

IPD 模式下努力因素对利益分配机制的影响

徐勇戈, 王若曦

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: Integrated Project Delivery(简称 IPD)即项目集成交付模式, 是一种新型的交付模式, 核心是利益分配机制。目前, 中国对 IPD 模式利益分配机制的研究忽略了建设过程中项目各方努力程度与项目成功的关联, 并在利益分配中忽视了努力行为, 促使项目各方忽视努力成本的投入而确保自身收益, 导致项目工程变更增加、风险提升、项目失败。为改善此现象, 通过对项目各方努力行为的研究, 列举出十六项工程建设中的努力行为, 依此建立努力系数。结合重要系数、风险系数等建立新的 Shapley 法的利益分配模型, 通过算例分析研究表明: 该模型有助于各参与方积极进行项目建设, 从而提升各参与方的收益。

关键词: IPD 模式; 努力系数; 利益分配; Shapley 值法

中图分类号: TU-9

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)04-0602-07

Efforts to influence the distribution of interests in IPD

XU Yongge, WANG Ruoxi

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech, Xi'an 710055, China)

Abstract: Integrated Project Delivery (IPD) is a new kind of delivery mode. IPD model is the core of interest distribution mechanism. The IPD mode of interests distribution mechanism separates relation of participants in the process of the construction effort and success of the project. Based on the research of the participants, 16 items of the behavior of efforts in the construction of engineering are enumerated and effort coefficient by combining the important coefficient, and risk coefficient a new profit distribution model of Shapley method is set up. Through example analysis, the model can help the parties actively for project construction and the promotion of the benefits of the parties.

Key words: IPD mode; degree of effort; distribution of interests; Shapley

Integrated Project Delivery(简称 IPD)即项目集成交付模式, 是一种先进的工程交付模式。IPD 模式的理念是将项目各方(业主、设计方、施工方、材料供应方、BIM 咨询方等)提前纳入建设系统中, 各方提前参与、互相信任、利益共享、风险共担、充分合作、毫无保留的贡献自身专业能力, 从项目设计、施工方案、材料选取、工程建造、后期运营等方面对项目进行全方面优化^[1]。根据 Kent 对 IPD 项目的调查结果显示, 使用 IPD 交付模式的项目, 工程变更减少 70.3%、管理费用减少 70.3%、工期缩短 69.4%, 同时降低工程项目风险, 提高工程项目质量。IPD 模式已经被业内认为是建筑业积极追求的、高效的项目交付模式^[2]。

IPD 模式在中国尚处于理论研究阶段, 目前较多的研究集中在 IPD 模式的优越性及 IPD 模式合同种类上, 近年来以张连营^[3]、罗福周^[4]、苏振

民^[5]等为代表的团队开始对 IPD 模式核心内容—利益分配机制开展研究。只有公平、合理的利益分配方式才能带动各方的积极性, 使各方努力参与到项目建设中去。这是项目能否成功的关键。现阶段关于 IPD 模式利益分配机制的研究中, 以三方(业主、施工、设计)合作的 Shapley 值法模型为主, 且主要考虑 Shapley 值和风险承担两方面的影响。尚未达到 AIA 协会(美国建筑师协会)要求的多方参与、多因素协调的利益分配机制^[6]。且较少考虑各方的努力行为与 IPD 模式整体收益提升的关联, 导致业主在利益分配机制中忽视各方努力行为, 致使各方减少努力行为投入, 项目整体风险提升, 以至项目最终失败。张连营^[7]、李旻^[8]认为将努力系数引入 Shapley 值模型中是必要的, 但并未说明如何确定努力系数。马智亮^[9]、王茹^[10]、苏振民则提出根据虚拟企业经济的内容, 根据努

收稿日期: 2017-12-05

修改稿日期: 2018-07-05

基金项目: 陕西省教育厅高校重点研究基地项目(13J028)

第一作者: 徐勇戈(1969—), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事工程经济与管理等领域的教学与科研工作。E-mail: 996276734@qq.com

通讯作者: 王若曦(1993—), 男, 硕士生, 主要研究领域工程项目管理。E-mail: 342937075@qq.com

力成本与努力收益对努力系数进行设定，但并未明确指出努力行为如何确定及衡量。对此状况，结合国内现有研究，对 IPD 模式努力系数的重要性进行说明，并分阶段的总结工程中各方的努力行为，并建立努力行为评价指标体系，最终以 Shapley 值法为骨架，引入努力系数进行修正，完善现有的 IPD 模式利益分配机制模型。

1 IPD 模式下努力系数重要性及努力行为

1.1 努力系数的重要性

在利益分配的过程中，项目各方不仅关注各自的收益，更为注重收益分配的公平性。各方对收益的不公表现极为敏感，影响各方积极性，产生抗拒行为：消极怠工、聚众闹事、干扰其他参与方等^[11]。因此一个合理的、各方认可的利益分配方式尤为重要。

传统模式(DBB 模式、DB 模式)下按照初始合同进行利益分配，各方在完成基本任务的情况下付出的努力水平越低，努力成本也就越低，自身获得的收益也就越高，造成各方规避不良事项，将不良事项转移给处理能力较弱的参与方以此维护自身收益，造成总体风险增高，项目变更增大等不良状况。IPD 模式与传统模式的区别在于各方收益的一部分来源于努力行为创造的努力收益，即根据各方在整体建设过程中的努力系数进行努力收益的分配，因此一个合理的努力系数的评定方法决定着 IPD 模式各方努力成本的投入以及努力行为所创造的收益，如果努力系数评定不合理，可能产生搭便车行为(自身不付出努力成本但却享受到其他各方带来的努力收益)，各方依然会减少努力成本以确保自身收益。IPD 模式的优异性无法体现出来。项目变更、成本、风险依然无法控制。

1.2 努力系数的概念界定

努力系数即各方努力行为创造的收益占总体努力收益的比值，各方努力行为创造的收益取决于努力行为所需的努力成本与该行为创造效益的差值。即在努力成本一定的情况下，努力水平越高，创造效益越大，努力系数值也就越高。通过文献收集，确定三阶段十六项努力行为后，对十六项努力行为的重要性进行系数化，再分别对各方在十六项努力行为的作用性进行打分，确定各方在整个建设过程中的努力系数。(努力行为的发起方、执行方、任务应承担方)在项目成功的背景下，根据各方通过努力行为创造的收益，按各方

努力系数的比列进行二次分配，促使各方积极开展努力行为，使各方保持高效、有序工作状态，从而减少项目的风险及返工情况，提升项目的整体收益^[12]。

1.3 努力行为及努力成本概念

项目各方在满足自身合同规定任务要求的情况下，额外进行的技术投入、相互协作、精细管理等行为统称为努力行为，即有别于常规的施工水准，经过各方不断配合，深化信息交流，付出管理成本，取得良好效益的过程。努力水平的高低取决与以下 4 点：①知识投入；②深化合作；③精益管理；④人才投入。针对一个企业来说，努力水平的提高往往伴随着努力成本的提高，努力成本由技术学习经费、人员工资、组织结构优化费用等构成。

2 IPD 模式努力行为的评定及系数化

2.1 努力行为的确定

结合国外学者 Lauras 的 KPI 评价指标(工期、成本、质量、风险评价)、以及 Chan 总结近年来项目工程努力行为的 13 条，Zhang^[13]在伙伴关系模式中提出的基于过程、结果、关系的评价方法。结合国内王德东^[14]、谭涛、丁继勇^[15]、廖阳等提出的建筑工程团队效能评价指标，从建设阶段入手，总结出影响 IPD 模式成功的十六项努力行为。

表 1 努力行为事项表
Tab. 1 Effort performance

目标	阶段	努力行为
提升 努力行为	前期设计 阶段(B1)	1. 前期规划(C1)
		2. 施工材料准备(C2)
		3. 施工组织优化(C3)
		4. 前期设计(C4)
	中期建设 阶段(B2)	5. 施工过程表现(C5)
		6. 现场管理行为(C6)
		7. 各方合作配合程度(C7)
		8. 现场各方信任程度(C8)
		9. 项目决策执行情况(C9)
		10. 现场文明施工情况(C10)
	后期评定 阶段(B3)	11. 风险事项控制程度(C11)
		12. 政府协调程度(C12)
		13. 项目总体工期优化(C13)
		14. 项目总体成本把控(C14)
		15. 其他利好行为(C15)
		16. 业主满意程度(C16)

2.2 努力系数的评定

本文采用模糊层次分析法对努力行为的重要性进行评判,后根据专家打分法确定各方在16项努力行为中的贡献值,为简便计算,将IPD模式的参与方归为四大类,即业主方、施工方、设计方、BIM咨询方。

2.2.1 FAHP 模型构建

(1) 确定三角模糊数

确定模糊相对重要程度,以此作为努力行为重要性的评判依据,评价结果使用模糊数进行表示,即 $M_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, M_{ij} 由因素 i 和 j 的重要程度之比构成, l 、 m 、 u 分别代表因素 i 对 j 重要程度的最悲观估计、最可能估计和最乐观估计^[16]。

表2 模糊相对重要程度表

Tab.2 Fuzzy relative sign

努力程度重要性	三角模糊数	三角模糊倒数
完全等同(JE)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
大体等同(EI)	(1/2, 13/2)	(2/3, 1, 2)
微弱重要(WMI)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
重要性较强(SMI)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
重要性极强(VSMI)	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
完全重要(AMI)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

(2) 构造模糊评价矩阵

专家首先对努力行为各阶段的重要性进行评判,然后对努力事项进行两两评判。以此构造模糊评价体系,以努力行为阶段作 B1、B2 的重要程度为例,前期阶段 B1 较施工阶段 B2 的努力行为重要性较强(SMI),则努力评价矩阵的 M12 的元

素为(3/2, 2, 5/2),与之相对的 M21 为(2/5, 1/2, 2/3),以此建立各阶段、各努力事项的模糊矩阵。

表3 努力行为阶段的重要系数

Tab.3 Effort performance phase

阶段	B1	B2	B3	权重
B1	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	35.3%
B2	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)	34.5%
B3	(1, 3/2, 2)	(2, 5/2, 3)	(1, 1, 1)	30.2%

(3) 计算模糊综合重要程度值

根据得到的模糊矩阵计算各努力事项的重要程度值 S_i 以表4为例进行计算。

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{ij} = \left[\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right] \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} = \left[\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right] \quad (3)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (4)$$

$$S_{B1} = (4.00, 5.50, 7.00) \otimes (1/22.84, 1/17.50, 1/13.47) \approx (0.175, 0.314, 0.520);$$

$$S_{B2} = (2.90, 3.67, 4.67) \otimes (1/14.6, 1/18.6, 1/23.6) \approx (0.127, 0.210, 0.347);$$

$$S_{B3} = (2.40, 2.83, 3.67) \otimes (1/14.6, 1/18.6, 1/23.6) \approx (0.105, 0.162, 0.272);$$

$$S_{B4} = (4.17, 5.50, 7.50) \otimes (1/14.6, 1/18.6, 1/23.6) \approx (0.183, 0.314, 0.557) \text{ 其余类推。}$$

表4 B1 阶段努力行为重要性评价表

Tab.4 Effort performance of B1 phase

行为	C1	C2	C3	C4	权重/%
C1	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 1, 3/2)	34
C2	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	20
C3	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/2, 2/3, 1)	12
C4	(2/3, 1, 2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)	(1, 1, 1)	34

(4) 计算各因素相对权重

S_2 相对于 S_1 的重要性如下所示

$$V(S_2 \geq S_1) = \begin{cases} 1, m_2 \geq m_1 \\ 0, l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

用上述公式分别计算各阶段各元素努力行为的重要性。并得到权重向量,以表4结果为例,分别比对 $S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 和 $S_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 的值:

$$V(S_{B1} \geq S_{B2}) = 1.00, V(S_{B1} \geq S_{B3}) = 1.00, V(S_{B1} \geq S_{B4}) = 1.00; V(S_{B2} \geq S_{B1}) = 0.621, V(S_{B2} \geq S_{B3}) = 1.00, V(S_{B2} \geq S_{B4}) = 0.610; V(S_{B3} \geq S_{B1})$$

$=0.389, V(S_{B3} \geq S_{B2})=0.753, V(S_{B3} \geq S_{B4})=0.371; V(S_{B4} \geq S_{B1})=1.00, V(S_{B4} \geq S_{B2})=1.00, V(S_{B4} \geq S_{B3})=1.00;$

以此类推，分别取以上权重中最小值，以此作为权重向量 W 。

$$V(S \geq S_1, S_2 \cdots S_k) = \min V(S \geq S_i) \\ i = 1, 2, \cdots, k \quad (6)$$

$W'_{C1}=(1.00、0.610、0.371、1.00)$ 对齐做归一处理，B1 阶段各行为重要性相对权重为 $W_{C1}=(0.34、0.20、0.12、0.34)$ 。依此类推。

(5)合成绝对权重

结合表 2、表 3、表 4 将各阶段努力行为的相对权重与表 2 的阶段权重相结合，得到各阶段的努力行为的绝对权重，以 C1 为例。

$C1 \text{ 绝对权重} = 0.34 \times 0.325 = 0.1105$ 其余见表 5。以此作为 IPD 模式下努力行为重要性的评定标准。各方应针对重要程度较高的努力行为进行努力活动，投入更多管理成本、时间成本。

表 5 努力行为绝对权重表
Tab. 5 Absolute effort performance

C2	C3	C4	C5	C6
12.01%	7.07%	4.24%	12.01%	11.40%
C7	C8	C9	C10	C11
11.95%	2.28%	4.84%	4.11%	4.99%
C12	C13	C14	C15	C16
12.01%	7.07%	4.24%	12.01%	11.40%

2.2.2 各方努力行为评定

上一小节可以得到 3 个阶段 16 种努力行为的重要程度，选取主要的 4 个参与方：业主、设计方、施工方、BIM 咨询方分别对 16 种努力行为分别进行打分，打分的过程应该依据各方在该种努力行为中所扮演的角色，即努力行为的发起方、执行方、任务应承担方，相应打分依据以项目现场实际情况为准。以前期阶段(B1)的前期规划(C1)努力行为为例，评定标准见表 6，执行程度按照 1~5 打分(1 最低，5 最高)。

表 6 各方努力系数打分表
Tab. 6 Effort performance

评定标准	权重系数/%	业主	施工	设计	BIM 咨询	权重系数/%
发起程度	30	2	3	4	1	30
执行程度	50	3	2	4	1	50
责任归属程度	20	2	2	4	2	20
C1 各方努力系数/%	—	25	23	48	12	—
结合 C1 重要程度/%	11.05	3.00	2.76	5.76	0.69	—

3 IPD 模式 Shapley 值和修正系数

3.1 Shapley 值法及初始系数

Shapley 公式如下：

$$\varphi_i(N, v) = \sum_{s \subset N, i \in s} \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} [v(s) - v(s-i)] \quad (7)$$

式中： $\varphi_i(N, v)$ 表示分配给利益相关者的边际贡献值； s 表示 s 联盟($s \subset n$)； N 表示项目参与的人数； i 表示利益相关者； $v(s)$ 表示联盟 s 的价值^[17]。

Shapley 值法可以较好的衡量各方对项目的贡献量，但由于 Shapley 值法基于风险中性、重要性均等、且并未考虑各方在建设过程中的努力行为对收益的影响，因此需要引入风险系数、重要性系数、努力系数对各方初始的 Shapely 值进行系数修正。使用 FS 表示各方 Shapley 值系数。

3.2 重要性系数的确定

为简便计算，将各方在整个项目建设过程中投入的人力、物力、财力统一量化为所需资金进行计算，计算各方投入在整个建设过程中投入的资金比，使用 FK 表示重要性系数， C_i 表示参与方 i 投入的资金。

$$FK = \frac{C_i}{\sum_{i \in N} C_i} \quad (8)$$

3.3 风险系数的确定

将项目风险与 IPD 模式特有风险结合，并对项目风险进行分类，确定各个风险事件对项目的影 响程度，即风险事件权重 δ ，专家分别对各方在各个风险事件中的重要程度进行评定，结合风险事件权重，构建风险矩阵

$$R_i = (R_{i1}, R_{i2}, \cdots, R_{ij}) = \delta \times r_{i \times j}^i \quad (9) \\ FR_i = 1 - (1 - RM_{i1})(1 - R_{i2}) \cdots (1 - R_{ij})$$

$$(i=1,2,\dots,n)(j=1,2,\dots,k) \quad (10)$$

式中: R_i 表示参与方 i 风险评定的得分. FR_i 表示参与方 i 承担的风险系数.

3.4 努力系数的确定

使用模糊层次分析法、专家打分法确定各方努力系数得分. 使用 FE_i 表示参与方 i 的努力系数得分.

4 案例分析

以中铁二院在甘肃省 TXX # 路大型工程项目为案例, 将该项目商务标和最终结算意见作为数据来源. 原定造价 143 400.95 万元, 其中: 工程费用 62 950.66 万元, 工程建设其他费用 63 039.44 万元, 预备费用 12 599.01 万元, 贷款利息 4 811.84 万元, 预计工期 720 个工作日. 最终完工结算造价成本 143 636.0514 万元. 且工期延误 41 个工作日. 为简便计算, 选取主要的四个参与方, 施工方(1), 建设方(2), 设计方(3), BIM 咨询方(4). 四方承担任务量(施工方、建设方、设计方、BIM 咨询方): 56 747.9 万元、62 950.66 万元、3 613.13 万元、1 905.34 万元. 结合已用文献[14-15], 通常认定在 IPD 模式下, 每增加一个合作方, 总体利润上升 10%.

4.1 数据分析

根据该项目商务标可知, 参与方(1)~(4)的利润率 P 分别为: 7%、10%、20%、13%.

各方初始收益值($Y^{\text{初}}$)为

$Y^{\text{初}}(1)=4\,406.546$ 万元、 $Y^{\text{初}}(2)=5\,674.79$ 万元、 $Y^{\text{初}}(3)=722.626$ 万元、 $Y^{\text{初}}(4)=247.694$ 万元.

由于项目成本超预算, 扣除超额成本中的土地征地费、房屋拆迁补偿费后, 将超额成本按收入比例分摊后, 各方实际收入($Y^{\text{实}}$)分别为

$Y^{\text{实}}(1)=4\,154.936$ 万元、 $Y^{\text{实}}(2)=5\,448.02$ 万元、 $Y^{\text{实}}(3)=708.51$ 万元、 $Y^{\text{实}}(4)=240.1$ 万元.

4.2 各方初始 Shapley 值(Y_s)

建立四方参与的 Matlab-Shapley 模型并代入

$Y_s(1) \sim (4)$ 分别为: 5 240 万元、6 636 万元、1 189 万元、1 304 万元.

已知 $Y_s(1, 2, 3, 4)=14\,368$ 万元. 则

$FS(1) \sim (4)$: 36.5%、46.2%、8.3%、9.1%.

4.3 重要性 FK 系数

结合案例中各方承担的任务量, 计算重要系数, 以施工方(1)的重要系数为列:

$$FK(1) = \frac{62\,950.66}{62\,950.66 + 56\,747.9 + 3\,613.13 + 1\,905.34} = 49\%$$

$FK(2) \sim (4)$ 分别为 46%、3%、2%.

4.4 风险系数 FR 的确定

参考已有文献, 各方风险系数(1)~(4)分别为: 0.57、0.33、0.06、0.04.

4.5 努力系数 FE 的确定

结合表 6, 各方努力系数(1)~(4)分别为: 0.37、0.17、0.37、0.14.

4.6 最终收益值的确认

结合初始分配系数 FS . 并根据项目属性设定影响系数权重. 引入风险系数(权重 0.3)、重要性系数(权重 0.3)、努力系数(权重 0.4)进行修正. 得到修正后的 Shapley 值分配系数 $F^{\text{终}}$.

$$F^{\text{终}}_s(1) = 36.5\% + 0.3 \times (49\% - 36.5\%) + 0.3 \times (57\% - 36.5\%) + 0.4 \times (37\% - 36.5\%) = 46.55\% \quad (11)$$

同理 $F^{\text{终}}_s(2)$: 30.5%、 $F^{\text{终}}_s(3)$: 17.5%、 $F^{\text{终}}_s(4)=7.4\%$.

IPD 模式需要首先保证各方可以获得行业平均利润, 即 4.1 中 $Y^{\text{初}}(1 \sim 4)$ 的值, 因此首先从总体收益抛去各方的初始收益, 之后对剩余收益进行分配. 计算过程如下所示:

$$Y_s(1 \sim 4) - Y^{\text{初}}(1 \sim 4) = 14\,368 - 4\,406 - 5\,675 - 723 - 248 = 3\,316 \text{ 万元} \quad (12)$$

各方最终受益($Y^{\text{终}}$)计算过程为: 项目初始收益值($Y^{\text{初}}$) + 项目剩余收益 \times 修正后分配系数($F^{\text{终}}_s$). 以施工方(1)为例: $Y^{\text{终}}(1) = 4\,406 + 46.55\% \times 3\,316 = 5\,949.6$ 万元. 以此类推 $Y^{\text{终}}(2) 6\,686.4$ 万元、 $Y^{\text{终}}(3) = 1\,303.3$ 万元、 $Y^{\text{终}}(4) = 493.4$ 万元.

4.7 结果分析

各方收益变化过程见表 7. 在采用 Shapley 值加权法分配方式的情况下, 施工方、设计方的收益分配比列上升. 这是由于施工方在风险系数、重要性系数得分较高, 获得了较高的风险补贴, 有别于传统模式中业主将风险转嫁给施工方却并未对其进行额外收益的补贴的做法, 这是导致传统模式工程变更较多的主要原因. 设计方收益分

配比例提高的主要原因是在努力行为中的优异表现。而 BIM 方收益的下降主要原因是风险系数、重要性普遍较低造成的。但 BIM 方收益仍高于传统模式下的收益。建设方的收益分配比例基本保持不变，但收益额度却大幅上升，源于 IPD 模式各参与方用自身努力换取项目的收益提升，收益

提升的份额一部分回馈到建设方的手中。经过优化后的 IPD 模式收益分配机制可以全面提升各方收益值，并促使各方为了整体项目收益的提升进行紧密合作，充分信任。将各方的目标转变成为项目收益最大化。

表 7 各阶段收益变化表
Tab. 7 Income change of stage

参与方	施工方		建设方		设计方		BIM 咨询	
	收益	比例/%	收益	比例/%	收益	比例/%	收益	比例/%
Y ^初	4 155	39.5	5 448	51.8	709	6.7	240	2.3
Y _s	5 240	36.5	6 636	46.2	1 18	8.3	1 304	9.1
Y ^终	5 949	41.2	6 686	46.3	1 303	9	493	3.4

5 结论与展望

(1)结合 IPD 模式特征，阐述 IPD 模式中努力行为的作用性以及努力系数在利益分配机制中调节作用，通过对国内外虚拟企业经济研究以及工程团队效能研究，按照项目建设阶段划分，构建 3 阶段 16 项努力行为事项。以此作为项目各方在项目建设阶段中的努力方向。

(2)构建努力系数评价指标体系，首先使用模糊层次分析法确定 3 阶段权重，后对各个阶段努力行为进行重要性评定，确定 16 项努力行为的绝对重要性，采用专家打分法，从任务发起角度、任务执行程度、责任归属程度三方面进行评定，确定业主方、施工方、设计方、BIM 咨询方的最终努力系数。结合案例，使用努力系数对 Shapley 值进行优化，结果表明努力系数的构建优化了 IPD 利益分配模式，提升了项目收益，促进 IPD 模式在中国的发展。

(3)通过专家打分法确定了 16 项努力行为的权重以及努力系数在整个利益分配中的重要程度，受限于专家对项目的认知程度及技术水平导致结果可能一定程度偏离实际，缺乏一定的准确性。后续研究应从实际出发，评定各方在 16 项努力行为中贡献程度，以此确立基于实际的各方努力系数权重。针对努力系数的重要程度衡量应使用多目标规划法，构建合理的数学模型，以确定努力系数、重要系数、风险系数等的重要程度。

参考文献 References

[1] The Associated General Contractors of America (AGC). Integrated project delivery for public and private owners [EB/OL]. [2017-08-22]. <http://www.wbdg.org/projectmanagement/project-delivery-teams>.

[2] KENT D C, BECERIKGERBER B. Understanding construction industry experience and attitudes toward integrated project delivery[J]. Journal of Construction Engineering & Management, 2010, 136 (8): 815-825. .

[3] 张连营,汪炼念,谷李忠. IPD 项目参与方合作关系质量演化[J]. 土木工程与管理学报,2015,32(4):1-7. ZHANG Lianying, WANG Liannian, GU Lizhong. Revolution in collaboration relationship quality among project parties in IPD[J]. Journal of Civil Engineering and Management,2015,32(04):1-7.

[4] 杨艳平,罗福周,王博俊,等. 工程分包模式下质量优化收益共享群体激励演化研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2017,49(5):740-746. YANG Yanping, LUO Fuzhou, WANG Bojun, et al. Research on the evolution of the quality optimization revenue sharing group incentive under the engineering subcontract mode[J]. Journal of Xi'an Univ of Arch & Tech (Natural Science Edition),2017,49(5):740-746.

[5] 郭玉堂,苏振民. IPD 模式下基于 Kan-BIM 的项目信息协同管理研究[J]. 施工技术,2016,45(18):58-62. GUO Yuying, SU Zhenmin. Research on information synergy management based on Kan-BIM in the mode of integrated project deliver[J]. Construction Technology ,

- 2016,45(18):58-62.
- [6] AIA NATIONAL, AIA CALIFORNIA COUNCIL. Integrated project delivery: a guide[EB/OL]. [2016-06-15]. <http://www.aia.org/contractdocs/AIAS077630#ipdguide>.
- [7] 张连营,王煜. 情商视角下 IPD 项目知识共享对合作绩效的影响研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(7): 11-16.
- ZHANG Lianying, WANG Yu. Research on the impact of IPD project knowledge sharing on cooperative performance under the perspective of emotional intelligence[J] Project Management Technology, 2016, 14(7):11-16.
- [8] 李旻,李骁,基于合作博弈理论的 IPD 项目利润分配研究[J]. 生产力研究, 2016(1):8-13,39.
- LI Min, LI Xiao. Research on profit distribution of IPD project based on cooperative game theory[J]. Productivity Research, 2016(01):8-13,39.
- [9] 马智亮,马健坤. 消除建筑工程设计变更的定量激励机制[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016, 44(8): 1280-1285.
- MA Zhiliang, MA Jiankun. To eliminate the quantitative incentive mechanism of architectural engineering design change[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2016, 44(8):1280-1285.
- [10] 王茹,王柳舒. 基于 IMOCS 算法的 IPD 团队激励池动态分配问题研究[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(8):247-254.
- WANG Ru, WANG Liushu. Study on dynamic allocation of IPD team incentive pool based on IMOCS algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2018, 54(8):247-254.
- [11] 浦培根,吕文学. 工程项目突发事件知识联盟利益分配研究[J]. 系统工程学报, 2013, 28(4):562-570.
- PU Peigen, LÜ Wenxue. Study on the interest distribution of the knowledge alliance of emergent events in engineering projects[J] Journal of Systems Engineering, 2013, 28(4):562-570.
- [12] 陈哲,陈国宏. 考虑公平参照点差异的建设项目绿色合作努力行为决策[J]. 控制与决策, 2018, 33(6): 1107-1116.
- CHEN Zhe, CHEN Guohong. Consider fair reference point difference construction project green cooperative effort behavior decision [J]Control and Decision, 2018, 33(06):1107-1116.
- [13] ZHANG L, LI F. Risk/reward compensation model for integrated project delivery[J]. Engineering Economics, 2014, 25(5). 558-567.
- [14] 王德东,李凯丽,基于 IPD 模式的项目参与方利益分配研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(10):44-49.
- WANG Dedong LI Kaili. Research on the benefit distribution of project participants based on IPD mode [J]. Project Management Technology, 2016, 14(10): 44-49.
- [15] 丁继勇,王卓甫. 建设工程项目交付方式与项目绩效研究综述[J]. 土木工程学报, 2014, 47(4):131-144.
- DING Jiyong WANG Zhuopu. A review of project delivery methods and project performance[J]China Civil Engineering Journal, 2014, 47(4):131-144.
- [16] 李成华,李慧民,基于模糊层次分析法的建筑安全管理绩效评价研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009, 41(2):207-212.
- LI Chenghua, LI Huimin. Research on the performance evaluation of building safety management based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2009, 41(2):207-212.

(编辑 桂智刚)