

# 政府补贴下装配式建筑企业信息化生产决策研究

殷金龙, 李 真

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年2月14日; 录用日期: 2025年3月13日; 发布日期: 2025年4月11日

## 摘 要

为了加快建筑行业信息化发展, 提高生产智能化水平, 政府制定了一系列政策鼓励建筑企业开发、消费者购买装配式建筑。装配式建筑装配率低、生产成本低是制约产业发展的主要问题。通过构建包括政府、企业和两类消费者的博弈模型, 比较分析了仅补贴企业、仅补贴消费者以及没有政府补贴三种补贴政策的激励效应。研究表明政府补贴可以增加市场对装配式建筑的需求, 提高建筑企业的利润, 从而推动装配式建筑行业的发展。当补贴力度保持稳定时, 补贴对象的差异不会影响企业的利润。

## 关键词

装配式建筑, 政府补贴, 装配率, 信息化

# Research on Information Production Decision-Making of Prefabricated Construction Enterprises under Government Subsidy

Jinlong Yin, Zhen Li

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2025; accepted: Mar. 13<sup>th</sup>, 2025; published: Apr. 11<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

To speed up the development of informatization in the construction industry and improve the level

of intelligent production, the government has formulated a series of policies to encourage construction enterprises to develop and consumers to buy prefabricated buildings. The low assembly rate and high production cost of prefabricated buildings are the main problems restricting the development of industry. By constructing a game model including the government, enterprises and two types of consumers, this paper compares and analyzes the incentive effects of three kinds of subsidy policies: only subsidizing enterprises, only subsidizing consumers and no government subsidies. Research shows that government subsidies can increase the market demand for prefabricated buildings, improve the profits of construction enterprises, and thus promote the development of prefabricated construction industry. When the intensity of subsidies remains stable, the differences in the object of subsidies will not affect the profits of enterprises.

## Keywords

Prefabricated Construction, Government Subsidy, Assembly Rate, Informationization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

装配式建筑信息化包括实时监测构建生产、BIM 设计装配式建筑作为建筑产业信息化转型升级的核心手段, 引领建筑业变革和产业信息化发展[1]。装配式建筑采用标准化构件和智能化技术, 通过模块化生产直接在工厂内制造和组装预制构件, 然后运输到现场进行拼装, 可以显著提高建筑效率、节约资源[2]。近年来, 我国大力发展装配式建筑, 但当前装配式建筑标准化程度较低, 技术规模未成体系, 使得装配式建筑的综合成本居高不下, 从而导致其建筑面积占比和规模化程度仍然较低[3]。

为了扩大装配式建筑的产业规模, 国务院出台的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中明确提出要大力发展装配式建筑。在此基础上, 各省市相继出台了针对装配式建筑企业和消费者的政府补贴政策[4]。如 2023 年 2 月发布的《上海市建筑节能和绿色建筑示范项目专项扶持资金管理办法》中提出: 符合装配整体式建筑示范的项目, 按 AA、AAA 等不同等级给予开发商相应补贴。除了针对开发商的激励政策, 一些城市也会给予消费者一定的补贴。《台州市人民政府关于推进绿色建筑和建筑工业化发展的实施意见》中明确, 对在规定时间内购买装配式商品住宅的消费者, 按房屋成交计税价格的 0.8% 给予购房补贴。陕西省也出台了类似的税费支持政策给消费者一定的购房补贴。虽然各省都发布了相关政策文件以推动装配式建筑的发展, 但在补贴对象和补贴类型上还不够完善, 补贴对象差异对补贴效果的影响还未明确。因此, 为更有效地促进装配式建筑行业信息化的发展, 对政府来说, 分析不同补贴政策的效果以及如何制定更有针对性的财政补贴政策是需要解决的重要问题[5]。

## 2. 文献综述

装配式建筑信息化生产决策旨在通过信息技术优化生产流程, 提升效率和质量。随着建筑工业化的发展, 传统生产方式已无法满足需求, 信息化技术(如 BIM、物联网、大数据等)的应用成为解决这一问题的关键。肖静华等[6]从转型路径、影响因素及价值链选择三方面为制造业企业数字化转型实践及适应性变革研究提供了契合本土情境的理论解释。于毅等[7]以工业和信息化部 2023 年发布的 50 家双跨工业互联网平台为研究样本, 揭示我国领先工业互联网平台发展能力形成的复杂驱动因素组合。通过政府补贴

政策鼓励企业开发装配式建筑, 可以促使企业提高信息化生产水平。

学者们已经对绿色建筑和装配式建筑产业链的激励政策及相关问题进行了较为广泛的研究。一些学者在研究各种政策后确定了政府补贴的政策有效性。Luo 等[8]汇总并分析了 133 条装配式建筑领域的相关政策, 发现考虑到补贴可能带来的财政压力, 政府很少制定直接补贴相关的政策。Han 等[9]构建了包含双寡头建筑开发商市场份额函数、产品价格函数和利润函数的 Hotelling 模型, 研究了双寡头建筑开发商的策略选择、收益矩阵策略对市场份额、最优价格和利润的影响。Wang 等[10]分析了影响政策效果的关键变量, 指出增加声誉激励、财务激励、消费者接受程度和惩罚以及减少额外成本可以有效推动房地产开发商建设装配式建筑。郭斌等[11]构建了政府不介入情形下、补贴型激励模式下及补贴—惩罚型激励模式下绿色住宅开发销售的决策模型, 发现补贴—惩罚型激励模式比补贴型激励模式和政府不介入情形都更有效。Li 等[12]采用新闻报道分析的方法, 分析表明影响装配式建筑发展最大的障碍是高昂的预制件运输成本。Han 等[13]分析和量化装配式建筑行业的利益相关者之间的动态和互动关系, 其认为消费者偏好和政府补贴是影响建筑开发商决策的两个关键因素。另外, 学者们也对不同类型的补贴政策进行了更深入的研究。温兴琦等[14]构建了基于 3 种政府补贴策略的绿色供应链成员之间 Stackelberg 博弈模型, 比较分析了在相同的政府补贴支出条件下不同补贴策略的补贴效果。朱庆华等[15]建立了绿色供应链管理中考考虑产品绿色度和政府补贴分析的三阶段博弈模型, 为绿色供应链管理中政府与供应链上最终产品生产商的决策提供参考。Wang 等[16]比较了两级供应链在三种补贴方案下的企业决策以及利润, 提出政府应根据绿色产品的单位利润和环境成本制定适当的补贴方案和补贴水平的政策建议。Jiang 等[17]分析了政府补贴对制造商定价、组装商定价、组装率决策与利润的影响, 发现政府补贴政策能为装配式建筑企业带来更多的利润。He 等[18]研究了四种不同的补贴政策对促进绿色建筑发展的激励效果, 分析的结果表明政府补贴对促进绿色建筑发展有积极作用。

之前的研究大多将政府补贴作为一个考虑因素, 很少有文献针对装配式建筑的开发商、消费者的不同补贴策略的激励效果差异进行研究。并且, 少有学者从参与主体视角分析政府、开发商和消费者在建设装配式建筑过程中的成本效益。我们的研究在以下两个方面不同于以往的文献。首先, 我们研究了在不同的补贴政策下, 同时开发传统建筑和装配式建筑的企业定价决策。第二, 本文探讨了不同的政府补贴政策对装配式建筑企业信息化生产决策的影响。政府对建筑企业和消费者的补贴都可以提高市场需求, 促进装配式建筑产业信息化的发展。但是, 补贴对象的差异也会对补贴效果产生影响。因此, 政府补贴政策的选择至关重要。基于此, 本文考虑了消费者绿色偏好, 研究了无政府补贴、补贴消费者和补贴建造企业三种补贴政策, 旨在分析并解决以下问题: (1) 哪种补贴政策对政府或企业更有利? (2) 不同补贴策略下建筑企业如何定价? (3) 不同补贴策略下政府如何确定补贴系数? 为解决上述问题, 本研究采用博弈论方法, 深入探讨了装配率变化、建设成本对补贴效果的影响机制。在此基础上, 通过数值模拟与比较分析, 为政府制定更为精准的补贴政策提供建议, 并为装配式建筑开发商在复杂市场环境中的生产决策提供指导, 以期推动装配式建筑行业信息化的发展, 实现产业现代化[19]。

### 3. 模型构建

本文的研究主体为一个大型建筑企业, 其既建造传统建筑, 同时也开发装配式建筑。在第一阶段, 政府决定补贴方案和单位补贴系数。在第二阶段, 企业确定传统建筑和装配式建筑的价格。首先, 建筑企业开发的装配式建筑须符合当地政府要求的最低装配率。建筑装配率用  $\alpha$  表示。开发装配式建筑可以得到政府补贴, 而传统建筑也需要达到政府要求的最低装配率标准。传统建筑单位成本  $c_1$ , 单位售价  $p_1$ ; 装配式建筑装配率为  $\alpha_2$ , 单位成本  $c_2$ , 单位售价  $p_2$ 。开发装配式建筑会导致建造成本增加, 相应的售价

也会提高( $c_2 > c_1$ ,  $p_2 > p_1$ )。消费者是装配式建筑的需求方, 其根据自身需求进行购买。装配式建筑的消费者也可以分为两类, 一类消费者认为装配式建筑的质量和性能难以保证, 倾向于购买传统建筑; 另一类消费者环保意识较强, 认为装配式建筑标准化程度高、安全性好, 倾向于购买装配式建筑。消费者对传统建筑的偏好水平用  $v$  表示, 反映消费者购买传统建筑的意愿。 $\sqrt{w\alpha}v$  为消费者对装配式建筑的偏好水平。 $\eta$  是消费者偏好支付系数, 表示建筑装配率每提高一个单位消费者愿意支付的费用。由于装配式建筑技术仍处于发展阶段, 开发装配式建筑会导致建设成本增加。假设额外成本为  $k\alpha^2$ ,  $k$  为额外成本系数。

不考虑政府补贴时, 消费者购买传统建筑的效用为  $v - p_1$ , 购买装配式建筑的效用为  $\sqrt{w\alpha}v - p_2$ 。若  $v - p_1 > 0$  且  $v - p_1 > \sqrt{w\alpha}v - p_2$ , 即  $v > p_1$  且  $v < \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买传统建筑。另外, 设  $p_1 < \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 保证消费者购买传统建筑的效用大于 0。若  $\sqrt{w\alpha}v - p_2 > 0$  且  $\sqrt{w\alpha}v - p_2 > v - p_1$ , 即  $v > \frac{p_2}{\sqrt{w\alpha}}$  且  $v > \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买装配式建筑。因为  $p_1 < \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 又  $p_1 < \frac{p_2}{\sqrt{w\alpha}}$ , 所以  $\frac{p_2}{\sqrt{w\alpha}} < \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$  ( $p_2\sqrt{w\alpha} - 1 < \sqrt{w\alpha}(p_2 - p_1)$ , 即  $-p_2 < -p_1\sqrt{w\alpha}$ ,  $p_2 > p_1\sqrt{w\alpha}$ )。

综上, 当  $p_1 < v < \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买传统建筑;  $\frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1} < v < 1$ , 消费者购买装配式建筑; 传统建筑需求量  $q_1 = \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1$ , 装配式建筑需求量  $q_2 = 1 - \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ 。

当补贴企业时, 设开发单位装配式建筑可得到补贴  $s\alpha$ , 社会福利增加  $\theta\alpha$ , 所以企业建造装配式建筑的实际单位成本为  $c_2 - s\alpha$ 。在此情况下, 消费者决策与无政府补贴时相同, 即传统建筑和装配式建筑需求量分别为  $q_1 = \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1$ ,  $q_2 = 1 - \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ 。

当补贴消费者时, 设消费者购买单位装配式建筑可得到补贴  $t\alpha$ , 社会福利增加  $\theta\alpha$ , 所以购买装配式建筑的实际费用为  $p_2 - t\alpha$ 。在此情况下, 消费者购买传统建筑的效用为  $v - p_1$ , 购买装配式建筑的效用为  $\sqrt{w\alpha}v - (p_2 - t\alpha)$ 。若  $v - p_1 > 0$  且  $v - p_1 > \sqrt{w\alpha}v - (p_2 - t\alpha)$ , 即  $v > p_1$  且  $v < \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买传统建筑。另外, 设  $p_1 < \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 保证消费者购买传统建筑的效用大于 0。若  $\sqrt{w\alpha}v - (p_2 - t\alpha) > 0$  且  $\sqrt{w\alpha}v - (p_2 - t\alpha) > v - p_1$ , 即  $v > \frac{p_2 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha}}$  且  $v > \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买装配式建筑。因为  $p_1 < \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 又  $p_1 < \frac{p_2 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha}}$ , 所以  $\frac{p_2 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha}} < \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ 。

综上, 当  $p_1 < v < \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 消费者购买传统建筑;  $\frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1} < v < 1$ , 消费者购买装配式建筑; 传统建筑需求量  $q_1 = \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1$ , 装配式建筑需求量  $q_2 = 1 - \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}$ 。

## 4. 模型求解

### 4.1. 无补贴模型

在此情境下, 政府不补贴企业和消费者, 建筑企业决定传统建筑和装配式建筑的价格以获得最高利润。企业利润为:

$$\begin{aligned}\pi^a &= (p_1 - c_1)q_1 + (p_2 - c_2)q_2 - k\alpha^2 \\ &= (p_1 - c_1)\left(\frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1\right) + (p_2 - c_2)\left(1 - \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}\right) - k\alpha^2\end{aligned}$$

此时传统建筑的最优价格  $p_1^a = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ , 装配式建筑的最优价格  $p_2^a = \frac{1}{2}(\sqrt{w\alpha} + c_2)$ ; 传统建筑的需求  $q_1^a = \frac{\sqrt{w\alpha}c_1 - c_2}{2 - 2\sqrt{w\alpha}}$ , 装配式建筑的需求  $q_2^a = \frac{\sqrt{w\alpha} + c_1 - c_2 - 1}{2(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ ; 企业最大利润:

$$\pi^{a*} = \frac{4k\alpha^2 - (4k\alpha^2 - 1)\sqrt{w\alpha} + w\alpha + \sqrt{w\alpha}c_1^2 + 2c_2 - 2(\sqrt{w\alpha} + c_1)c_2 + c_2^2}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$$

结论 1: 在没有政府补贴时, 传统建筑的价格只与其单位生产成本相关, 其最优价格随着单位成本的增加而增加。装配式建筑的价格取决于建筑装配率、单位生产成本以及消费者偏好系数。研究表明, 当消费者更加偏好装配式建筑、建筑单位成本上升时, 开发商也会相应提高装配式建筑的定价。

#### 4.2. 补贴企业模型

当政府补贴企业时, 首先, 政府确定补贴系数。政府效用函数  $u^b = (\theta - s)\alpha q_2$ ,  $s$  为政府补贴企业的单位补贴系数,  $\theta$  为开发装配式建筑而增加的单位社会福利。然后, 企业决定传统建筑和装配式建筑的价格, 企业利润为:

$$\begin{aligned}\pi^b &= (p_1 - c_1)q_1 + (p_2 - c_2 + s\alpha)q_2 - k\alpha^2 \\ &= (p_1 - c_1)\left(\frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1\right) + (p_2 - c_2 + s\alpha)\left(1 - \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{w\alpha} - 1}\right) - k\alpha^2\end{aligned}$$

此时, 传统建筑的最优价格  $p_1^{b*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ , 装配式建筑的最优价格  $p_2^{b*} = \frac{1}{4}(-1 + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 + c_2)$ ; 最佳政府补贴系数  $s^* = \frac{1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + c_2}{2\alpha}$ ; 传统建筑需求  $q_1^{b*} = \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + (1 - 2\sqrt{w\alpha})c_1 + c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 装配式建筑需求  $q_2^{b*} = \frac{\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ ; 政府补贴效用为  $\frac{(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)^2}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ 。

企业最大利润为:

$$\begin{aligned}\pi^{b*} &= -k\alpha^2 + \frac{(4s\alpha + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 - 3c_2 - 1)(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)}{16(\sqrt{w\alpha} - 1)} \\ &\quad + \frac{(c_1 - 1)(1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + (2\sqrt{w\alpha} - 1)c_1 - c_2)}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}\end{aligned}$$

结论 2: 在补贴建筑企业时, 最佳政府补贴系数与传统建筑价格呈负相关, 而与装配式建筑价格呈正相关。此时, 传统建筑的最优价格与没有补贴时的价格相同, 说明传统建筑的定价不受政府补贴的影响, 只与其成本相关。与没有补贴不同的是, 该政策下装配式建筑的价格还与传统建筑建造成本、装配率影响的社会福利有关。另外, 传统建筑和装配式建筑开发成本的增加都会导致装配式建筑价格上升。在实

际建设过程中, 为了提高建筑装配率, 往往需要付出较高的生产和建设成本。这也要求建筑企业通过提高信息化水平, 以降低构件生产和现场安装成本。

### 4.3. 补贴消费者模型

当补贴消费者时, 首先, 政府确定补贴系数使得社会福利最大化。政府效用函数  $u^c = (\theta - t)\alpha q_2$ ,  $t$  为政府补贴消费者的单位补贴系数,  $\theta$  为购买装配式建筑而增加的单位社会福利。然后, 企业决定传统建筑和装配式建筑的价格, 企业利润为:

$$\begin{aligned}\pi_c &= (p_1 - c_1)q_1 + (p_2 - c_2)q_2 - k\alpha^2 \\ &= (p_1 - c_1)\left(\frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1} - p_1\right) + (p_2 - c_2)\left(1 - \frac{p_2 - p_1 - t\alpha}{\sqrt{w\alpha} - 1}\right) - k\alpha^2\end{aligned}$$

此时, 传统建筑的最优价格  $p_1^c = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ , 装配式建筑的最优价格  $p_2^c = \frac{1}{4}(1 + \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + 3c_2)$ ;

最佳政府补贴系数  $t^* = \frac{1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + c_2}{2\alpha}$ ; 传统建筑的需求  $q_1^c = \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + (1 - 2\sqrt{w\alpha})c_1 + c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 装

配式建筑的需求  $q_2^c = \frac{\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ ; 政府补贴效用为  $\frac{(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)^2}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ 。

企业最大利润为:

$$\begin{aligned}\pi^{c*} &= -k\alpha^2 + \frac{(4s\alpha + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 - 3c_2 - 1)(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)}{16(\sqrt{w\alpha} - 1)} \\ &\quad + \frac{(c_1 - 1)(1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + (2\sqrt{w\alpha} - 1)c_1 - c_2)}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}\end{aligned}$$

结论 3: 补贴对象差异不会影响政府的最优补贴系数。这是因为两种政策都能让消费者收益, 并且对装配式建筑的需求影响相似。随着建造装配率的增加, 装配式建筑的最优价格也随之增加。这是因为装配率提高会导致建筑开发成本和消费者购买意愿都增加。通过比较两种建筑的建筑成本对其价格和政府补贴系数的影响, 可以发现装配式(传统)建筑的建造成本越高, 装配式建筑的最优价格越高(越低), 需求越低(越高), 政府补贴系数越高(越低)。因此, 政府可以通过提高补贴水平促进装配式建筑市场的发展。当下各地政府已经出台了税率优惠、容积率奖励、保证金减免、直接补贴等各类型政策鼓励企业建设、开发商购买装配式建筑。研究表明, 政府在制定激励政策时应将重点放在补贴力度而非补贴对象上。在保证财政支出不超预算的前提下适当提高补贴力度, 可以更有效地促进建筑业现代化发展。

### 4.4. 政策比较分析

通过对比不同政策下的建筑价格、需求、收益等参数, 可以进一步得到以下结论。

$$t^* = s^*; p_1^{a*} = p_1^{b*} = p_1^{c*}, p_2^{a*} < p_2^{b*} < p_2^{c*}.$$

当政府补贴建筑开发商时, 开发商会通过降价的方式使得消费者也受益。例如, 当下常见的各种家电补贴政策, 消费者可以直接在线下商场以补贴后的价格购买产品。因此, 两种补贴政策下的最优政府补贴系数相同。

不同政策下, 传统建筑的最优价格均相同。由此可见, 政府补贴不会影响传统建筑的最优价格。补贴消费者时, 装配式建筑的最优价格最高; 补贴开发商时, 装配式建筑的最优价格最低。这是因为补贴开发商相当于降低了装配式建筑的建筑成本, 而补贴消费者相当于降低消费者购买费用。因此, 可以通过调整补贴对象控制装配式建筑价格, 维持市场稳定。

$$q_1^{b^*} = q_1^{c^*} < q_1^{a^*}, \quad q_2^{b^*} = q_2^{c^*} > q_2^{a^*}.$$

当  $1+c_2-\sqrt{w\alpha} < c_1$ ,  $q_2^{a^*} > 0$ ; 当  $1-\sqrt{w\alpha}-\alpha\theta+c_2 < c_1$ ,  $q_2^{b^*} = q_2^{c^*} > 0$

相比于无补贴情况, 政府补贴会导致传统建筑需求量下降, 装配式建筑需求量上升。并且, 补贴对象差异不会影响需求量。研究结果表明, 对企业和消费者的补贴都可以促进装配式建筑的销售, 且两种补贴的促进效果相同。这是因为企业通过调整装配式建筑的定价实现自身利润最大化, 导致不同补贴政策下建筑销量相同。

无补贴时, 若  $1+c_2-\sqrt{w\alpha}-\alpha\theta < c_1 < 1+c_2-\sqrt{w\alpha}$ , 企业不会建造装配式建筑; 当存在政府补贴时, 企业更倾向于建造装配式建筑。这表明政府补贴可以有效促进装配式建筑的推广。

## 5. 数值分析

以上分别研究了无补贴、补贴企业、补贴消费者三种情况下的最优决策, 接下来通过数值模拟进一步完善理论文献。首先分析装配率变化对建筑需求量、价格和企业利润的影响, 设参数  $c_1 = 0.1$ ,  $c_2 = 0.2$ ,  $w = 10$ ,  $k = 0.1$ ,  $\theta = 2.14$ ; 然后分析装配式建筑单位成本带来的影响, 设参数  $c_1 = 0.1$ ,  $\alpha = 0.17$ ,  $w = 10$ ,  $k = 0.1$ ,  $\theta = 1.7$ 。

图1展示了装配式建筑的装配率和单位成本对装配式建筑价格的影响。研究表明, 在各政策影响下, 装配式建筑单位成本和装配率的提高均会导致建筑价格上升。这是因为为了达到更高的装配率, 企业需要投入更多的研发和建设成本。由此可见, 建设成本和装配率是影响装配式建筑价格的最主要因素。

图2展示了装配式建筑的装配率和单位成本对建筑需求的影响。随着装配率的提高, 政府补贴下装配式建筑的需求下降, 传统建筑的需求上升; 无补贴下结果相反, 装配式建筑的需求上升, 传统建筑的需求下降。因此, 政府补贴反而降低了市场对装配式建筑的需求。另外, 随着装配式建筑成本的上升, 其需求逐渐下降, 传统建筑的需求上升。这表明建造成本会影响企业的开发策略, 最终导致市场需求变化。目前, 装配式建筑在新建建筑中占比较低, 整体装配率不高, 主要是因为其过高的建设成本。所以, 政府应以高端化、集群化为方向, 创新智能建造模式, 积极培育高新技术企业, 从而提高市场需求。

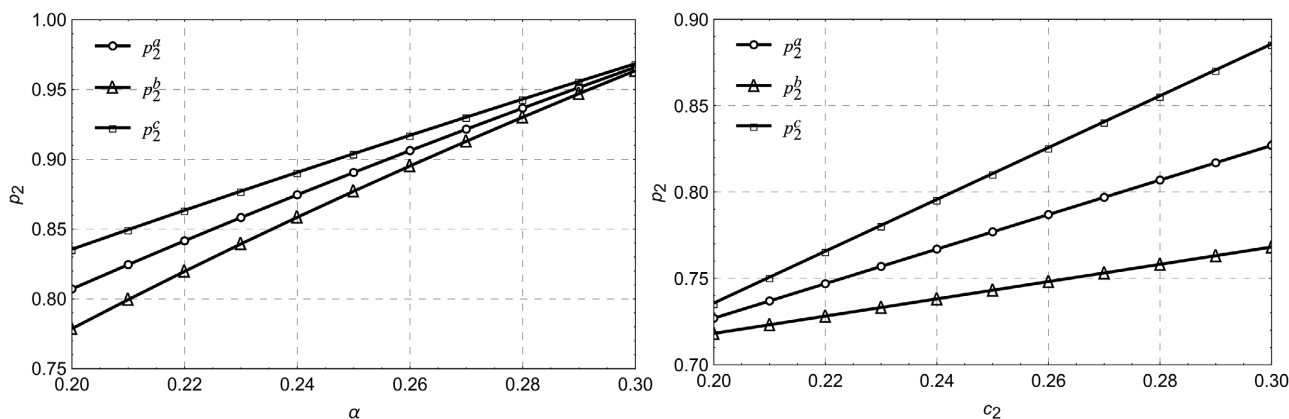


Figure 1. Prefabricated building price change chart

图1. 装配式建筑价格变化图

图3展示了装配式建筑的装配率和单位成本对企业利润的影响。随着装配率的提高, 各政策影响下企业的利润均增加, 这一现象说明企业扩大对装配式建筑的投入可以有效提高收益。另外, 随着装配式建筑成本的上升, 企业的利润均下降, 这是因为成本的增加会导致装配式建筑需求显著降低。由此可见, 装配式建筑的建设成本是影响企业利润的主要因素。努力实现装配式建筑产业工业化, 降低其单位建设成本, 是促进装配式建筑行业发展的关键。

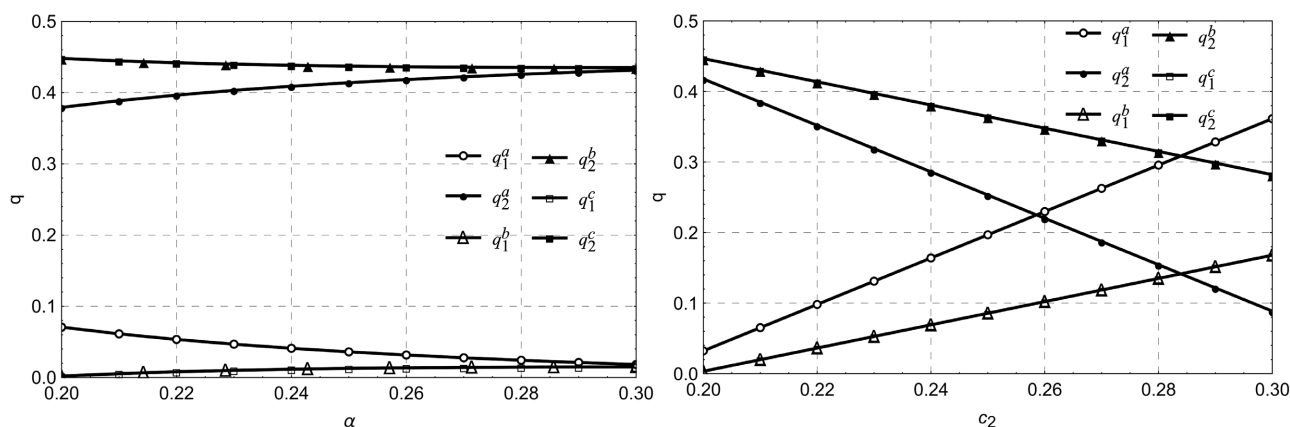


Figure 2. Diagram of changes in building demand  
图2. 建筑需求变化图

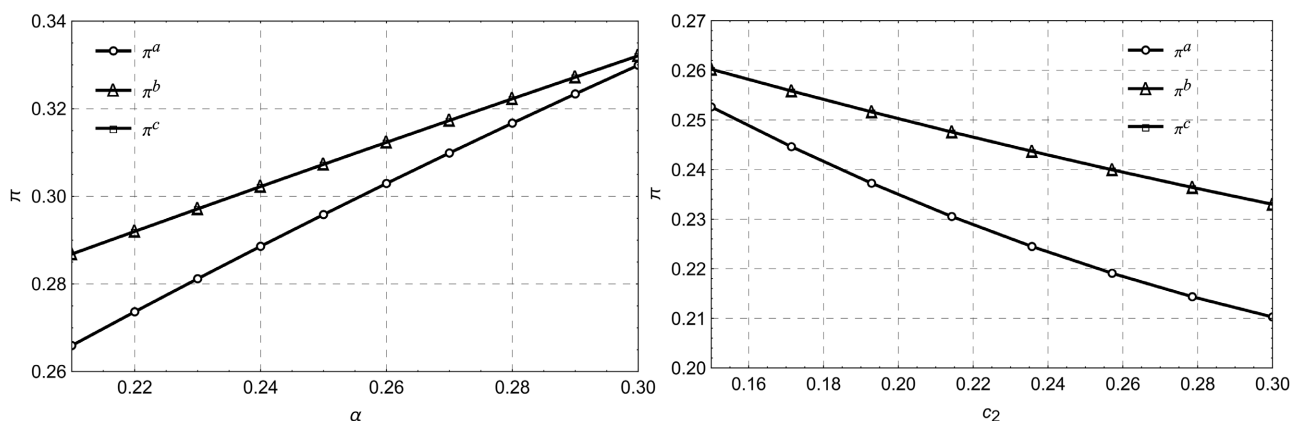


Figure 3. Chart of changes in corporate profits  
图3. 企业利润变化图

## 6. 结论与政策建议

本文通过构建企业、政府和消费者之间的博弈模型, 研究了不同补贴政策对装配式建筑行业发展的影响, 研究结果表明:

(1) 政府补贴的政策效应在供给侧(企业端)和需求侧(消费者端)具有显著的同质性特征。具体而言, 面向开发商的补贴通过降低企业边际成本, 最终会传导至终端价格, 使消费者获得实际收益。基于此, 政府在制定补贴政策时, 应重点考量补贴系数的设定, 实现政策效果的最优化。

(2) 政府补贴政策可以提升装配式建筑的市场需求和相关企业的利润。近年来政府持续推行的补贴政策显著提升了装配式建筑的市场渗透率, 其在新建建筑中的占比呈现稳步增长态势。当补贴力度保持不变时, 补贴对象的选择对开发商利润水平的影响并不显著。另外, 对于同时经营传统建筑和装配式建

筑的多元化企业而言, 政府补贴政策并未对其传统建筑产品的定价策略产生显著影响。然而, 补贴机制的差异对市场价格具有明显的调节作用: 消费者端补贴会推高装配式建筑价格, 而企业端补贴则会产生价格抑制作用。进一步研究发现, 随着装配率的提升, 补贴政策呈现出边际效应递减的特征: 装配式建筑的需求下降, 传统建筑的需求上升。这一现象可归因于装配式建筑行业仍处于产业发展的导入期, 为实现更高的装配率, 开发商需要承担巨额的研发投入和设备购置成本, 这些成本最终传导至终端价格, 导致价格弹性较高的市场需求受到抑制。

最后, 本文研究了单个企业在政府补贴下的决策, 在未来的研究中考虑多个企业之间的竞争, 可以使得研究更符合实际建筑市场的发展。另外, 本文主要研究了补贴政策对装配式建筑行业的激励效果, 对容积率奖励、税费减免等其他组合政策的研究也是将来可能的研究方向。

## 参考文献

- [1] Li, X., Wang, C., Kassem, M.A. and Bimenyimana, S. (2022) Fairness Theory-Driven Incentive Model for Prefabricated Building Development. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **47**, 13487-13498. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06922-2>
- [2] Zhang, P., Wu, H., Li, H., Zhong, B., Fung, I.W.H. and Lee, Y.Y.R. (2023) Exploring the Adoption of Blockchain in Modular Integrated Construction Projects: A Game Theory-Based Analysis. *Journal of Cleaner Production*, **408**, Article ID: 137115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137115>
- [3] Hu, Q., Xiong, F., Shen, G.Q., Liu, R., Wu, H. and Xue, J. (2023) Promoting Green Buildings in China's Multi-Level Governance System: A Tripartite Evolutionary Game Analysis. *Building and Environment*, **242**, 110548. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110548>
- [4] Jiang, Y., Liu, X., Wang, Z., Li, M., Zhong, R.Y. and Huang, G.Q. (2023) Blockchain-enabled Digital Twin Collaboration Platform for Fit-Out Operations in Modular Integrated Construction. *Automation in Construction*, **148**, Article ID: 104747. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104747>
- [5] 徐静, 罗淑丹, 黄小芹. 考虑消费者环保意识的车企生产决策及最优补贴研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(2): 71-79.
- [6] 肖静华, 曹望华, 夏正豪. 制造业企业数字化转型的适应性变革: 跨越与强基双路径[J]. 中国工业经济, 2024(12): 136-154.
- [7] 于毅, 陈传明. 领先工业互联网平台发展能力驱动要素与路径——基于 TOE 理论框架的双跨平台能力形成组态分析[J/OL]. 科技进步与对策: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20241217.1015.008.html>, 2025-01-08.
- [8] Luo, T., Xue, X., Wang, Y., Xue, W. and Tan, Y. (2021) A Systematic Overview of Prefabricated Construction Policies in China. *Journal of Cleaner Production*, **280**, Article ID: 124371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124371>
- [9] Han, Y., Xu, X., Zhao, Y., Wang, X., Chen, Z. and Liu, J. (2022) Impact of Consumer Preference on the Decision-Making of Prefabricated Building Developers. *Journal of Civil Engineering and Management*, **28**, 166-176. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.15777>
- [10] Wang, J., Qin, Y. and Zhou, J. (2021) Incentive Policies for Prefabrication Implementation of Real Estate Enterprises: An Evolutionary Game Theory-Based Analysis. *Energy Policy*, **156**, Article ID: 112434. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112434>
- [11] 郭斌, 冯子芸. 动态博弈视角下绿色住宅激励模式优选研究[J]. 生态经济, 2018, 34(1): 83-88.
- [12] Li, Z., Zhang, S., Meng, Q. and Hu, X. (2020) Barriers to the Development of Prefabricated Buildings in China: A News Coverage Analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*, **28**, 2884-2903. <https://doi.org/10.1108/ecam-03-2020-0195>
- [13] Han, Y., Wang, L. and Kang, R. (2023) Influence of Consumer Preference and Government Subsidy on Prefabricated Building Developer's Decision-Making: A Three-Stage Game Model. *Journal of Civil Engineering and Management*, **29**, 35-49. <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.18038>
- [14] 温兴琦, 程海芳, 蔡建湖, 等. 绿色供应链中政府补贴策略及效果分析[J]. 管理学报, 2018, 15(4): 625-632.
- [15] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86-95.
- [16] Wang, Y., Wang, Z., Li, B. and Cheng, Y. (2023) The Choice of Subsidy Policy for Incentivizing Product Design for Environment. *Computers & Industrial Engineering*, **175**, Article ID: 108883. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108883>

- 
- [17] Jiang, W. and Qi, X. (2022) Pricing and Assembly Rate Decisions for a Prefabricated Construction Supply Chain under Subsidy Policies. *PLOS ONE*, **17**, e0261896. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261896>
- [18] He, L. and Chen, L. (2021) The Incentive Effects of Different Government Subsidy Policies on Green Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **135**, Article ID: 110123. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110123>
- [19] 刘晓君, 李培. 中国绿色建筑面积时空演化及驱动机制研究[J]. 生态经济, 2021, 37(3): 88-94, 142.

## 附录 A. 无补贴模型

对无补贴下的企业利润  $\pi^a(p_1, p_2)$  求关于  $p_1, p_2$  的二阶偏导, 得到 Hessian 矩阵如下:

$$H^a = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi^a}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi^a}{\partial p_1 \partial p_2} \\ \frac{\partial^2 \pi^a}{\partial p_2 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi^a}{\partial p_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \\ \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & -\frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \end{bmatrix}$$

对于  $H^a$ , 可知顺序主子式  $D_1 = -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} < 0$ , 当  $D_2 = \frac{4}{-1 + \sqrt{w\alpha}} > 0$  时,  $H^a$  为负定矩阵,  $\pi^a(p_1, p_2)$  为关于  $p_1$  与  $p_2$  的联合凹函数。此时, 对  $\pi^a(p_1, p_2)$  分别求关于  $p_1$  与  $p_2$  的一阶偏导, 并使其等于 0, 联立求解可得  $p_1$  与  $p_2$  的最优解  $p_1^{a*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ ;  $p_2^{a*} = \frac{1}{2}(\sqrt{w\alpha} + c_2)$ 。

传统建筑的需求  $q_1^{a*} = \frac{\sqrt{w\alpha}c_1 - c_2}{2 - 2\sqrt{w\alpha}}$ , 当  $c_1 < \frac{c_2}{\sqrt{w\alpha}}$ ,  $q_1^{a*} > 0$ 。

装配式建筑的需求  $q_2^{a*} = \frac{\sqrt{w\alpha} + c_1 - c_2 - 1}{2(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 当  $c_1 > 1 + c_2 - \sqrt{w\alpha}$ ,  $q_2^{a*} > 0$ 。

企业最大利润:  $\pi^{a*} = \frac{4k\alpha^2 - (4k\alpha^2 - 1)\sqrt{w\alpha} + w\alpha + \sqrt{w\alpha}c_1^2 + 2c_2 - 2(\sqrt{w\alpha} + c_1)c_2 + c_2^2}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ 。

设  $1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} < \frac{c_2}{\sqrt{w\alpha}}$ , 即  $c_2 < \sqrt{w\alpha}$ 。

所以, 无补贴政策下可行域为  $c_2 < \sqrt{w\alpha}$  且  $1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} < c_1 < \frac{c_2}{\sqrt{w\alpha}}$ 。

## 附录 B. 补贴企业模型

对企业利润  $\pi^b(p_1, p_2)$  求关于  $p_1, p_2$  的二阶偏导, 得到 Hessian 矩阵如下:

$$H^b = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi^b}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi^b}{\partial p_1 \partial p_2} \\ \frac{\partial^2 \pi^b}{\partial p_2 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi^b}{\partial p_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \\ \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & -\frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \end{bmatrix}$$

对于  $H^b$ , 可知顺序主子式  $D_1 = -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} < 0$ ,  $D_2 = \frac{4}{-1 + \sqrt{w\alpha}} > 0$ ,  $H^b$  为负定矩阵,  $\pi^b(p_1, p_2)$  为关于  $p_1$  与  $p_2$  的联合凹函数。此时, 对  $\pi^b(p_1, p_2)$  分别求关于  $p_1$  与  $p_2$  的一阶偏导, 并使其等于 0, 联立求解可得  $p_1$  与  $p_2$  的最优解  $p_1^{b*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ ;  $p_2^{b*} = \frac{1}{2}(\sqrt{w\alpha} - \alpha s + c_2)$ 。代入政府效用函数  $u^b$ , 并使其等于 0, 得最佳政府补贴系数  $s^* = \frac{1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + c_2}{2\alpha}$ 。若  $c_1 < 1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_2$ ,  $s^* > 0$ 。

综上,  $p_1^{b*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ ,  $p_2^{b*} = \frac{1}{4}(-1 + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 + c_2)$ 。

传统建筑的需求  $q_1^{b*} = \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + (1 - 2\sqrt{w\alpha})c_1 + c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 当  $c_1 < \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}$ ,  $q_1^{b*} > 0$ 。

装配式建筑的需求  $q_2^{b*} = \frac{\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 当  $c_1 > 1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta$ ,  $q_2^{b*} > 0$ 。

$$\pi^{b*} = -k\alpha^2 + \frac{(4s\alpha + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 - 3c_2 - 1)(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)}{16(\sqrt{w\alpha} - 1)}$$

企业最大利润:

$$+ \frac{(c_1 - 1)(1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + (2\sqrt{w\alpha} - 1)c_1 - c_2)}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$$

政府补贴效用  $u = \frac{(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)^2}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ 。

设  $1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta < \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 即  $c_2 < \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta$ 。

所以, 补贴企业下的可行域为  $c_2 < \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta$  且

$$1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta < c_1 < \min \left\{ \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}, 1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta \right\}。$$

## 附录 C. 补贴消费者模型

对企业利润  $\pi^c(p_1, p_2)$  求关于  $p_1, p_2$  的二阶偏导, 得到 Hessian 矩阵如下:

$$H^c = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi^c}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi^c}{\partial p_1 \partial p_2} \\ \frac{\partial^2 \pi^c}{\partial p_2 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi^c}{\partial p_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \\ \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} & -\frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} \end{bmatrix}$$

对于  $H^c$ , 可知顺序主子式  $D_1 = -2 - \frac{2}{-1 + \sqrt{w\alpha}} < 0$ ,  $D_2 = \frac{4}{-1 + \sqrt{w\alpha}} > 0$ ,  $H^c$  为负定矩阵,  $\pi^c(p_1, p_2)$  为关于  $p_1$  与  $p_2$  的联合凹函数。此时, 对  $\pi^c(p_1, p_2)$  分别求关于  $p_1$  与  $p_2$  的一阶偏导, 并使其等于 0, 联立求解可得  $p_1$  与  $p_2$  的最优解  $p_1^{c*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ ;  $p_2^{c*} = \frac{1}{2}(t\alpha + \sqrt{w\alpha} + c_2)$ 。代入政府效用函数  $u^c$ , 并使其等于 0, 得最佳政府补贴系数  $t^* = \frac{1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + c_2}{2\alpha}$ 。若  $c_1 < 1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_2$ ,  $t^* > 0$ 。

综上,  $p_1^{c*} = \frac{1}{2}(1 + c_1)$ ,  $p_2^{c*} = \frac{1}{4}(1 + \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta - c_1 + 3c_2)$ 。

传统建筑的需求  $q_1^{c*} = \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + (1 - 2\sqrt{w\alpha})c_1 + c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 当  $c_1 < \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}$ ,  $q_1^{c*} > 0$ 。

装配式建筑的需求  $q_2^{c*} = \frac{\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1}{4(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ , 当  $c_1 > 1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta$ ,  $q_2^{c*} > 0$ 。

$$\pi^{c*} = -k\alpha^2 + \frac{(4s\alpha + 3\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta + c_1 - 3c_2 - 1)(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)}{16(\sqrt{w\alpha} - 1)}$$

企业最大利润:

$$+ \frac{(c_1 - 1)(1 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + (2\sqrt{w\alpha} - 1)c_1 - c_2)}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$$

政府补贴效用  $u = \frac{(\sqrt{w\alpha} + \alpha\theta + c_1 - c_2 - 1)^2}{8(\sqrt{w\alpha} - 1)}$ 。

设  $1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta < \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}$ , 即  $c_2 < \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta$ 。

所以, 补贴企业下的可行域为  $c_2 < \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta$  且

$$1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} - \alpha\theta < c_1 < \min \left\{ \frac{\sqrt{w\alpha} - \alpha\theta - 1 + c_2}{2\sqrt{w\alpha} - 1}, 1 + c_2 - \sqrt{w\alpha} + \alpha\theta \right\}。$$