

工程项目承包商多层次利益分配与激励机制

胡文发¹, 朱言¹, 何新华²

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 上海海事大学 经济管理学院, 上海 201306)

摘要: 针对工程项目业主、承包商、分包商所形成的多层次管理系统, 通过参与方之间的利益分配函数, 基于多阶段博弈理论构建工程项目多层次激励协调模型. 假设所有承包商风险中性且愿意为获得更多利益而付出努力, 以承包商和分包商的利润为约束条件, 形成合作关系. 结果表明: 承包商的努力协调程度与协调成本有关, 与其固定成本无关; 利益分配系数大小不仅取决于承包商努力协调效率, 还与其他参与者的努力协调效率有关; 承包商在增强自身管理能力时, 还要与其他参与方协调, 避免其他参与方搭便车而降低项目管理总体绩效.

关键词: 承包商; 利益分配函数; 多层次; 博弈论

中图分类号: F273

文献标志码: A

Multi-layer Profit Distribution and Stimulation Model Among Contractors in Construction Project

HU Wenfa¹, ZHU Yan¹, HE Xinhua²

(1. College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Economics Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This paper develops a multi-layer stimulation and collaboration model based on the multi-phase game theory, where a client, contractors and subcontractors in a typical construction project form a multi-echelon and multi-party management system, and profits are shared among those participants by distribution functions. The assumptions are that all contractors in this model are risk neutral and they are willing to pay efforts in order to earn more profits, and the constraint conditions are the profits of general contractors and sub-contractors, who will become cooperative partnership. It is revealed that contractors' collaborative effort is related to collaborative cost, but unrelated to her fixed cost, and the profit distribution function depends not only on her collaborative efficiency but also on reciprocal collaborative efforts, which contributes to the improvement of the project

management overall performance by avoiding the opportunistic participants.

Key words: contractors; profit distribution functions; multi-layer; game theory

随着建筑市场竞争的日益加剧, 各参与方要求更多的信赖、合作和信息共享, 实现项目各参与方的共赢. 工程项目管理总分包模式是一种利用和整合外部资源的重要手段, 强调资源共享、合作、伙伴关系, 降低建筑成本, 优化建筑生产资源的配置^[1]. 总分包管理模式从业主有效需求出发, 以承包商或总承包商为核心, 将材料供应商、工程分包商、劳务分包商、设备供应商连成一个整体的项目管理系统^[2]. 总承包商与业主签订合同, 对项目的工期、成本、质量向业主负责; 在施工过程中, 分包商出现的任何问题最终都是由总承包商向业主负责.

目前, 多参与方之间的利益分配研究比较成熟的方法是供应链理论、动态联盟理论等. 在供应链利润分配研究方面, 主要的收益分配模型和研究方法有 Shapley 值法^[3]、博弈模型^[4]、优化模型^[5]等. 在联盟利润分配研究方面, 代表性的理论有委托代理理论^[6]、Shapley 值法^[7]及优化理论^[8]等. 供应链和动态联盟理论的研究为建筑工程项目总分包模式下各参与方的利润分配产生了积极的指导作用, 但是由于工程建设中不存在制造业中的分销环节, 使得众多以分销为主要环节的供应链理论在工程建设领域无法适用. 在建设领域, 国内学者对应用供应链管理和动态联盟理论分析建筑工程项目的利润分配问题也做了比较深入的研究^[9-10]. 管百海等^[11]考虑工程建设过程是典型的“订单生产”模式, 从工程项目参与方的努力程度出发, 研究了优化设计所获取的收益在设计单位和施工单位组成的投标联合体之间的

收稿日期: 2013-09-05

基金项目: 国家自然科学基金(71371145, 71102043); 教育部-中国移动科研基金(MCM20125021); 上海市教委科研创新项目(14ZS123)

第一作者: 胡文发(1968—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为工程建设管理. E-mail: wenfahu@tongji.edu.cn

分配,并得到最佳收益分配比例,但是没有阐明投标联合体收益随分配系数的变化,并且没有考虑联合体成员的行为对利润分配结果的影响。

本文针对工程项目总承包商和分包商组成的多级管理系统,引入利益分配和激励机制,通过构建项目伙伴关系,提高各参与方的努力程度和项目整体绩效.通过构建项目多层次参与方之间的博弈模型,分析工程项目总承包商和分包商之间的利润分配机制,揭示总承包商管理协调能力与分包商管理协调能力及建设项目各参与方的行为对利润分配的影响,为工程项目管理提供建议。

1 模型描述与建立

1.1 模型描述

工程项目总分包模式是由一个总承包商和 n 个专业分包商组成的多级建筑供应链,见图 1. 总承包商和各个专业分包商相互独立,能独立地做决策,形成相互合作的伙伴关系.在工程项目建设的整个寿命周期内,以总承包商为核心,将 n 个分包商、业主及相关的业务活动连成的一个满足业主有效需求的

管理协调组织^[12].

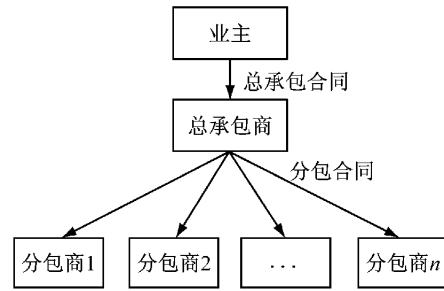


图 1 工程项目总分包模式的多级管理组织
Fig.1 Multi-layer management organization of contraction project

模型的基本假设:①模型考虑一个总承包商和 n 个分包商组成的二级管理组织;②业主为了取得良好的工程效果,愿意支付奖金,在总承包合同中规定奖励系数和奖励机制;③总承包商为了调动分包商的积极性,愿意将总承包合同的奖金同分包商进行分配;④总承包商和专业分包商都愿意为赢得激励奖金而付出努力;⑤ n 个分包商的工作结果是同质的;⑥各个承包商都从自身收益最大化的角度选择努力程度;⑦总承包商和各个分包商都是风险中性的.模型所涉及的主要参数含义见表 1.

表 1 模型主要参数及其含义

Tab.1 Main parameters and notations in this model

参数	含义
Q_0	合同价格, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商与业主签订的合同价格;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商与总承包商签订的合同价格
Q'_i	合同价格与激励奖金之和, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商与业主签订的合同价格与所得激励奖金之和;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商与总承包商签订的合同价格与所得激励奖金之和
a_i	努力协调程度, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商努力协调程度,即总承包商为获得奖金所付出的努力水平, $0 \leq a_0 \leq 1$; 当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商努力协调程度,即第 i 分包商为获得奖金所付出的努力水平, $0 \leq a_i \leq 1$
α_i	努力协调效率, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商努力协调效率,即在总承包商所付出的努力水平 a_0 下所达到的协调效果, $\alpha_0 > 0$; 当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商的努力协调效率,即在第 i 分包商为获得奖金所付出的努力水平 a_i 下所达到的协调效果, $\alpha_i > 0$
β_i	努力协调成本系数, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商努力协调成本系数,即总承包商单位努力程度所支付成本, $0 < \beta_0 \leq 1$; 当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商的努力成本系数,即第 i 分包商单位努力程度所支付成本, $0 < \beta_i \leq 1$
C_i	固定成本, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商为完成项目所付出的固定成本;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商为完成项目所付出的固定成本
C'_i	附加成本, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商为赢取奖金所付出的附加成本;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商为赢取奖金所付出的附加成本
λ_i	奖金分配系数, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商的奖金分配系数, $0 \leq \lambda_0 \leq 1$; 当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商的奖金分配系数, $0 \leq \lambda_i \leq 1$
γ_i	协调效率成本系数比, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商的协调效率成本系数比;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商的协调效率成本系数比
π	由总承包商和 n 个分包商组成的管理系统的总利润
π_i	各承包商利润, $i \in \{0, n\}$. 当 $i=0$ 时,为总承包商的利润;当 $i \neq 0$ 时,为第 i 分包商的利润
P	业主付给总承包商的奖金总额
φ_0	总承包合同规定的奖励系数, $0 \leq \varphi_0 \leq 1$

1.2 模型建立

1.2.1 总承包商角度

在总分包组织模式下,一个工程项目一般只有一个业主和一个总承包商.总承包商与业主签订合同价格 Q_0 ,且当总承包商按合同约定的工期和质量完成该工程时,业主给予总承包商奖金激励,激励奖金与合同价格、总承包商的努力协调程度、努力协调

效率、奖金比例及分包商的努力协调程度和努力协调效率等有关,计算方法为

$$P = \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i \quad (1)$$

这笔奖金由总承包商和分包商共享,总承包商的奖金分配系数为 λ_0 ,则总承包商的最终合同价

$$Q'_0 = Q_0 + \lambda_0 P = Q_0 + \lambda_0 \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i \quad (2)$$

为了达到自身目标和改善工程建设成果,总承包商除了要付出正常的成本 C_0 之外,必须另外投入一些附加的成本 C'_0 ,用于与分包商之间的协调。

另外附加的这部分成本与总承包商努力协调程度和协调成本系数有关,且随着努力协调程度和协调成本系数的增加而增加。假设附加成本表述为努力程度和协调成本系数的二次函数,则总承包的附加成本

$$C'_0 = \varphi_0 Q_0 (a_0 \beta_0)^2 \quad (3)$$

1.2.2 专业分包商角度

假设一个工程项目有 n 个专业分包商,第 i 分包商与总承包商签订合同价格 Q_i ,当分包商按分包合同约定的工期和质量完成任务时,总承包商给予该分包商一定的奖金,奖金分配系数为 λ_i ,则第 i 分包商的最终合同价格为

$$Q'_i = Q_i + \lambda_i P = Q_i + \lambda_i \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i \quad (4)$$

为了达到这部分的效果,第 i 分包商除了要支付正常的成本 C_i ,还必须另外投入一些附加的成本 C'_i ,附加成本与第 i 分包商的努力协调程度和协调成本系数有关,且随着努力协调程度和协调成本系数的增加而增加,假设附加成本表述为努力程度和协调成本系数的二次函数,则第 i 分包商的附加成本

$$C'_i = \varphi_0 Q_0 (a_i \beta_i)^2 \quad (5)$$

1.2.3 建立模型

工程项目的总利润为 π ,总承包商的利润为 π_0 ,第 i 分包商的利润为 π_i ,利润等于收入减去成本,则工程项目的总利润、总承包商的利润、第 i 分包商的利润分别为

$$\pi = Q_0 + \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i - \sum_{i=0}^n C_i - \sum_{i=0}^n \varphi_0 Q_0 (a_i \beta_i)^2 \quad (6)$$

$$\pi_0 = Q_0 + \lambda_0 \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i - C_0 - \varphi_0 Q_0 (a_0 \beta_0)^2 - \sum_{i=1}^n Q_i \quad (7)$$

$$\pi_i = Q_i + \lambda_i \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n a_i \alpha_i - C_i - \varphi_0 Q_0 (a_i \beta_i)^2 \quad (8)$$

2 模型求解分析

该博弈模型的求解分为两个阶段:第一阶段是

合作对策阶段,总承包商和各分包商共同合作完成工程项目,设计相应的利益分配与协调结构合同;第二阶段属于非合作对策,总承包商和各分包商独立地选择努力程度。从第二阶段开始逆向分析求解该利益分配与协调模型。

2.1 第二阶段的非合作博弈

从总承包商角度,若使得总承包商利润最大,需要有最佳的努力协调程度 a_0^* ,所以 π_0 对 a_0 求一阶导数可得

$$\frac{\partial \pi_0}{\partial a_0} = \lambda_0 \varphi_0 Q_0 \alpha_0 - 2 \varphi_0 Q_0 \beta_0^2 a_0 \quad (9)$$

令 $\frac{\partial \pi_0}{\partial a_0} = 0$,可解得

$$a_0^* = \frac{\lambda_0 \alpha_0}{2 \beta_0^2} \quad (10)$$

推论 1 总承包商为了实现自身利润最大化,必须付出最佳的努力程度,最佳的努力程度与其自身协调效率成正比,与其成本系数的平方成反比,而且与其所得的奖金为正相关。

证明 a_0^* 对 α_0 求一阶导数可得 $\frac{\partial a_0^*}{\partial \alpha_0} = \frac{\lambda_0}{2 \beta_0^2}$,因为 $0 \leq \lambda_0 \leq 1, 0 < \beta_0 \leq 1$,所以 $\frac{\partial a_0^*}{\partial \alpha_0} > 0$,故最佳努力协调程度与其自身协调效率成正比。

a_0^* 对 β_0 求一阶导数可得 $\frac{\partial a_0^*}{\partial \beta_0} = -\lambda_0 \frac{\alpha_0}{\beta_0^3}$,因为 $0 \leq \lambda_0 \leq 1, 0 < \beta_0 \leq 1, 0 < \alpha_0 \leq 1$,所以 $\frac{\partial a_0^*}{\partial \beta_0} < 0$,故最佳努力协调程度与成本系数的平方成反比。

a_0^* 对 λ_0 求一阶导数,可得 $\frac{\partial a_0^*}{\partial \lambda_0} = \frac{\alpha_0}{2 \beta_0^2}$,因为 $0 < \beta_0 \leq 1, 0 < \alpha_0 \leq 1$,所以分配系数越大,则总承包商的奖金越多,即总承包商努力程度与奖金数额正相关。

证毕。

从第 i 分包商的角度来看,若使得自身利润最大,需要有最佳的努力协调程度 a_i^* ,所以 π_i 对 a_i 求一次导数可得

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial a_i} = \lambda_i \varphi_0 Q_0 \alpha_i - 2 \varphi_0 Q_0 \beta_i^2 a_i \quad (11)$$

令 $\frac{\partial \pi_i}{\partial a_i} = 0$,可解得

$$a_i^* = \frac{\lambda_i \alpha_i}{2 \beta_i^2} \quad (12)$$

推论 2 第 i 分包商为了实现自身利润最大化,必须付出最佳的努力程度,最佳努力程度与其自身效率成正比,与其成本系数的平方成反比,而且与其所得的奖金比例正相关。

证明 a_i^* 对 α_i 求一阶导数可得 $\frac{\partial a_i^*}{\partial \alpha_i} = \frac{\lambda_i}{2\beta_i^2}$, 因为 $0 \leq \lambda_i \leq 1, 0 < \beta_i \leq 1$, 所以 $\frac{\partial a_i^*}{\partial \alpha_i} > 0$, 故最佳努力协调程度与其自身协调效率成正比。

a_i^* 对 β_i 求一阶导数可得 $\frac{\partial a_i^*}{\partial \beta_i} = -\lambda_i \frac{\alpha_i}{\beta_i^2}$, 因为 $0 \leq \lambda_i \leq 1, 0 < \beta_i \leq 1, 0 < \alpha_i \leq 1$, 所以 $\frac{\partial a_i^*}{\partial \beta_i} < 0$, 故最佳努力协调程度与成本系数的平方成反比。

同样, $\frac{\partial a_i^*}{\partial \lambda_i} = \frac{\alpha_i}{2\beta_i^2}$, 因为 $0 < \beta_i \leq 1, 0 < \alpha_i \leq 1$, 所以分配系数越大, 则分包商的奖金越多, 即分包商努力程度与奖金数额正相关。

证毕。

推论 3 总承包商和分包商的协调努力程度均与其固定成本无关。

证明 通过式(10)和(12)可得到推论 3。

证毕。

2.2 第一阶段的合作博弈

将 a_0^*, a_i^* 代入式(6)可得

$$\pi = Q_0 + \varphi_0 Q_0 \sum_{i=0}^n \frac{\lambda_i \alpha_i^2}{2\beta_i^2} - \sum_{i=0}^n C_i - \sum_{i=0}^n \varphi_0 Q_0 \frac{\lambda_i^2 \alpha_i^2}{4\beta_i^2} \quad (13)$$

因为 $\lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, 所以 $\lambda_0 = 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i$, 将其代入上式可得

$$\begin{aligned} \pi = & Q_0 + \varphi_0 Q_0 \left[\frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) \alpha_0^2}{2\beta_0^2} + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i \alpha_i^2}{2\beta_i^2} \right] - \\ & \sum_{i=0}^n C_i - \varphi_0 Q_0 \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right)^2 \alpha_0^2}{4\beta_0^2} - \\ & \sum_{i=1}^n \varphi_0 Q_0 \frac{\lambda_i^2 \alpha_i^2}{4\beta_i^2} \end{aligned} \quad (14)$$

工程项目总利润与第 i 分包商的奖金分配系数有关, π 对第 i 分包商的 λ_i 求导, 得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial \lambda_i} = & \varphi_0 Q_0 \left(-\frac{\alpha_0^2}{2\beta_0^2} \right) + \varphi_0 Q_0 \frac{\alpha_i^2}{2\beta_i^2} + \\ & \varphi_0 Q_0 \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) \alpha_0^2}{2\beta_0^2} - \varphi_0 Q_0 \frac{\lambda_i \alpha_i^2}{2\beta_i^2} \end{aligned} \quad (15)$$

令 $\frac{\partial \pi}{\partial \lambda_i} = 0$, 可解得

$$-\frac{\alpha_0^2}{2\beta_0^2} + \frac{\alpha_i^2}{2\beta_i^2} + \frac{\alpha_0^2}{2\beta_0^2} - \frac{\alpha_0^2}{2\beta_0^2} \sum_{i=1}^n \lambda_i - \frac{\lambda_i \alpha_i^2}{2\beta_i^2} = 0$$

因为 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_j$, 所以上式可表述为 $\frac{\alpha_i^2}{\beta_i^2} -$

$\frac{\alpha_0^2}{\beta_0^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_j = \lambda_i \left(\frac{\alpha_i^2}{\beta_i^2} + \frac{\alpha_0^2}{\beta_0^2} \right)$, 化简得

$$\lambda_i = \frac{\alpha_i^2 \beta_0^2}{\alpha_0^2 \beta_i^2 + \alpha_i^2 \beta_0^2} - \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_0^2 \beta_i^2 + \alpha_i^2 \beta_0^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_j \quad (16)$$

又因为 $\sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_j = 1 - \lambda_0 - \lambda_i (n > 1)$, 所以

$$\begin{aligned} \lambda_i = & \frac{\alpha_i^2 \beta_0^2}{\alpha_0^2 \beta_i^2 + \alpha_i^2 \beta_0^2} - \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_0^2 \beta_i^2 + \alpha_i^2 \beta_0^2} (1 - \lambda_0 - \lambda_i) = \\ & 1 - \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2} (1 - \lambda_0) \end{aligned}$$

由于 $\lambda_0 = 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i$, 代入上式得

$$\lambda_0 = 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 - \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2} (1 - \lambda_0) \right] \quad (17)$$

对于相同 n 来说 λ_0 相等, 所以

$$\left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2} \right) \lambda_0 = 1 - n + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2} \quad (18)$$

将式(17)代入式(18), 整理后得

$$\lambda_0 = \frac{1 - n + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2}}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2}} = 1 - \frac{n}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2}} \quad (19)$$

将式(19)代入式(16), 整理后可得

$$\lambda_i = 1 - \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2} \frac{n}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_0^2 \beta_i^2}{\alpha_i^2 \beta_0^2}} \quad (20)$$

此时, 令 $\gamma_0 = \alpha_0/\beta_0, \gamma_i = \alpha_i/\beta_i$. 将 γ_0, γ_i 分别代入式(19)和(20), 可得到

$$\lambda_0 = 1 - \frac{n}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_0^2}{\gamma_i^2}} \quad (21)$$

$$\lambda_i = 1 - \frac{\gamma_0^2}{\gamma_i^2} \frac{n}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_0^2}{\gamma_i^2}} \quad (22)$$

推论 4 各承包商协调效率成本系数比越大, 即协调效率越高, 所分得的奖金份额越大。

证明 λ_0 对 γ_0 求导可得

$$\frac{\partial \lambda_0}{\partial \gamma_0} = \frac{2n\gamma_0}{\left(1 + \gamma_0^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\gamma_i^2}\right)^2} \quad (23)$$

又因为 $n \geq 1, 0 < \gamma_0 = \alpha_0/\beta_0 \leq 1$, 可知 λ_0 对 γ_0 的一阶导数大于零, 单调递增. λ_i 对 γ_i 求导可得

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial \gamma_i} = \frac{2n\gamma_0^2 \left(1 + \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{\gamma_0^2}{\gamma_j^2}\right)}{\gamma_i^3 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_0^2}{\gamma_i^2}\right)^2} \quad (24)$$

同上可知 λ_i 对 γ_i 的一阶导数也大于零,单调递增。

故无论从总承包商角度还是从分包商 i 角度,奖金分配系数随着协调效率成本系数的增大而增大,所以可得推论 4。

证毕。

推论 5 各承包商的奖金分配系数不仅与自身的协调效率、成本系数有关,还与其他合作成员的协调效率、成本系数有关。当某一个承包商保持自身协调效率和成本系数不变时,其他承包商协调效率成本系数的增大会导致这一承包商奖金分配系数的减小。

证明 λ_0 对 γ_i 求导可得

$$\frac{\partial \lambda_0}{\partial \gamma_i} = - \frac{2n}{\gamma_i^3 \left(1 + \gamma_0^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\gamma_i^2}\right)^2} \quad (25)$$

因为 $n \geq 1, 0 < \gamma_i = \alpha_i / \beta_i \leq 1$, 可知 λ_0 对 γ_i 的一阶导数小于零,单调递减。

第 i 分包商的奖金分配系数对第 j 分包商的努力协调效率成本系数求导,即 λ_0 对 γ_j 求导可得

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial \gamma_j} = - \frac{\gamma_0^2}{\gamma_j^2} \frac{2n}{\gamma_i^3 \left(1 + \gamma_0^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\gamma_i^2}\right)^2}$$

同上可知 λ_i 对 γ_j 的一阶导数也小于零,单调递减。

故无论从总承包商角度还是从分包商 i 角度,当其自身协调效率和成本系数不变时,其他承包商协调效率成本系数的增大,会导致总承包商或分包商 i 奖金分配系数的减小。这就要求承包商需要随时关注其他参与方的状况,随时调整自己的工作。故此可得推论 5。

证毕。

3 算例

假设有一个项目采用固定总价合同,合同金额为 1.2 亿元,项目共有一个总承包商,总承包商将建设项目的一部分工程分包给四个分包商($n=4$)。若总承包商提前完成,则业主按照合同总价的 0.6% 向总承包商支付奖金。假设分包合同总价为 6 000 万元。总承包商和各分包商的合同价、成本价及各参数值见表 2。

(1) 分包商数量对总承包商奖金分配系数的影响

当在总承包商和分包商不改变协调效率成本系数比时,分包商个数从零增加到四个时,总承包商奖金分配系数呈逐渐下降的特征(见表 3)。

表 2 参数取值及计算结果

Tab.2 Parameter values and the calculated results

编号	$i \in \{0,4\}$	Q_i /万元	C_i /万元	α_i	β_i	$\gamma_i = \frac{\alpha_i}{\beta_i}$	$\gamma_i^2 = \frac{\alpha_i^2}{\beta_i^2}$	λ_i
1	总承包商	12 000	5 500	0.8	0.5	1.600	2.56	0.48
2	第 1 分包商	3 000	2 600	0.8	0.6	1.333	1.78	0.25
3	第 2 分包商	1 000	800	0.6	0.5	1.200	1.44	0.08
4	第 3 分包商	1 200	900	0.7	0.6	1.167	1.36	0.04
5	第 4 分包商	800	600	0.5	0.4	1.250	1.56	0.15

表 3 总承包商奖金分配系数

Tab.3 Profit distribution factor of the general contractor

编号	分包商个数 n	λ_0
1	0	1.00
2	1	0.59
3	2	0.53
4	3	0.51
5	4	0.48

总承包商若要保持奖金分配系数始终处于一个可接受的范围内,则总承包商在分包商数量增加时,必须提高努力协调效率,或降低协调成本。

(2) 分包商提高努力协调效率对其他参与方奖金分配系数的影响

在其他参与方不改变协调效率成本系数比的前

提下,第 3 分包商将其协调效率从 0.7 提高到 0.8,则其他参与方的奖金分配系数计算结果见表 4 和图 2。

计算结果表明,当其他参与方不改变协调效率成本系数比时,某一分包商协调效率越大,则该分包商奖金分配系数相应增加,同时其他参与方的奖金分配系数减小。因此,工程各参与方在工程施工过程中,应密切关注合作者的工作效率,随时对自身的工作效率进行改进。

(3) 协调效率成本系数比对奖金分配系数的影响

随着分包商努力协调效率成本系数比 γ_i 的增大,其奖金分配系数 λ_i 也会增大,说明分包商的协调效率成本系数比在一定程度上反映了承包商的专业

表 4 第 3 分包商提高努力协调效率后的参数及计算结果

Tab.4 Parameters and calculation results after the 3rd subcontractor improving coordination efficiency

编号	$i \in \{0,4\}$	$Q_i/\text{万元}$	$C_i/\text{万元}$	α_i	β_i	$\gamma_i = \frac{\alpha_i}{\beta_i}$	$\gamma_i^2 = \frac{\alpha_i^2}{\beta_i^2}$	λ_i
1	总承包商	12 000	5 500	0.8	0.5	1.600	2.56	0.45
2	第 1 分包商	3 000	2 600	0.8	0.6	1.333	1.78	0.21
3	第 2 分包商	1 000	800	0.6	0.5	1.200	1.44	0.02
4	第 3 分包商	1 200	900	0.8	0.6	1.333	1.78	0.21
5	第 4 分包商	800	600	0.5	0.4	1.250	1.56	0.11

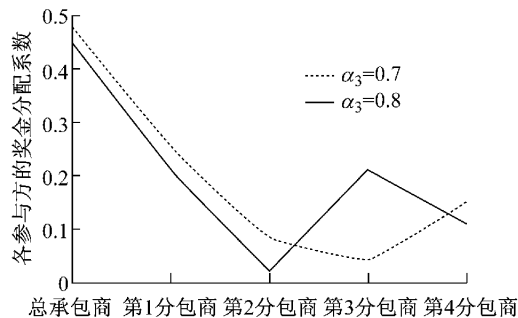


图 2 第 3 分包商提高努力协调效率对其他参与方奖金分配系数的影响

Fig.2 Influence of subcontractor to improve coordination efficiency on the others' distribution factor

能力. 因此各承包商要注意增大自身的协调效率, 减小成本系数, 增强自身的竞争能力, 从而增大奖金分配系数.

4 结语

随着建筑市场竞争的日益加剧, 工程项目总分包模式的伙伴关系成为实现项目各参与方合作共赢的重要战略, 而建立项目参与方的收益分配机制是提高工程项目整体绩效的关键因素. 本文研究由业主、总承包商和若干分包商组成的多级项目管理组织系统, 以总承包商为施工管理核心, 建立多级博弈模型. 通过分析总承包商和分包商之间的利润分配机制, 揭示总承包商的专业能力与分包商专业能力对利润分配的影响, 总承包商在选择分包商时, 应考虑工程项目整体施工承包的收益和自己的收益, 选择专业能力适中的专业分包商. 在利润分配过程中, 奖金分配系数不仅与自身的协调效率、成本系数有关, 还与其他合作成员的协调效率、成本系数有关, 不可独立观测.

参考文献:

[1] 王挺, 谢京辰. 建筑供应链管理模式(CSCM)应用研究[J]. 建

筑管理现代化, 2005(2):5.

WANG Ting, XIE Jingchen. The application of construction supply chain management [J]. Construction Management Modernization, 2005 (2):5.

- [2] 金长宏, 李启明. 对我国推行建筑供应链管理的思考[J]. 建筑经济, 2008(4):17.
JIN Changhong, LI Qiming. Consideration on carrying out construction supply chain management in China [J]. Construction Economy, 2008 (4):17.
- [3] 胡盛强, 张毕西, 关迎莹. 基于 Shapley 值法的四级供应链利润分配[J]. 系统工程, 2009, 27(9):49.
HU Shengqiang, ZHANG Bixi, GUAN Yingying. Profit allocation about the four-level supply chain based on the shapley value[J]. Systems Engineering, 2009, 27(9):49.
- [4] 潘会平, 陈荣秋. 供应链合作的利润分配机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005(6):89.
PAN Huiping, CHEN Rongqiu. A study on division of cooperative profit in supply chain[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2005 (6):89.
- [5] XU Na, ZHANG Lei, WEI Dong, et al. Profit allocation in the cooperation among the enterprises under the risks of supply chain [C]//8TH World Congress On Intelligent Control Automation (WCICA). Ji'nan: [s. n.], 2010:5319-5324.
- [6] 李亚东, 李从东, 张炎亮. 动态联盟收益分配问题的博弈研究[J]. 工业工程, 2006, 9(3):15.
LI Yadong, LI Congdong, ZHANG Yanliang. Research on the profit-allotting problem of dynamic- alliances through the game theory[J]. Industrial Engineering Journal, 2006, 9(3):15.
- [7] 陈雯, 张强. 基于模糊联盟合作博弈的企业联盟收益分配策略[J]. 北京理工大学学报, 2007, 27(8):735.
CHEN Wen, ZHANG Qiang. Profit allocation in enterprise coalition based on cooperative games under fuzzy coalitions[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2007, 27(8):735.
- [8] 冯蔚东, 陈剑. 虚拟企业中伙伴收益分配比例的确定[J]. 系统工程理论与实践, 2002(4):45.
FENG Weidong, CHEN Jian. Study on the proportion making for profit/risk allocation within virtual enterprises[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2002 (4):45.
- [9] 吕萍, 张云, 慕芬芳. 总承包商和分包商供应链利益分配研究: 基于改进的 Shapley 值法[J]. 运筹与管理, 2012, 21(6):211.
LÜ Ping, ZHANG Yun, MU Fenfang. Study on profit distribution of general contractor and subcontractor in construction supply chain-based modified shapley value [J]. Operations Research and Management Science, 2012, 21(6):211.

- [10] 张云, 吕萍, 宋吟秋. 总承包工程建设供应链利润分配模型研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(4):98.
ZHANG Yun, LÜ Ping, SONG Yinqiu. A study on profit distribution model of general contracting construction supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(4):98.
- [11] 管百海, 胡培. 重复合作联合体工程总承包商利益分配机制

[J]. 系统管理学报, 2009, 18(2):172.

GUAN Baihai, HU Pei. Study on division of profit with in repeated alliance general contractor[J]. Journal of Systems & Management, 2009, 18(2):172.

- [12] Sarlak R, Nookabadi A. Synchronization in multi-echelon supply chain applying timing discount[J]. International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 59(1/4):289.

(上接第 1346 页)

参考文献:

- [1] 北京市交通委员会. DB11/T 647—2009 城市轨道交通运营服务管理规范[S]. 北京:北京市质量技术监督局, 2009.
Beijing Municipal Commission of Transport. DB11/T 647—2009 Regulations on the operational safety management of urban rail traffic[S]. Beijing: Beijing Municipal Administration of Quality and Technology Supervision, 2009.
- [2] 张伦, 陈扶崑. 地铁车站大客流运营组织探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2011(5):87.
ZHANG Lun, CHEN Fukun. Discussion on subway station operation under peak flow [J]. Urban Mass Transit, 2011(5): 87.
- [3] 费安萍. 大客流地铁运营组织[J]. 现代城市轨道交通, 2005(2):33.
FEI Anping. Subway organizations for large passenger flow [J]. Modern Urban Transit, 2005(2):33.
- [4] 王祎南. 突发特大客流城市轨道交通运营组织研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

WANG Yinan. Study on operation organization of urban rail transit system under outburst mass passenger flow [D]. Beijing: Beijing jiaotong university, 2008.

- [5] 刘莲花, 蒋亮. 城市轨道交通网络客流控制方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2011, 33(5):51.
LIU Lianhua, JIANG Liang. Research on inflow control for urban mass transit network [J]. Railway Transport and Economy, 2011, 33(5):51.
- [6] 张海军, 杨晓光, 张珏. 高速道路入口匝道控制方法综述[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2005, 33(8):1051.
ZHANG Haijun, YANG Xiaoguang, ZHANG Jue. Review of freeway on-ramp metering methodologies[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(8):1051.
- [7] 郑飞, 杜豫川, 孙立军. 基于 ALINEA 算法快速路入口匝道单点动态控制[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2009, 37(6):766.
ZHENG Fei, DU Yuchuan, SUN Lijun. ALINEA-based on-ramp traffic-responsive local-metering strategy for expressway[J]. Journal of Tongji University: Nature Science, 2009, 37(6): 766.
- [8] Wattleworth J A, Berry D S. Peak period control of a freeway system: some theoretical investigations[R]. Washington D C: Texas Transportation Institute, 1965.