det J = -(R_e - C_e + Z_e)(R_p - C_p + Z_p)(R_c - C_c + Z_c)$	$\det J > 0, TrJ < 0$ $E_2$ 为稳定演化策略(ESS)
$E_3 = (1, 1, 0)$	$TrJ = -(R_e - C_e) - (R_p - C_p) + (R_c - C_c + Z_c)$ $\det J = (R_e - C_e)(R_p - C_p)(R_c - C_c + Z_c)$	$\det J < 0, TrJ$ 不确定 $E_3$ 为鞍点
$E_4 = (1, 0, 1)$	$TrJ = -(R_e - C_e) + (R_p - C_p + Z_p) - (R_c - C_c)$ $\det J = (R_e - C_e)(R_p - C_p + Z_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ < 0$ $E_4$ 为鞍点
$E_5 = (1, 0, 0)$	$TrJ = -(R_e - C_e) + (R_p - C_p) + (R_c - C_c)$ $\det J = -(R_e - C_e)(R_p - C_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ < 0$ $E_5$ 为鞍点
$E_6 = (0, 1, 1)$	$TrJ = (R_e - C_e + Z_e) - (R_p - C_p) - (R_c - C_c)$ $\det J = (R_e - C_e + Z_e)(R_p - C_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ < 0$ $E_6$ 为鞍点
$E_7 = (0, 1, 0)$	$TrJ = (R_e - C_e) - (R_p - C_p + Z_p) + (R_c - C_c)$ $\det J = -(R_e - C_e)(R_p - C_p + Z_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ$ 不确定 $E_7$ 为鞍点
$E_8 = (0, 0, 1)$	$TrJ = (R_e - C_e) + (R_p - C_p) - (R_c - C_c)$ $\det J = -(R_e - C_e)(R_p - C_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ$ 不确定 $E_8$ 为鞍点
$E_9 = (0, 0, 0)$	$TrJ = (R_e - C_e) + (R_p - C_p) + (R_c - C_c)$ $\det J = (R_e - C_e)(R_p - C_p)(R_c - C_c)$	$\det J < 0, TrJ < 0$ $E_9$ 为鞍点

由表 5 可知,设计单位、构件预制单位、施工单位均选择参与协同策略为系统的演化稳定策略,此时的均衡结果为  $E_2 = (1, 1, 1)$ ,动态系统亦可达到局部稳定状态。

#### 4. 结果分析

在设计单位、构件预制单位、施工单位的三方博弈框架中,系统的演化均衡为三方均采取参与协同策略。此时,设计单位、构件预制单位、施工单位

选择上述策略的收益均大于选择相反策略的收益,且动态系统达到局部稳定状态。

通常观点认为,出于对自身利益的考虑及对其他组织机会主义行为的习惯性防备,各组织以自我为中心实现牟利是各组织博弈的占优策略选择。其表现为只关注于自身建设目标的实现,各组织往往单打独斗,导致各组织间协作配合不佳,难以实现工程项目全局最优化。例如,在装配式建筑项目中设计单位很少考虑工艺、制造、运输、装配、维修等方面的内容,设计的部品构件可制造性、可运输性、可装配性和可维护性较差;构件预制单位往往只关注部品构件的生产及运输,而忽略了生产深化设计、专业碰撞检查等问题;施工单位利用现场施工信息的不对称性及合同漏洞向建设单位索取变更或索赔实现牟利。

然而,研究结论从三方关联互动且相互影响的视角表明利己主义行为无法保证各组织期望收益的最大化及稳定性,而责任感也无法成为各组织向 $E_2 = (1, 1, 1)$ 方向演化的主要推动力,设计单位、构件预制单位、施工单位均选择参与协同策略成为了实现全局利益最大化的均衡策略。在工程项目组织间协同机制框架中,各组织的积极主动对建立工程项目组织间协同机制是至关重要的,需要利用相互影响的收益关系为各组织提供一个自组织的协同模式。由表3可知,各组织参与协同的初始概率决定博弈系统是在某一局部范围下保持均衡状态,但不会最终固定在某一策略集合。随着初始概率变化以及各组织行为受到外界随机因素的影响,各组织的行为策略不断调整直至在各局部范围内趋向稳定。

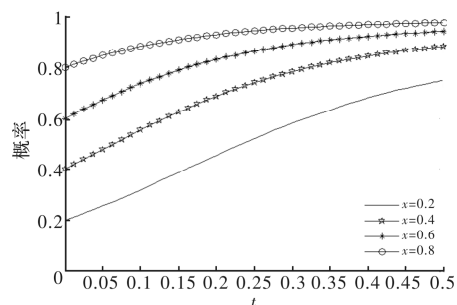
#### 四、模拟仿真

通过 MATLAB 仿真分析各组织的策略选择受初始策略影响变化情况以及相关方策略选择的影响程度,以验证上述假设模型的准确性。考虑到现实情况,本研究主要分析工程项目组织间协同机制的稳定性问题,因此主要分析 $E_6 = (1, 1, 1)$ 点(即设计单位、构件预制单位、施工单位均选择参与协同策略)的稳定性。根据不同单位在工程项目建设过程中的主体作用和合同数额,假设 $N_e > N_p > N_c$ ;装

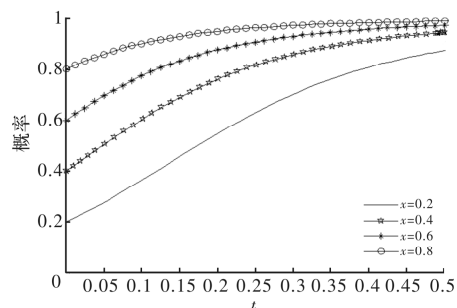
配式建筑工程项目主要的协同活动为参与 BIM 技术平台建设,依据 BIM 技术平台对各单位增益作用,假设 $R_p > R_c > R_e$ ;设计单位和构件预制单位的工作成果形式多为电子图纸、数据建模等,在协同合作过程中,需要耗费大量成本进行信息接口的统一建设,故假设 $C_p > C_e > C_c$ ;当协同合作达成时,三方共享深化合作所带来的收益,故假设 $Z_p = Z_e = Z_c$ ;对工程项目的实地调研及工程项目管理领域的专家咨询,设 $N_e = 2$ 、 $N_p = 5$ 、 $N_c = 7$ 、 $R_e = 4$ 、 $R_p = 6$ 、 $R_c = 5$ 、 $C_e = 4$ 、 $C_p = 5$ 、 $C_c = 3$ 、 $Z_e = Z_p = Z_c = 5$ 。

##### 1. 各组织初始概率变化对设计单位行为的影响

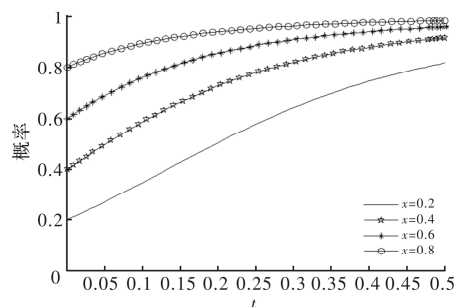
从图4(a)、图4(b)可以看出,在 $y = 0.8, z = 0.4$ 时 $x$ 的收敛速度大于 $y = 0.4, z = 0.4$ 时 $x$ 的收敛速度,即当施工单位参与协同的初始概率相同时,构件预制单位参与协同的初始概率越高,设计单位采取参与协同策略的速度越快。



(a)  $y=0.4, z=0.4$



(b)  $y=0.8, z=0.4$



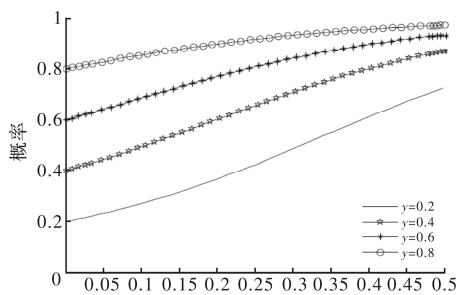
(c)  $y=0.4, z=0.8$

图4 设计单位行为变化

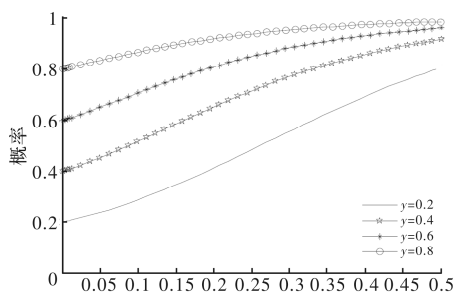
从图4(a)、图4(c)可以看出,当 $y=0.4, z=0.8$ 时 $x$ 的收敛速度大于 $y=0.4, z=0.4$ 时 $x$ 的收敛速度。即当构件预制单位参与协同的初始概率相同时,施工单位参与协同的初始概率越高,则设计单位趋向采取参与协同策略的速度越快。

## 2. 各组织初始概率变化对构件预制单位行为的影响

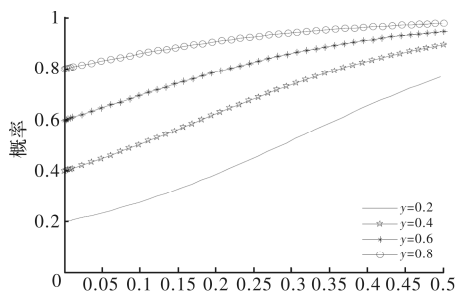
从图5(a)、图5(b)可以看出,在 $x=0.4, z=0.8$ 时 $y$ 的收敛速度大于 $x=0.4, z=0.4$ 时 $y$ 的收敛速度,即当设计单位参与协同的初始概率固定时,施工单位参与协同的初始概率越高,构件预制单位采取参与协同策略的速度越快。从图4(a)、图4(c)可以看出,当 $x=0.8, z=0.9$ 时 $y$ 的收敛速度大于 $x=0.4, z=0.9$ 时 $y$ 的收敛速度。即当施工单位参与协同的初始概率相同时,设计单位参与协同的初始概率越高,构件预制单位采取积极组织安全培训策略的速度越快。



(a)  $x=0.4, z=0.4$



(b)  $x=0.8, z=0.4$

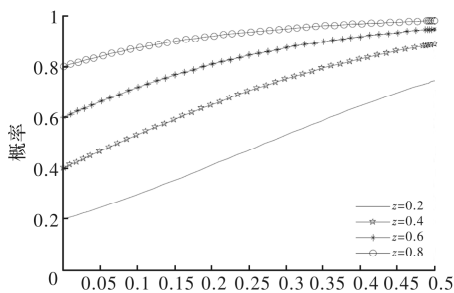


(c)  $x=0.4, z=0.8$

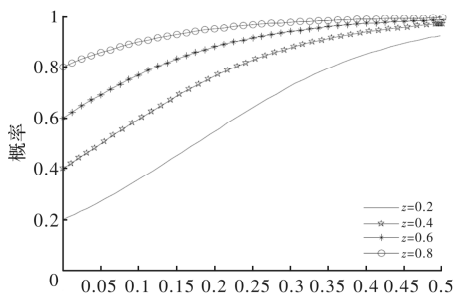
图5 构件预制单位行为变化

## 3. 各组织初始概率变化对施工单位行为的影响

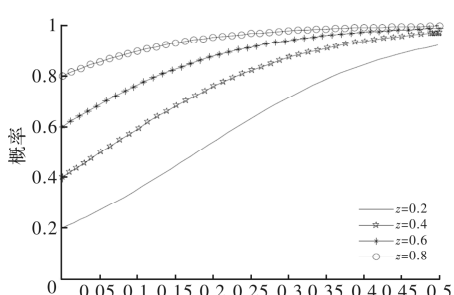
从图6(a)和图6(b)可以看出,在 $x=0.8, y=0.4$ 时 $z$ 的收敛速度大于 $x=0.4, y=0.4$ 时 $z$ 的收敛速度,即当构件预制单位的初始概率相同时,设计单位参与协同的初始概率越高,施工单位采取参与协同策略的速度越快。从图6(a)、图6(c)可以看出,当 $x=0.4, y=0.8$ 时 $z$ 的收敛速度大于 $x=0.5, y=0.8$ 时 $z$ 的收敛速度,即当设计单位的初始概率相同时,构件预制单位参与协同的初始概率越高,施工单位采取参与协同策略的速度越快。



(a)  $x=0.4, y=0.4$



(b)  $x=0.8, y=0.4$



(c)  $x=0.4, y=0.8$

图6 施工单位行为变化

## 4. 仿真分析

由图4、图5、图6可知,设计单位、构件预制单位和施工单位之间关系密切,任何一方的行为选择都会影响到另外两方,同时其自身的策略选择也会受到另外两方的影响,并且不同的策略选择都会对装配式建筑项目组织协同形势带来新的变化,并呈现出动态过程。但设计单位、构件预制单位和施工

单位之间的相互影响程度是不同的,构建预制单位策略选择的影响力最大,设计单位次之,施工单位的影响力最小。

因此,在装配式建筑项目组织协同框架下,各组织除了接受建设单位的统一调度,各组织之间也应自发形成由构件预制单位主导的自组织协同模式。在该模式下,由设计单位提供构件设计方案,施工单位等组织再将自身要求传递给深化设计人员,构件预制单位的深化设计人员根据设计方案中构件的生产工艺要求与各组织的要求完成深化设计任务。构件预制单位应积极协调上下游单位之间的关系、信息、要求,督促下游环节的施工单位、分包单位等组织尽早将经验与知识融入设计单位的早期设计,并将过程中的问题及时反馈至建设单位,避免工程质量、工期超长、成本超支等问题,并且构件预制单位作为组织协同模式的主导单位,可代表设计单位、施工单位等组织与建设单位沟通协调,在考虑构件生产高效性的同时,最大化地满足各组织的多样化需求,进而实现工程项目组织协同能力的全面升级。

## 五、结 语

研究选取装配式建筑项目为例,以设计单位、构件预制单位、施工单位为演化博弈主体,探讨了工程项目组织协同策略的内在演变趋势并得出演化稳定策略,运用 MATLAB 数值仿真展示了基于理想状态下各组织行为策略相互影响的演化过程,提出了以构件预制单位为主导的工程项目自组织协同模式。结果表明,在工程项目建设过程中,各组织不仅需要接受建设单位的统一领导,还应自发地形成由某个组织或单位主导的自组织协同模式。主导单位应从以下 3 个方面对工程项目组织进行引导与协调:(1)加强组织之间的信息沟通。由于工程项目参建组织均是独立的、无隶属关系的组织,组织之间容易存在沟通意愿不足,缺乏沟通渠道,信息难以传递、转化,信息不及时、不完整等问题,因此主导单位应梳理各组织之间或者工程项目内部各类资源之间的信息沟通渠道,明确各组织在工程项目中的地位、作用,加强组织

之间的沟通与合作。(2)协调组织之间的工作流程。工程项目的建设过程是组织之间工作流程相互交叠、互操作的过程。各组织之间存在大量的跨组织工作流程,而组织之间会存在分布式协作、组织之间不信任、对其他组织工作流程不了解等问题,因此主导单位应协调跨组织之间的工作流程,避免项目整体流程破碎,经常性、大量性返工,以及由此造成的时间和经济损失。(3)优化组织之间的相互作用关系。相互作用问题主要是由信息沟通问题和工作流程问题导致,主要表现为组织之间未能形成良性的相互作用关系、组织之间被动协作、以自身利益为先、不愿意协作配合等。主导单位应缓和各组织间的冲突、矛盾及各自为政的状态,使得各组织的功能优势互补、聚合放大。

## 参 考 文 献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2018 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2019(3): 8-22.
- [2] KADEFORS A. Trust in project relationships inside the black box[J]. International Journal of Project Management, 2004, 22(3): 175-182.
- [3] 盛昭瀚. 重大工程管理基础理论[M]. 南京:南京大学出版社, 2020.
- [4] LIZARRALDE G, BLOIS M, DAVIDSON C. Relations intra and inter organisations for the study of the temporary multi organisation in construction projects[J]. International Journal of Project Organisation and Management, 2011(3): 57-77.
- [5] LI Y, LU Y, CUI Q, et al. Organizational behavior in megaprojects: integrative review and directions for future research[J]. Journal of Management in Engineering, 2019, 35(4): 401-423.
- [6] LUNDIN A, DERHOLM S. A theory of the temporary organization[J]. Scandinavian Journal of Management, 1995, 11(4): 437-455.
- [7] SMYTH J, PRYKE S. The Management of Complex Projects: A Relationship Approach[M]. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006.
- [8] 尹贻林, 徐志超. 工程项目组织中信任状态的发展与演进: 中国管理情景下的探索性研究[J]. 管理工程学



- 报, 2017, 31(2): 74-83.
- [9] 蒋建林, 陈建国, 郑荣跃. 工程项目组织间壁垒问题分析——以装配式建筑项目为例[J]. 软科学, 2019, 33(3): 106-110.
- [10] 何清华, 陈震, 李永奎. 基于项目组织公民行为的重  
大基础设施工程项目成功评价体系研究——以无锡  
太湖国际科技园区开发为例[J]. 科技进步与对策,  
2014, 31(11): 62-66.
- [11] 张光军, 吕佳茵, 刘人境. 我国大科学工程项目组织  
管理问题与对策——以神光Ⅲ激光装置建设项目为  
例[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(21): 1-6.
- [12] 叶浩文, 周冲, 王兵. 以EPC模式推进装配式建筑发  
展的思考[J]. 工程管理学报, 2017, 31(2): 17-22.
- [13] 王定河. 利益相关者视角下装配式建筑项目组织协同  
效率研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2021.
- [14] WILLIAMS T, SAMSET K, SUNNEVAG K. Front end  
decision making in major projects. in making essential  
choices with scant information[J]. Project Management  
Journal, 2010, 41(2): 38-49.
- [15] 范道安, 何清华, 杨德磊. PPP项目中投资者协同行  
为发生机制及其演化规律研究[J]. 运筹与管理,  
2019, 28(2): 160-166.

## A Research on the Evolution Law of Organizational Collaborative Behavior in Engineering Projects

YANG Yu, CHEN Yan, ZHANG Han-xin

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

**Abstract:** Taking the prefabricated building project as an example, the paper discusses the mechanism and the evolution law of organizational collaborative behavior in engineering projects. Based on evolutionary game theory, a three-party co-evolutionary game model of prefabricated building project is established to analyze the dynamic evolution process of the behavior of each organization participating in the project. The results show that the evolutionary stability strategy of the system is determined by the initial state of each organization and their interrelated interests. Under the framework of organization collaboration of prefabricated building project, the prefabrication unit is more influential on strategy selection than the design unit, and the influence of construction unit is the least. It is necessary to form spontaneously a self-organized collaborative mode led by the prefabrication unit among all organizations. Accordingly, the leading units in the self-organizing collaborative mode should guide and coordinate project organizations from three aspects of strengthening information communication, collaborating work flow, and optimizing interaction among organizations.

**Key words:** organizational collaboration; prefabricated building; evolutionary game; MATLAB simulation

【编辑 王思齐】