

基于修正夏普利(Shapley)值的装配式建筑产业链利益分配研究*

■ 王文静^{1,2*} 刘春原¹ 任娟娟³

1. 河北工业大学土木与交通学院 天津 300401

2. 山东理工大学建筑工程学院 淄博 255049

3. 山东理工大学管理学院 淄博 255049

摘要:自2015年以来,国家密集出台了一系列政策文件大力发展装配式建筑。装配式建筑的发展离不开其产业链的发展,而链接装配式建筑产业链的根本是利益。有效的产业链利益分配机制,能提高企业的积极性,使其成员企业形成一种良好的合作关系,而利益分配不均或不合理,企业就会退出产业链,对产业链造成破坏。故要保证装配式建筑的发展,产业链的稳定是前提,产业链上各相关企业的利益分配是关键。本文以装配式建筑产业链为研究对象,基于传统Shapley值模型,并根据装配式建筑的特点,将风险分担、信息共享、技术创新、企业投入作为修正因子对Shapley值进行修正计算,建立了修正Shapley值利益分配模型,以此模型为基础,研究装配式建筑产业链上下游各利益相关企业的利益分配问题,以求得科学、合理地利益分配方案,为解决此类产业链内各链节企业的利益分配问题提供参考。

关键词:Shapley值法 装配式建筑产业链 利益分配

DOI:10.11842/chips.20200507001

0 引言

我国建筑行业经过几十年的蓬勃发展取得了很大的成绩,但目前传统的生产施工方式面临诸多问题,如环境污染严重,建设效率低,劳动人工价格不断攀升、管理模式落后等。基于这些问题,建筑行业急需进行产业升级,转变生产和施工方式,而装配式建筑成为最好的选择。

装配式建筑是指把传统建造方式中的大量现场作

业工作转移到工厂进行,在工厂加工制作好建筑用构件和配件(如楼板、墙板、楼梯、阳台等),运输到建筑施工现场,通过可靠的连接方式在现场装配安装而成的建筑。装配式建筑因其绿色环保、节能降耗等特点已成为我国建筑业转型升级的重要途径。为了促进装配式建筑的发展,自2015年以来,国家密集出台了一系列政策文件大力推广装配式建筑。

装配式建筑的发展离不开其产业链的发展,而链接装配式建筑产业链的根本是利益,企业加入产业链是为

* 2016年度教育部人文社会科学研究专项任务项目工程科技人才培养研究(16JDGC012):基于“互联网+”思维的工程人才混合式培养模式研究,负责人:刘爱芳;2019年第二批产学研合作协同育人项目(201902226017):基于BIM技术的装配式建筑虚拟仿真实践教学及实践基地建设,负责人:王文静。

** 王文静,在读博士研究生,讲师,研究方向:装配式建筑,施工技术与

了获得更高的利润,获得比独自生产更大的收益。当企业对产业链的利益分配比较满意的时候,他们会与其他企业步调一致的有所作为,形成一种良好的合作关系,即便是在短时期内他们的利益并没有得到满足;而当企业对利益的分配不满时,就会做出退出供应链的举措,更有甚者他们会对产业链实施破坏^[1]。故有效的产业链利益分配机制,能提高企业的积极性,使各企业的合作关系形成良性循环,从而提升产业链的整体质量,促进产业链的健康发展。

所谓装配式建筑产业链是指以装配式建筑为对象,以各利益相关企业为载体,以风险共担利润共享为导向的上中下游企业相互影响相互依存的动态增值链^{[2][3]}。装配式建筑产业链上的主要利益相关企业包括房地产企业、规划设计单位、部品部件生产企业、物流运输企业、装配施工企业及房产销售代理机构。这些独立经营的企业通过供应关系、业务关系或技术关系联系起来,为了获得更高的利润,各企业间进行资源的优化配置和信息共享,通过产业链合作实现整体利益的最大化。而科学、合理的利益分配机制是各企业合作的基础,是保证产业链成功运行和健康发展的关键所在。

目前,我国装配式建筑尚处于探索发展的初级阶段,装配式建筑产业链发展还不成熟。为了促进产业链的健康发展,建立合理有效的装配式建筑产业链利益分配机制是亟需解决的一个问题。

装配式建筑产业链同其他产业链一样都是由上下游多家企业合作而形成的,他们通过合作来实现利润最大化或成本最小化的共同目标,他们都为合作项目做出了贡献,各自应当获得一定比例的收益。收益如何分配涉及到产业链每个成员的切身利益,必须选取合理的方法。产业链合作企业间的利益分配应满足公平、效益的原则,为使产业链上各企业的收益均衡,往往采用博弈理论进行利益的分配,即使用博弈的手段,使产业链上的各企业都获得一个合理满意的收益。基于博弈理论的利益分配方案有多种,主要有shapley值法、Nash谈判模型和群体重心模型等。

Shapley值法是用以解决多人合作对策问题的一种数学方法,最早由美国洛杉矶加州大学教授罗伊德·夏普利(Lloyd Shapley)提出。此方法遵循贡献与收益对等的原则,根据参与主体的边际贡献来分配产业链整体利益。

Nash谈判模型是在各成员企业遵守一定“合理性”假设的前提下,通过相互协商或谈判来解决利益分配问题。Nash谈判模型的解即为满足这些“合理性”假设的

解,即协商或谈判的利益分配方案。

群体重心模型的基本思想是对每个合作成员先设计一个谈判的起点,然后根据一定的分配原则,在谈判起点和最大可能的分配额度之间协商,得出相对满意的方案^[4]。

在这3种基于博弈理论的利益分配方案中,Nash谈判模型是通过谈判或协商来确定利益分配方案,如果谈判破裂,存在一方收益接近于0的情况。群体重心模型从表面上看是在追求一种调和,而在实际运行中是通过协调和补充的过程来实现其合理性,以此来减少因考虑不周而造成的偏差。而Shapley值法是一种基于个体对整体贡献度的分配方法,它视产业链各合作方为平等企业,根据每个合作成员对该产业链的贡献大小来分配利益,打破了平均分配或以资源投入为依据进行分配的做法,突出反映了各个成员在合作中的重要性,更科学、合理,易于被各方接受,并且可以激励个体成员通过自身努力,加大对产业链的贡献力度,为产业链利益分配提供有效的思路,有利于装配式建筑产业链的整合。将Shapley值法用于装配式建筑产业链合作各方的利益分配是合理可行的。

基于Shapley值的利益分配方法在众多领域都有应用,各学者还根据应用领域的特点进行了合理改进。廖奇云等^[5]将Shapley值法用于房地产合作开发项目的利益分配,并结合房地产开发的特点,综合考虑努力程度、资金投入、无形资产、风险分摊等因素对Shapley值法进行了修正。何立华等^[6]将合同能源管理模式应用于绿色建筑,并引用Shapley值法对利益相关方进行收益分配。余振养^[7]采用Shapley值法分析服装全产业链的利益分配问题,并将风险、技术创新、成员投入作为修正因子引入到Shapley模型中。姚冠新等^[8]将Shapley值法用于配送中心动态联盟的利益分配,并基于投入成本和风险分别得到了利益分配值,最终利益分配值是考虑了贡献、投入成本和风险3个因素权重的加权利益分配值。胡盛强等^[9]应用Shapley值法研究了由供应商、制造商、批发商与零售商组成的4级供应链利润分配问题。戴建华^[10]李靓等^[11]将Shapley值法用于联盟企业的利润分配,并引入风险因子进行Shapley值的修正算法。俞天舒等^[12]在利益分配模型中引入不确定性提出了区间Shapley值,并用实际案例实证分析证明了模型的实用性。马士华、王鹏^[13]引入技术创新激励指数修正Shapley值算法。

围绕装配式建筑项目的产业链合作企业构成了一个大的联盟,联盟中的各企业相互合作带来一定的收

表1 A企业收益分配方案

企业合作 形式 Shapley 值计算	A	$A \cup B$	$A \cup C$	$A \cup D$	$A \cup B \cup C$	$A \cup B \cup D$	$A \cup C \cup D$	$A \cup B \cup C \cup D$
$V(S)$	$V(A)$	$V(AB)$	$V(AC)$	$V(AD)$	$V(ABC)$	$V(ABD)$	$V(ACD)$	$V(ABCD)$
$V(S_i)$	0	$V(B)$	$V(C)$	$V(D)$	$V(BC)$	$V(BD)$	$V(CD)$	$V(BCD)$
$V(S)-V(S_i)$	$V(A)$	$V(AB)-V(B)$	$V(AC)-V(C)$	$V(AD)-V(D)$	$V(ABC)-V(BC)$	$V(ABD)-V(AD)$	$V(ACD)-V(CD)$	$V(ABCD)-V(BCD)$
$ S $	1	2	2	2	3	3	3	4
$W(S)$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$
$W(S)V(S)-V(S_i)$	$V(A)/4$	$[V(AB)-V(B)]/12$	$[V(AC)-V(C)]/12$	$[V(AD)-V(D)]/12$	$[V(ABC)-V(BC)]/12$	$[V(ABD)-V(AD)]/12$	$[V(ACD)-V(CD)]/12$	$[V(ABCD)-V(BCD)]/4$

益,利用Shapley值法对收益进行分配。考虑到建筑行业的特殊性,装配式建筑产业链发展不成熟的现状,在传统Shapley值法的基础上,将风险分担、信息共享、技术创新、企业投入作为影响因素对Shapley值修正,建立修正Shapley值利益分配模型。

1 传统Shapley值模型

假设 $I=\{1,2,3,\dots,n\}$,对于 I 的任一子集 S 都有

$$V(\varphi) = 0 \quad (1)$$

$$V(S_1 \cup S_2) \geq V(S_1) + V(S_2), S_1 \cap S_2 = \varphi \quad (2)$$

$[I, V]$ 被称为 n 个企业的合作博弈,在 N 个企业的shapley值利益分配中,合作联盟的共同利益记为 $Y_i(V) = \{Y_1(V), Y_2(V), \dots, Y_n(V)\}$,其中 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。

$$Y_i(V) = \sum_{S_i \in S} W(|S|) [V(S) - V(S/i)] \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$W(|S|) = \frac{(n - |S|)! (|S| - 1)!}{n!} \quad (4)$$

其中, S 是集合 I 的子集, $|S|$ 是子集 S 中企业的个数, $W(|S|)$ 是加权因子。 $V(S)$ 是子集 S 获得的收益, $V(S/i)$ 是子集 S 中去掉企业 i 后获得的收益,表示企业 i 对产业链组合的贡献效益^[4]。

Shapley值法是基于概率的分析。从本质上看,Shapley值是按照企业对产业链的边际贡献的大小来决定企业的收益,在很大程度上能够体现利益分配的公平合理性。

2 基于Shapley值的装配式建筑产业链利益分配模型

在装配式建筑产业链中,设计单位、部品部件生产企业、物流运输企业和装配施工企业是生产建筑产品的主要利益相关者,视为合作博弈 (I, V) 。其中 $I = (\text{设计单位}, \text{部品部件生产企业}, \text{物流运输企业}, \text{装配施工企业})$, V 为各企业组入产业链后产业链的整体收益。利用Shapley值法对不同的产业链组合进行求解,可得到各产业链成员企业理论上的收益值。

考虑由一个设计单位A、一个部品部件生产企业B、一个物流运输企业C和一个装配施工企业D构成的生产链条。则由这4个企业所组成的不同合作联盟的非空子集如下:

子集 $S = \{\text{设计单位}\}$,表示设计单位独立完成设计工作,自己投资,承担项目风险。此时, $V(\text{设计单位})$ 表示设计单位完成相应工作时的收益。以此类推 $S = \{\text{部品部件生产企业}\}$ 及相应的 $V(\text{部品部件生产企业}) \dots$

子集 $S = \{\text{设计单位}, \text{部品部件生产企业}\}$,表示设计单位和部品部件生产企业相互合作共同完成相应的工作。 $V(\text{设计单位}, \text{部品部件生产企业})$ 表示设计单位和部品部件生产企业合作后所产生的总收益。以此类推 $S = \{\text{部品部件生产企业}, \text{物流运输企业}\}$ 及相应的 $V(S) \dots$, I 集合中的企业两两组合。

子集 $S = \{\text{设计单位}, \text{部品部件生产企业}, \text{物流运输企业}\}$,表示由任意3家企业相互合作组成的联盟,以及相

应的联盟收益 $V(S)$ 。

子集 $S=\{\text{设计单位, 部品部件生产企业, 物流运输企业, 装配施工企业}\}$, 表示4家企业相互合作组成的联盟, 以及相应的联盟收益 $V(S)$ 。

基于 Shapley 值理论的装配式建筑产业链收益分配方案(以 A 企业为例)如表 1 所示(来源:作者自绘):

则 A 企业参与的所有合作联盟产生的收益 $Y(V)$ 为:

$$\begin{aligned} Y_A(V) &= \sum_{S_i \in S} W(|S|) [V(S) - V(S/i)] \\ &= V(A)/4 + [V(AB) - V(B)]/12 + [V(AC) - V(C)]/12 + [V(AD) - V(D)]/12 \\ &\quad + [V(ABC) - V(BC)]/12 + [V(ABD) - V(AD)]/12 + [V(ACD) - V(CD)]/12 \\ &\quad + [V(ABCD) - V(BCD)]/4 \end{aligned}$$

3 基于修正 Shapley 值的装配式建筑产业链利益分配模型

在以上基于 Shapley 值理论的装配式建筑产业链利益分配模型中仅考虑了单个企业的边际贡献, 而忽略了一些其他因素。为了更加切合实际, 我们可以根据装配式建筑产业链的特点, 分析影响其利益分配的因素, 将其作为修正因子对 Shapley 值进行修正计算, 使利益分配方案更加公平合理。

3.1 风险分担

装配式建筑产业链不是独立存在的, 它处于一定的外部环境中, 遇到风险是不可避免的。产业链中的上下游企业, 由于所处的位置不同导致所面临的风险也不同。如对于创新的户型设计或业主设计意图的改变都会给设计单位带来风险, 构配件标准化模数的变革, 将给构件生产厂家带来风险。因此, 在确定收益分配方案时要考虑各企业的风险分担^[15]。

风险因子的计算。在基于传统 Shapley 值的利益分配方案中认为装配式建筑产业链成员企业承担的风险是相同的, 均为 $1/n$ 。但在项目实际运营中, 设计单位、部品部件生产企业、物流运输企业和装配施工企业由于各单位的社会分工不同、投入的资源不同、产出的产品不同、在产业链中所处的位置不同, 所面临的风险必然不同。

根据装配式建筑的特点及其涉及的利益相关者, 将装配式建筑项目建设过程中发生的风险因素分为市场风险、经济风险、环境风险及建设风险。市场风险主要是指市场对装配式建筑的需求量发生了改变或国家对

发展装配式建筑的政策出现变动, 造成项目收益的不确定性或损失; 经济风险主要指企业内的资金短缺或贷款利率风险和通货膨胀风险, 在项目建设期内, 由于当地通货膨胀导致的利率变化或货币贬值导致的项目不确定性; 环境风险主要指自然环境发生改变如在项目建设过程中不可抗力事件比如地震等自然灾害的发生导致的项目的不确定性; 建设风险涉及项目设计风险、施工风险及资金风险, 由于一个项目的建设周期比较长, 在项目建设过程中若出现技术创新而使原设计方案或原施工方案落后或在设计过程中出现失误、违规或施工过程中出现工期延误、质量问题或建设资金出现问题等导致项目的不确定性。

假定产业链成员企业 i 的总风险系数为 r_i , 则

$$r_i = 1 - (1 - R_{1i})(1 - R_{2i})(1 - R_{3i})(1 - R_{4i}) \quad (6)$$

假定计算得出每个产业链成员的风险分担大小为:

$$R(r_1, r_2, \dots, r_n), \sum_{i=1}^n r_i = 1 \quad (7)$$

则产业链成员 i 由风险分担所获得的收益分配增量为:

$$(r_i - \frac{1}{n}) \times V(n) \quad (8)$$

其中 $V(n)$ 表示所有节点企业都参与产业链时所获得总利益。

3.2 信息共享

我们处在一个信息膨胀的时代, 在建筑行业大力发展 BIM 技术的当下, 信息的快速传递能为企业抢得市场先机, 对市场做出快速反应。对装配式建筑产业链来说, 不论是国家政策的变动和导向, 还是消费者需求的变化, 亦或是构配件厂商的资质、供货能力或产品质量, 或设计、施工单位的口碑, 信息都起着至关重要的作用。准确、快速的信息是产业链稳定运行的保障, 为了激励产业链成员企业提供有价值的信息, 在利益分配方案中可以加入信息因素, 对 Shapley 模型进行修正。

信息因子的计算。在传统 Shapley 值模型中, 因没有考虑信息共享的影响, 故认为产业链各参与方的信息共享比重是一样的, 即 $1/n$ 。对每个产业链成员共享信息的价值进行评估, 并进行归一化处理, 假定每个产业链成员提供的共享信息价值为:

$$X(x_1, x_2, \dots, x_n), \sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (9)$$

则产业链成员 i 由信息共享带来的分配收益增量为:

表2 企业A的收益分配计算过程万元

Shapley式 值计算	企业合作形式	A	A ∪ B	A ∪ C	A ∪ D	A ∪ B ∪ C	A ∪ B ∪ D	A ∪ C ∪ D	A ∪ B ∪ C ∪ D
V(S)		10	80	30	150	120	230	180	300
V(S _i)		0	50	10	100	90	200	130	240
V(S)-V(S _i)		10	30	20	50	30	30	50	60
S		1	2	2	2	3	3	3	4
W(S)		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$
W(S)[V(S)-V(S _i)]		2.5	2.5	1.67	4.17	2.5	2.5	4.17	15

$$(x_i - \frac{1}{n}) \times V(n) \quad (10)$$

3.3 技术创新

装配式建筑在我国还属于新兴事物,在设计、生产、施工各方面还需要技术创新来推动装配式建筑的发展,完善装配式建筑产业链。在设计上,进行模块化的正向设计,开发新的模数化、标准化的部品部件体系,统一设计标准;在生产制作中,先进的流水生产线,可以多变的模具组合,通过技术创新,在保证预制构件安全的情况下,减小其厚度,以节省材料降低造价;在装配施工中,要创新构件连接技术,保证结构的整体安全。在产业链协同方面,也需要技术创新提高各参与方耦合度。为激励产业链各节点企业的创新热情,在利益分配上将技术创新贡献考虑进去。

技术创新因子的计算。假设每个产业链成员的技术创新贡献为:

$$T(t_1, t_2, \dots, t_n), \sum_{i=1}^n t_i = 1 \quad (11)$$

则产业链成员 i 由技术创新所获得的收益分配增量为:

$$(t_i - \frac{1}{n}) \times V(n) \quad (12)$$

3.4 企业投入

各节点企业为形成装配式建筑产业链,所投入的人、财、物以利益回报的形式收回。故在利益分配上要考虑企业的投入比例。

企业投入因子的计算。假设每个产业链节点企业的投入比重为:

$$C(c_1, c_2, \dots, c_n), \sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad (13)$$

则产业链成员 i 由企业投入所获得的收益分配增量为:

$$(c_i - \frac{1}{n}) \times V(n) \quad (14)$$

3.5 修正 Shapley 值模型

考虑以上 4 个因素对基本 Shapley 值法进行修正,按照重要程度赋予 4 个因素不同的权重,分别以 $\omega_x, \omega_r, \omega_t, \omega_c$ 表示,且 $\omega_x + \omega_r + \omega_t + \omega_c = 1$,具体数值可用层次分析法计算获得。则修正 Shapley 值模型为

$$Y_i(V)' = Y_i(V) + \left[\omega_x(r_i - \frac{1}{n}) + \omega_r(x_i - \frac{1}{n}) + \omega_t(t_i - \frac{1}{n}) + \omega_c(c_i - \frac{1}{n}) \right] V(n) \quad (15)$$

其中 $Y_i(V)'$ 为企业 i 修正后利益分配值, $Y_i(V)$ 为企业 i 无修正的利益分配值。

4 基于修正 Shapley 值模型的应用举例

考虑有 4 家企业构成的装配式建筑产业链,企业 A 代表设计单位,企业 B 代表部品部件生产企业,企业 C 代表物流运输企业,企业 D 代表装配施工企业。在形成产业链前,各企业独立运营,获利分别为 $V(A)=10$ 万, $V(B)=50$ 万, $V(C)=10$ 万, $V(D)=100$ 万。加入产业链后,企业 A 和 B 合作获利 80 万;企业 A 和 C 合作获利 30 万;企业 A 和 D 合作获利 150 万;企业 B 和 C 合作获利 90 万;企业 B 和 D 合作获利 200 万;企业 C 和 D 合作获利 130 万;企业 A、B、C 3 家合作获利 120 万;企业 A、B、D 3 家合作获利 230 万;企业 A、C、D 3 家合作获利 180 万;企业 B、C、D 3 家合作获利 240 万;企业 A、B、C、D 共同合作获利 300 万。

表3 各因素处于不同量级时的描述

因素	权重	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
资金筹集	0.4	汇率发生不利变动 e_{11}	建设债券发行不顺 e_{12}	同银行谈判不顺 e_{13}	投资方资金不足 e_{14}	投资方撤资 e_{15}
技术成熟性	0.4	技术非常成熟 e_{21}	技术成熟 e_{22}	技术可行 e_{23}	技术可行但需要开发 e_{24}	复杂的新技术 e_{25}
装配施工	0.2	施工轻微拖延 e_{31}	施工一般拖延 e_{32}	施工严重拖延 e_{33}	局部需重新设计 e_{34}	需重新设计 e_{35}

表4 风险后果严重程度的评价

因素	权重	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
技术水平	$\frac{1}{3}$	技术水平高 r_{11}	技术水平较高 r_{12}	技术水平中等 r_{13}	技术水平较低 r_{14}	技术水平低 r_{15}
费用超支	$\frac{1}{3}$	超预算不多 r_{21}	超 1%-5% r_{22}	超 5-20% r_{23}	超 20-50% r_{24}	超 50% 以上 r_{25}
工期拖延	$\frac{1}{3}$	拖延不到一月 r_{31}	拖延不到半年 r_{32}	拖延不到一年 r_{33}	拖延不到两年 r_{34}	拖延两年以上 r_{35}

4.1 传统Shapley值计算

企业A的收益分配计算过程如表2所示。

(来源:作者自绘)

将表中末行数据相加,得到企业A的收益分配额为 $Y_A(V) = 35.01$ 万,同理可得企业B、C、D的收益分配额分别为 $Y_B(V) = 86.67$ 万, $Y_C(V) = 36.66$ 万, $Y_D(V) = 141.67$ 万。

在实际应用中, $V(S_1 \cup S_2)$ 的具体数据,可通过模糊数学、神经网络等综合评价方法进行估算^[13]。

4.2 修正Shapley值计算

4.2.1 风险因子计算

装配式建筑产业链成员企业i的总风险系数 r_i 按公式(6)计算,式中 $R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}$ 分别表示产业链成员企业i所承担的市场风险,经济风险,环境风险和建设风险。

假设风险 $R = \int(P, C)$, 其中P表示风险发生的概率, C表示风险发生所产生后果的效用值。假定项目失败的概率为 P_f , 成功概率 P_s ; 项目失败后的影响程度效用值为 C_f , 项目成功的影响程度效用值为 C_s 。显然有 $P_s = 1 - P_f$ 和 $C_f = 1 - C_s$, 则可得风险因子系数为 $R = \int(\text{风险事件发生的概率, 事件发生所产生后果的效用值})$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \text{项目成功的概率} \times \text{项目成功后的影响程度效用值} \\
 &= 1 - P_s C_s \\
 &= 1 - (1 - P_f)(1 - C_f) \\
 &= P_f + C_f - P_f C_f \\
 &0 < R < 1
 \end{aligned} \quad (16)$$

4.2.1.1 P_f 的似然估计

利用似然综合判断法找出项目的风险因子,以建设风险因子计算为例^[4]。在装配式建筑建设过程中建设风

险的主要影响因素有建设资金的筹集、技术成熟性、装配施工等,假设这3个因素对建设风险因子的影响权重为 $a_i = (a_1, a_2, a_3) = (0.4, 0.4, 0.2)$, 为了评价这3个因素,根据重要程度将其分为5个量级 b_j , 如

$B = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)$, 专家可根据表3的描述对各因素的量级进行选择。

(来源:作者自绘)

则 P_f 的似然估计值为 $P_f = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 (a_i e_{ij} b_j) = AEB$,

其中

$$e_{ij} = \frac{\text{选择}i\text{因素}j\text{量级的专家数}}{\text{参加评判的专家总数}}$$

在装配式建筑产业链中企业A在建设风险因子下项目失败的概率为 P_{fA} ,

$$\text{若 } e_A = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

则 $P_{fA} =$

$$AEB[0.4 \quad 0.4 \quad 0.2] \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{bmatrix} = 0.3$$

同理可求得企业B、C、D在建设风险因子下项目失败的概率 P_{fB}, P_{fC}, P_{fD} 。

$$\text{假设 } P_{fB} = 0.336P_{fC} = 0.324P_{fD} = 0.292$$

4.2.1.2 C_f 的模糊综合评判

建设风险导致项目失败的影响程度受技术水平、费用超支和工期拖延3个因素的影响。设 $U = \{\text{技术水平, 费用超支, 工期拖延}\} = \{u_1, u_2, u_3\}$, 假如3因素

的权重为 $A = \left\{ \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \right\}$, 评价为

$V = \{\text{低, 较次要, 中等, 显著, 高}\} = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ 专家可根据表 3 的描述确定评价等级,

(来源:作者自绘)

则由专家评价法可得模糊评判矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \end{bmatrix}$$

则评定向量 $B = A \cdot R$ 。

对 B 进行归一化处理, 得 $B' = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$ 。则

$$C_f = BV^T = 0.1b_1 + 0.3b_2 + 0.5b_3 + 0.7b_4 + 0.9b_5$$

在建设风险因子下, 企业 A 的 C_f (项目失败的影响程度) 的求解过程如下

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = AR_A = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$\frac{1}{3} [1.2 \quad 1.2 \quad 0.6 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{对 B 进行归一化处理后得 } B' = \begin{bmatrix} \frac{2}{5} & \frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

故项目失败的影响程度大小为

$$C_{fa} = BV^T = \begin{bmatrix} \frac{2}{5} & \frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.5 \\ 0.7 \\ 0.9 \end{bmatrix} = 0.26$$

则企业 A 的建设风险因子为:

$$R_{1A} = P_{fa} + C_{fa} - P_{fa}C_{fa} = 0.3 + 0.26 - 0.3 \times 0.26 = 0.482$$

同理可得, 企业 A 的市场风险因子 $R_{2A} = 0.218$, 经济风险因子 $R_{3A} = 0.314$ 、环境风险因子 $R_{4A} = 0.298$ 。

按公式(6)计算企业 A 总的风险因子,

$$r_A = 1 - (1 - R_{1A})(1 - R_{2A})(1 - R_{3A})(1 - R_{4A}) = 0.805$$

同理可得 $r_B = 0.920$; $r_C = 0.714$; $r_D = 0.935$

对 A、B、C、D4 个企业总的风险因子进行归一化处理, 得到风险因子向量 $r = (0.24, 0.27, 0.21, 0.28)$ 。

4.2.2 其他因子计算

信息因子: 为了在市场竞争中抢得先机, 装配式建筑产业链成员企业要及时共享所知信息, 使各企业能对外部环境的变化做出积极响应。对于信息因子的计算,

表5 产业链利益分配方案比较(单位:万元)

方案	企业			
	A	B	C	D
传统 Shapley 值法	35.01	86.67	36.66	141.67
修正 Shapley 值法	31.26	96.42	14.16	158.17

以节约工期的长短和所获得利润的大小综合来衡量。通过计算并进行归一化处理, 确定 A、B、C、D4 个企业的信息价值向量为 $X = (0.30, 0.28, 0.15, 0.27)$ 。

技术创新因子: 为了满足客户的需求, 增加企业的生存能力并获得较高利润, 产业链成员企业要不断地进行技术创新。对于技术创新因子的计算, 以技术创新利润来衡量。通过计算并进行归一化处理, 确定 A、B、C、D4 个企业的技术创新向量为 $T = (0.23, 0.26, 0.2, 0.31)$ 。

企业投入: 设产业链成员企业 i 的投入为 C_i , 则产业链企业的总投入为 $\sum C_i$ ($i = A, B, C, D$), 可得企业投入向量为

$$C = \left(\frac{C_A}{\sum C_i}, \frac{C_B}{\sum C_i}, \frac{C_C}{\sum C_i}, \frac{C_D}{\sum C_i} \right) = (0.18, 0.32, 0.14, 0.36)。$$

4.2.3 基于修正 Shapley 值的各企业利益分配额

利用层次分析法确定风险分担、信息共享、技术创新和企业投入 4 个因素的权重为 $\omega_x, \omega_r, \omega_t, \omega_c$ = $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$, 则

$$\begin{aligned} Y_A(V)' &= Y_A(V) + \left[\omega_x \left(r_A - \frac{1}{n} \right) + \omega_r \left(x_A - \frac{1}{n} \right) + \right. \\ &\quad \left. \omega_t \left(t_A - \frac{1}{n} \right) + \omega_c \left(c_A - \frac{1}{n} \right) \right] V(n) \\ &= 35.01 + \left[\frac{1}{4} \left(0.24 - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{4} \left(0.30 - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{4} \left(0.23 - \frac{1}{4} \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{4} \left(0.18 - \frac{1}{4} \right) \right] \times 300 \\ &= 31.26 \text{ 万元} \end{aligned}$$

同理可得:

$$Y_B(V)' = 96.42 \text{ 万元} \quad Y_C(V)' = 14.16 \text{ 万元} \quad Y_D(V)' = 158.17 \text{ 万元}$$

4.3 结果分析

将 5.1 和 5.2 所得两种收益分配方案进行比较, 见表 5 (来源:作者自绘)。

可以看出, 与传统相比, 在修正 Shapley 值后的企业收益分配方案中, 企业 A、C 的收益减少了, 而企业 B、D



的收益增加了。这表明:

(1)相对而言,企业B、D承担的风险更多、提供的信息价值更大,具有更强的技术创新能力、企业投入更多。

(2)企业所得收益与其提供的价值是成正比的。当企业衡量自己的付出与回报是比较公平的时候,他会投入更多的精力和热情去工作,这与实际是相符的。

(3)科学、合理的利益分配方案能够激发企业参与产业链合作的积极性,使各企业保持紧密的合作关系,促进装配式建筑的发展。

5 结论与展望

装配式建筑的建造过程与传统建筑的建造过程有着本质的区别,所涉及到的利益相关者也发生了变化,对于产业链中新出现的利益相关企业及其相互之间的关系,若没有合理的利益分配方案则不会形成相契合的产业链。本文研究结论及展望如下:

(1)基于博弈理论,在Shapley值法、Nash谈判模型和群体重心模型中选择了Shapley值法进行产业链利益

分配的研究,该方法依据各成员企业的贡献来分配利益,体现了公平、公正。

(2)根据装配式建筑产业链的特点,在传统Shapley值法的基础上,引入风险分担、信息共享、技术创新、企业投入4个因子对利益分配方案进行修正,建立了修正Shapley值利益分配模型。

(3)将修正Shapley值模型应用于由4家企业所构成的装配式建筑产业链中,结果显示,利用该模型所得利益分配方案更符合实际情况,更能激发合作企业的积极性,证明了该模型的科学性和合理性

(4)后续进一步研究不同模型下的利益分配方案赋予不同的权重,取一种折中的综合利益分配方案,协调协商不一致的情况。

(5)探讨如何实现产业链合作企业自身利益最大化。只有产业链各主体企业利益最大化,才能实现产业链的有效衔接,促进产业链的健康发展。

(6)进一步探讨国家如何从政策方面对装配式建筑的发展提供动力,使得我国建筑行业发展的更快更好。

参考文献:

- [1] 李岩. 有机农产品供应链利益分配问题研究[D]. 吉林大学,2015.
- [2] 齐宝库,朱娅,刘帅,等. 基于产业链的装配式建筑相关企业核心竞争力研究[J]. 建筑经济,2015,36(8):102-105
- [3] 黄春蕾,吴学伟,雷叶,等. 预制装配式建筑发展问题及应对策略探讨[J]. 工程经济,2018,28(9):54-56.
- [4] 陈功玉,王珍珍. 虚拟企业供应链利益分配研究综述[J]. 重庆工商大学学报(社会科学版),2009,26(5):35-44.
- [5] 廖奇云,王凯. 基于Shapley修正的房地产合作开发模式利益分配研究[J]. 建筑经济,2017,38(4):91-95.
- [6] 何立华,杨然然,马芳丽. 基于Shapley值的绿色建筑合同能源管理收益分配[J]. 工程管理学报,2016,(6):12-16
- [7] 余振养. 服装全产业链利益分配问题的Shapley值法分析[J]. 商,2015(46):276-277.
- [8] 姚冠新,刘玲玲. 基于修正Shapley值法的配送中心动态联盟利益分配研究[J]. 科技与管理,2010,12(3):23-25,39
- [9] 胡盛强,张毕西,欢迎莹. 基于Shapley值法的四级供应链利润分配[J]. 系统工程,2009,(9):49-54
- [10] 戴建华,薛恒新. 基于Shapley值法的动态联盟伙伴企业利益分配策略[J]. 中国管理科学,2004,12(4):33-36
- [11] 李靓,刘征驰,周堂. 基于Shapley值修正算法的联盟企业利润分配策略研究[J]. 技术与创新管理,2009,30(6):746-749
- [12] 喻天舒,李华祥. 基于Shapley值的PPP项目利益分配研究[J]. 中国房地产,2017(15):33-41.
- [13] 马士华,王鹏. 基于Shapley值法的供应链合作伙伴间收益分配机制[J]. 工业工程与管理,2006,11(4):43-45,49
- [14] 于景起. 基于Shapley值的PPP项目利益相关者收益分配研究[D]. 天津大学,2014.
- [15] 王肖文. 装配式住宅供应链整合管理研究[D]. 北京交通大学,2016.

Research on Profit Distribution of Prefabricated Building

Industry ChainBased on the Modified Shapley Value

Wang Wenjing^{1,2}, Liu Chunyuan¹, Ren Juanjuan³

1. School of Civil and Transportation Engineering Hebei University of Technology, Tianjin 300401

2. School of Civil and Architectural Engineering ShanDong University of Technology, Zibo 255049

3. Business School ShanDong University of Technology, Zibo 255049

Abstract: Since 2015, a series of policy documents were issued intensively to vigorously promote the development of prefabricated buildings. The development of prefabricated buildings is inseparable from the development of its industrial chain, and the fundamental link to the prefabricated building industry chain is interest. An effective industrial chain profit distribution mechanism can increase the enthusiasm of the enterprise and form a good cooperative relationship among its member companies. If the distribution of benefits is uneven or unreasonable, the enterprise will withdraw from the industrial chain and cause damage to the industrial chain. Therefore, to ensure the development of prefabricated buildings, the stability of the industrial chain is a prerequisite, and the distribution of the interests of related companies in the industrial chain is the key. This article takes the prefabricated construction industry chain as the research object. Based on the traditional Shapley value model, according to the characteristics of the prefabricated building, the risk sharing, information sharing, technology innovation, and enterprise input are used as the correction factors to modify the Shapley value, and the profit distribution model of the modified Shapley value is established. Based on this model, study the distribution of interests of various related enterprises in the upstream and downstream of the prefabricated construction industry chain, In order to obtain a scientific and reasonable profit distribution plan, it provides a reference for solving the problem of profit distribution of enterprises in each link of such an industrial chain.

Keywords: Shapley value; prefabricated building industry chain; profit distribution

(责任编辑:荆婉婷; 责任译审:毛子英 荆婉婷)