

# 基于动态博弈理论的PC构件 供应链利益协调研究

陈兵,王港

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**近年来装配式建筑在中国建筑行业迅速发展,装配式建筑中的PC构件工期短、批量化生产、环保节能等显著特点与中国建筑绿色化战略相符合。以单独大型PC构件供应商及两个总承包商所构成的二级供应链为研究对象,分别在分散决策和集中决策两种决策模式下基于Stackelberg动态博弈理论建立供应链利润模型,研究表明:同等条件下,供应链节点企业集中决策比分散决策总利润更高。运用价格折扣模型对分散决策下节点企业利益进行协调,确定价格折扣率的范围,能够有效减少总承包商PC构件的订货成本,增加供应商的利润,从而达到对供应链利益协调的效果,实现节点企业双赢的目的。

**关键词:**动态博弈;供应链;PC构件;利益协调

**中图分类号:**TU9      **文献标志码:**A

目前中国装配式建筑主要包括预制混凝土结构、预制钢结构、预制集中箱及预制骨架板材结构。预制混凝土构件(Precast Concrete)是指在预制工厂中通过机械化、标准化的加工所制造的混凝土制品<sup>[1]</sup>,即PC构件。2015年起中国政府出台大量政策支持发展装配式建筑,2021年国家发改委等十部门印发《全国特色小镇规范健康发展导则》,其中明确:大力发展绿色建筑,推广装配式建筑、节能门窗和绿色建材,推进绿色施工。国新办及住建部《关于推动城乡建设绿色发展的意见》指出:2021年新开工装配式建筑占新建建筑的比例达到了20.5%，“十三五”期间累计建成装配式建筑面积达16亿m<sup>2</sup>,年均增长率为54%。伴随随着装配式建筑的快速发展,PC构件预制工厂如雨后

春笋般崛起,而PC构件供应链节点企业协同性不高,信息化水平较差,成本居高不下等众多因素制约PC构件的发展。其中PC构件供应商与总承包商作为整体供应链中最重要的二级供应链之一,由于发展时间较短,缺乏较为全面的研究理论,二级供应链的利益协调问题成为研究重点。

许杰峰等<sup>[2]</sup>基于建筑信息模型的建筑供应链合作利益的相关理论,构建了合适的利益分配方案,即:改进Nash谈判模型,促进了建筑供应链的合作及巩固。李国刚等<sup>[3]</sup>研究了投资大数据信息对二级供应链是否具有协调作用,运用两部定价契约对分散决策模式下供应链的协调进行调整;卢亚丽等<sup>[4]</sup>以水源公司和自来水公司作为研究对象,构建了不同决策情况下Stackelberg动态博弈

模型,运用收益共享契约对集中决策情况下节点企业双方进行供应链利益协调,促进了双方自愿参与收益共享契约协调机制中进行利益分配。胡龙伟等<sup>[5]</sup>以预制构件厂和施工方作为研究对象,分别讨论了二者在 Nash 非合作博弈、Stackelberg 主从博弈的最优质量行为与最优收益关,并进行模拟。笔者基于动态博弈理论分析了 PC 构件节点企业在分散决策及集中决策的不同决策模式下供应链收益情况。运用动态博弈理论对 PC 构件供应链利益协调进行研究,能够有效促进节点企业进行合作,推动中国装配式建筑的发展。

一、问题描述及模型假设

1. 问题描述

(1)自国家大力支持装配式建筑以来,PC 构件的供应厂商便迅速崛起,但大型专业化的构件厂较少且缺少较为系统的 PC 构件供应链决策协调机制,导致 PC 构件厂商利润得不到保证,影响 PC 构件供应链的稳定。基于对装配式建筑的可持续发展,考虑大型 PC 构件供应厂商,将其视为二级供应链的供应商;将 PC 构件采购单位,即:建筑施工总承包商视为二级供应链的制造商,并建立 PC 构件决策模型,进一步分析分析其利益协调问题。

(2)选取动态理论中的 Stackelberg 博弈的主要原因在于:PC 构件供应链具备 Stackelberg 博弈的三要素,即;参与者、策略空间、效益。笔者研究的二级供应链主要是 PC 构件的供应商与总承包商之间的博弈,故供应商与总承包商是 Stackelberg 博弈的参与者;节点企业双方均有自己的目标及计划其各不相同,这构成了 Stackelberg 博弈的策略空间;在生产活动中根据不同的策略,构成各自的收益函数,获得不同的收益,这构成了 Stackelberg 博弈的效益。

2. 模型假设

(1)假设二级供应链是由一个大型 PC 构件供应商 M 和两个总承包商  $R_i (i = 1, 2)$  所构成 (见图 1),供应商 M 为 Stackelberg 博

弈中的领导者,决定 PC 构件的批发采购价格,总承包商  $R_i$  为追随者,并决定自己的订购数量。假设  $R_i$  以 Stackelberg 博弈进行竞争,其中总承包商  $R_1$  为规模较大厂商,订货量为  $q_1$ ,  $R_2$  为  $R_1$  的追随者,订货量为  $q_2$ ,因此该供应链市场需求量为  $q = q_1 + q_2$ 。(该模型也适用于价格折扣理论)

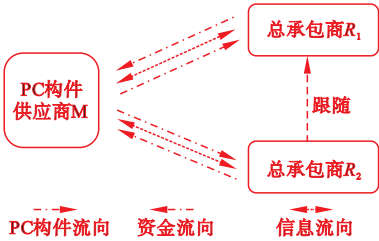


图 1 二级供应链结构

(2)基于对动态博弈理论的研究,结合 PC 构件实际情况建立 3 种模型,即 A 为分散决策下供应链成员收益模型,B 为集中决策下供应链成员收益模型。

(3)供应商和总承包商都具有合作和不合作两种行为策略,若二者之中任意一方不合作,则供应链为分散决策,反之则为集中决策。

(4)PC 构件在施工承包商建设过程中向甲方单位的投标采购报价由市场决定, $p = a - bq$ ,其中  $q$  为市场需求量, $a$ 、 $b$  为常数。

(5)假设所有供应链成员均为理性个体,会根据自己的利润最优做出决策。

二、PC 构件供应链 Stackelberg 博弈模型的建立

1. 符号说明

变量符号及定义如表 1 所示。

表 1 变量符号及含义	
变量	变量符号定义
$c$	单位构件的生产成本
$c_m$	供应商单位构件的销售成本
$c_r$	总承包商单位构件订货成本
$c_{vm}$	供应商单位构件的库存成本
$c_{vr}$	总承包商单位构件库存成本
$p^A/p^B$	分散决策/集中决策时单位构件的投标报价
$q_m$	供应商市场供应量
$q_{r1}/q_{r2}$	分散决策总承包商 $R_1/R_2$ 市场需求量
$w^A/w^B$	分散决策/集中决策单位构件的批发价格
$\pi_m^A/\pi_m^B$	分散决策/集中决策 PC 构件供应商利润
$\pi_{r1}^A/\pi_{r1}^B$	分散决策/集中决策 PC 构件总承包商 $R_1$ 利润
$\pi_{r2}^A/\pi_{r2}^B$	分散决策/集中决策 PC 构件总承包商 $R_2$ 利润

2. 分散决策最优决策模型

在供应链分散决策时,PC 构件供应商和总承包商不考虑供应链整体利润以及除此二级供应链以外的其他供应链成员的利益,仅考虑自身利益的最优,此时供应商与两个总承包商的利润模型如下:

$$\Pi_m^A = (w^A - c - c_m - c_{vm})q_m^A \tag{1}$$

$$\Pi_{r1}^A = (p^A - w^A - c_r - c_{vr})q_{r1}^A \tag{2}$$

$$\Pi_{r2}^A = (p^A - w^A - c_r - c_{vr})q_{r2}^A \tag{3}$$

式中: $q_m^A$  表示供应商在分散决策的市场供应量; $q_{r1}^A$ 、 $q_{r2}^A$  表示总承包商  $R_1$ 、 $R_2$  在分散决策时的市场需求量。

该供应链的市场逆需求函数为

$$p = a - b(q_{r1} + q_{r2}) \tag{4}$$

假设 PC 构件的最优批发价格为  $w^A$ , 总承包商  $R_i$  最优订货量为  $q_{ri}^A$ , 最优投标报价为  $p^A$ , 根据博弈论的逆向归纳法, 其各项指标的公式如下(所有带“!”的公式均表示最优解):

$$\begin{aligned} w^A! &= \frac{a + c + c_m + c_{vm} - c_r + c_{vr}}{2} \\ q_{r1}^A! &= \frac{a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr}}{4b} \\ q_{r2}^A! &= \frac{a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr}}{8b} \\ p^A! &= \frac{7a + c + c_m + c_r + c_{vm} + c_{vr}}{8} \end{aligned} \tag{5}$$

式中: $w^A!$  为构件的最优批发价格; $q_{r1}^A!$ 、 $q_{r2}^A!$  为两个总承包商的最优订货量; $p^A!$  为单位构件的最优投标报价。

将式(5)中的各式分别代入(1)(2)(3)中可得到分散决策时供应链节点企业最优利润模型,即

$$\begin{aligned} \Pi_{r1}^A! &= \frac{(a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr})^2}{32b} \\ \Pi_{r2}^A! &= \frac{(a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr})^2}{64b} \\ \Pi_m^A! &= \frac{3(a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr})^2}{16b} \end{aligned} \tag{6}$$

为了保证分散决策中供应链趋于稳定,防止链条断裂,故假设当且仅当节点企业获得正利益模型成立,即  $q^! = q_{r1}^! + q_{r2}^! > 0$ , 也就是  $a > c + c_m + c_r + c_{vm} + c_{vr}$ 。在 PC 构件

供应链分散决策模型中,  $(w^A!)$ 、 $(q_{r1}^A!)$ 、 $(q_{r2}^A!)$  为 3 个供应链节点企业分散决策的博弈均衡解,  $(\Pi_{r1}^A)$ 、 $(\Pi_{r2}^A)$ 、 $(\Pi_m^A)$  分别为总承包商  $R_1$ 、 $R_2$  和供应商最优利润模型。

3. 集中决策最优决策模型

在供应链进行集中决策时,PC 构件供应商与总承包商将看作一个整体进行利益决策,其目的是为了实现供应链整体利益的最大化,在实现整体利益最大化后,企业按照约定的合同或者方案来实行分配,达到供应链协调的目的。 $\pi^B$  表示集中决策时供应链整体利润, $q^B$  表示集中决策时总承包商 PC 构件的订购总量。

$$\Pi^B = (p^B - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr})q^B \tag{7}$$

市场逆需求函数可表示为

$$p = a - bq^B$$

由博弈论的逆向归纳法,可得

$$\Pi^B! = \frac{(a - c - c_m - c_r - c_{vm} - c_{vr})^2}{4b} \tag{8}$$

在供应链集中决策时,为了供应链能趋向稳定,须保证节点企业收益为正,满足  $q^B! > 0$ , 可得  $a > c + c_m + c_r + c_{vm} + c_{vr}$ 。在供应链集中决策时,  $(p^B! \ q^B!)$  为节点企业决策的均衡解,  $\Pi^B!$  为此时供应链的最大利润。

通过式(6)与式(8)进行比较,可得  $\Pi^B! > \Pi_m^A + \Pi_{r1}^A + \Pi_{r2}^A$ , 即:PC 构件供应链集中决策最优利润大于分散决策最优利润,且在进行 Stackelberg 博弈时,节点企业中 PC 构件供应商的最优利润要高于总承包商的利润。在实际的生产活动中,提倡集中决策模式可以有效地减少节点企业的成本,提高供应链的利润,但分散决策是不可避免的,因此为了更好地对分散决策下节点企业进行利益协调,下文将提出价格折扣模型讨论该问题。

三、价格折扣模型

1. 传统分散决策节点企业成本模型

在 PC 构件二级供应链中,节点企业既

可以通过非合作的分散决策模式来使自身利益最大化,也可以通过合作的集中决策模式保证自身利益的情况下使供应链总体利益最大化。通过上文的结论可知,集中决策时供应链的总利益要大于分散决策,在非合作的分散决策中,节点企业以自身利益最优为首要目标,总承包商追求自身最优订货量,但对于 PC 构件供应商来说并不是最优选择,只能被动地接受,因此从供应商自身利益的角度看来,为了降低自身成本、提高利润,就会要求总承包商增加订货批量,这样将导致总承包商库存、运输等各项成本增加,在传统分散决策的条件下,节点企业双方都以实现自身利益最大化为目标,以自身角度考虑最优订货批量,在 PC 构件供应商生产能力远大于总承包商的情况下,总承包商的订货成本模型为<sup>[6]</sup>

$$C_c = wd + \frac{d}{q_c}c_r + \frac{q_c h_c w}{2} \quad (9)$$

式中: $C_c$  为总承包商的订货总成本; $w$  为单位构件批发价格; $c_r$  为单次订货成本; $q_c$  为单次订货批量; $d$  为总承包商的年需求量; $h_c$  为总承包商的库存费率。

供应商的生产成本模型为

$$C_s = cd + \frac{d}{q_c}s_s + \frac{d}{nq_c}c_m + \frac{nq_c d}{2r}ch_s \quad (10)$$

式中: $C_s$  为供应商总生产成本; $s_s$  为构件单次运输成本; $r$  为 PC 构件供应商年生产量; $c$  为单位构件生产价格; $c_m$  为供应商单位构件销售成本; $h_s$  为供应商库存费率。设总承包商最优订货批量与供应商最经济生产批量存在倍数关系  $n$ , 即  $q_s = nq_c$ , 此时供应商的利润  $\pi_m$  为

$$Cs = cd + \frac{d}{q_c}s_s + \frac{d}{q_s}c_m + \frac{q_s d}{2r}ch_s \quad (11)$$

$$\Pi_m = wd - C_s \quad (12)$$

## 2. 价格折扣模型的建立与求解

### (1) 模型建立

为了维护供应链的稳定,本节提出构件价格折扣模型,旨在降低承包商订货成本,提高供应商的利润,以此来促进并优化 PC 构件供应链利益协调,达到 PC 构件供应商成

本最小化,促进企业双赢。价格折扣模型是指,PC 构件供应商在批发价格上给了一定的价格折扣,使总承包商增加订货批量,通过降价促销量来提高自身利润,在总承包商大批量少批次的采购的方针下,订货批量会增加,设为原来的  $x$  倍,假设 PC 构件供应商的价格折扣率为  $\lambda$ , 此时 PC 构件的批发价格降为  $w(1 - \lambda)$ 。

价格折扣模型是为了降低总承包商的订货成本,制定总承包商的最优订货批次与供应商的最经济生产批次,故此时双方基于价格折扣 Stackelberg 模型为

$$\begin{cases} C_{c, \min} = wd(1 - \lambda) + \frac{c_r' d}{xq_c'} + \frac{xq_c' wh_c(1 - \lambda)}{2} \\ C_{s, \min} = cd + \frac{ds_s'}{xq_c'} + \frac{dc_m'}{xnq_s'} \\ \Pi_m! = wd(1 - \lambda) - C_{s, \min} \end{cases} \quad (13)$$

式中: $C_{c, \min}$  为总承包商最小订货成本; $C_{s, \min}$  为供应商最小生产成本; $\Pi_m!$  为价格折扣模型下供应商最优模型; $c_r'$  为价格折扣之后总承包商的单次订货成本; $c_m'$  为价格折扣之后供应商单位构件销售成本; $q_c'$  为承包商最优订货批量; $q_s'$  为供应商最经济生产批量。

由式(10)对  $q_c$  求导可得总承包商采用价格折扣最优订货批次为

$$q_c' = \sqrt{2dc_r'/wh_c}$$

由式(11)对  $q_s$  是求导可得供应商采用价格折扣最经济生产批次:

$$q_s' = \sqrt{2rc_m'/ch_s}$$

在 PC 构件价格折扣的情况下,构件的售价不会低于成本价格,故

$$w(1 - \lambda) \geq c, 0 \leq \lambda \leq 1 - \frac{c}{w} \quad (14)$$

### (2) 模型分析

在总承包商采用价格折扣模型进行订货时,前提必须是折扣后的最小成本小于原订货成本,即

$$\begin{aligned} C_{c, \min} - C_c > 0 \Rightarrow \\ \lambda \geq \frac{2d(c_r' - xc_r) + q_c'^2 h_c wx(x - 1)}{(2d + q_c' h_c x) wxq_c'} \end{aligned} \quad (15)$$



将式(15)设为  $\lambda$  的下限  $a$ 。

在 PC 构件供应商采用折扣价格进行生产时,前提必须是折扣后的总收益要大于原收益,即

$$\Pi_{s, \max} - \Pi_{s, \min} > 0, \text{解得}$$
$$\lambda \leq \frac{s_s(x-1)}{wxq_c'} + \frac{c_m}{wq_c'} - \frac{c_m'}{wxq_c'} + \frac{q_c'ch_s}{2rw} \quad (16)$$

将式(16)设为  $\lambda$  的上限  $b$ 。

此时便能得到  $\lambda$  的取值范围,即: $a \leq \lambda \leq b$ ,在要在  $[a, b]$  内寻找任意的  $\lambda$  值,PC 构件的节点企业就会采用价格折扣模型,达到增加供应商利润、降低总包订货成本的目的,对于提高整条供应链的总利润,维护供应链的稳定有较大的帮助。

(3)模型算例

为了进一步确定折扣系数  $\lambda$  对供应链节点企业成本的影响,引入具体项目数据进行研究,将某区域碧桂园凤凰城作为区域的标杆项目,该项目 2019 年开盘,截至目前一标段已交付,项目共 5 个标段、55 栋建筑,其中 22 栋别墅、7 栋叠墅、5 栋商业用房,其余为高层。楼梯、阳台及部分楼板为 PC 构件,项目 PC 构件总供应商  $M$  与总承包商  $g_1$  就预制楼梯进行利益谈判,获取的项目数据如下:单位构件批发价格  $w = 500$ ,总承包商的年需求量  $d = 5\,000$ ,单次订货成本  $c_r = 200$ ,供应商与总承包商的库存费率  $h_c = h_s = 0.3$ ,单位构件生产成本  $c = 300$ ,供应商销售成本  $c_m = 500$ ,单次运输成本为  $s_s = 200$ ,价格折扣后的订货成本  $c_r' = 150$ ,价格折扣后的销售成本  $c_m' = 100$ ,供应商年生产量为  $r = 30\,000$ ,据此数据可以得到  $a$ 、 $b$  与  $x$  的数量关系:

$$a = \frac{547.5x + 410.96}{50\,000x + 547.5x^2}$$
$$b = 0.023 - \frac{0.012}{x}$$

在结合具体数据得到  $a$ 、 $b$  与倍数  $x$  的具体关系式之后,赋予不同的  $x$  值,可以得到具体的  $a$ 、 $b$  值,以此确定  $\lambda$  的取值范围,结果如表 2 所示。

表 2 倍数 $x$ 对应不同的 $a$ 、 $b$ 与 $\lambda$ 的值			
$x$	$a$	$b$	$\lambda$
2	0.015	0.016	[0.015,0.016]
3	0.013	0.019	[0.013,0.019]
4	0.013	0.020	[0.013,0.020]
5	0.012	0.021	[0.012,0.021]

根据表 2 数据可得,价格折扣下限  $a$  与倍数  $x$  成反比,价格折扣上限  $b$  与  $x$  成正比,如表 3 和表 4 所示,将总承包商的订货批次增加为原来的 2 倍,订货批次就缩减为原来的 1/2,折扣系数为 0.015 时,项目总承包商预制楼梯的订货成本将降低 30.62%,供应商利润将增加 14.35%。

表 3 当订货倍数 $x = 2$ 时总承包商成本明细			
$\lambda$	$C_c$	$C_{c, \min}$	$C_c - C_{c, \min}$
0.015	2 554.77	2 526.70	28.07
0.016	2 554.77	2 524.15	30.62

表 4 当订货倍数 $x = 2$ 时供应商利润明细			
$\lambda$	$\pi_m$	$\pi_{m, \max}$	$\pi_{m, \max} - \pi_m$
0.015	932.29	946.64	14.35
0.016	932.29	944.14	11.85

据表 3、表 4 可得到结论:当 PC 构件供应商对总承包商提供合理的价格折扣时,总承包商会增加订货批量来降低自身的订货成本,而供应商将通过“薄利多销”获取更多的利润,因此供应链获得了协调,维持了稳定。故在 PC 构件节点企业进行分散决策时,引入价格折扣模型能够有效的对供应链进行利益协调,减少总承包商的订货成本,提高供应商的利润。

四、结 论

基于动态博弈理论建立 Stackelberg 博弈模型,分析不同决策模式下供应链总利益分析得到:集中决策优于分散决策。故在制定合理的收益分配方案的条件下,集中决策能够大大提高供应链节点企业的收益及供应链的总收益。

在 PC 构件供应链进行分散决策时,引入价格折扣模型并选择合适的价格折扣系数  $\lambda$ ,能够有效地减少总承包商的订货成本、能有效降低供应商的生产成本、增加利润,对供应链能有进行有效地利益协调,维持整个二级供应链系统的稳定。

实现供应链利益协调,供应链企业在进行集中决策时,要加强企业交流,制定合理的利益分配方案,按照预定方案来进行利益分配,促进企业双赢;供应链企业在进行分散决策时,可以引入价格折扣或者其他利益协调模型来降低成本,增加利润,以此来促进供应链稳定及可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 顾勇新. 装配式建筑设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 许杰峰, 雷星晖. 基于建筑信息模型的建筑供应链合作利益分配[J]. 中国科技论坛, 2016(10): 134 - 139.
- [3] 李国刚, 宫小平. 大数据信息对二级供应链利润的影响与协调研究[J]. 统计与信息论坛, 2018, 33(4): 32 - 38.
- [4] 卢亚丽, 翟露雨, 李战国. 水质保证下南水北调工程可持续供应链利益协调分析[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2021, 37(5): 34 - 40.
- [5] 胡龙伟, 黄宝伦, 王雪. 装配式建筑质量行为博弈研究: 基于施工方和预制构件厂视角[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2020, 22(4): 376 - 381.
- [6] 员慧慧, 温修春, 陆建飞, 等. 建筑材料供需双方基于采购价格的 Stackelberg 博弈[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2020, 34(2): 192 - 196.
- [7] 刘璨, 姜安民, 熊齐伟, 等. 基于组合赋权 TOPSIS 模型的装配式建筑 PC 构件供应商选择方法[J]. 中阿科技论坛, 2021(1): 54 - 59.
- [8] 张青霞, 余健俊, 叶嵩. 基于 GRAP-VIKOR 的装配式建筑 PC 构件供应商选择决策[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(1): 165 - 171.
- [9] 张李浩, 范体军, 杨惠霄. 基于 RFID 技术的供应链投资决策及协调策略研究[J]. 中国管理科学, 2015(8): 40 - 46.
- [10] 张玉华, 戴更新, 韩广华, 等. 需求预测信息共享中基于信任的价格折扣模型[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(12): 2737 - 2746.
- [11] 张桂涛, 胡劲松, 孙浩, 等. 由零售商负责回收的多期闭环供应链网络均衡[J]. 运筹与管理, 2015, 24(1): 57 - 66.
- [12] ZHANG C T, LIU L P. Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game [J]. Applied mathematical modelling, 2013, 37(5): 3369 - 3379.
- [13] Xiao T, Hi K, Yang D. Coordination of a supply with consumer return under demand uncertainty [J]. International journal of production economics, 2010, 124(1): 171 - 180.

## Research on Benefit Coordination of PC Member Supply Chain Based on Dynamic Game Theory

CHEN Bing, WANG Gang

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** In recent years, prefabricated buildings have developed rapidly in China's construction industry. The remarkable characteristics of prefabricated PC components, such as short construction period, mass production, environmental protection and energy saving, are in line with the strategy of green buildings in China. The large PC component suppliers and two general contractors are the research objects, which are decentralized decision model and centralized model on the basis of Stackelberg dynamic game theory to establish profit model of the supply chain under the same conditions. The price discount model is used to coordinate the interests of node enterprises under decentralized decision, determine the scope of price discount rate, which can effectively reduce the order cost of PC components of the general contractor, increase the profits of suppliers, so as to achieve the effect of supply chain interests coordination and achieve the win-win goal of node enterprises.

**Key words:** dynamic game; supply chain; PC components; benefit coordination

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)