

# 公共建筑绿色改造项目关键阶段监管

代士涵

重庆交通大学经济与管理学院, 重庆

收稿日期: 2024年9月2日; 录用日期: 2024年9月13日; 发布日期: 2024年10月23日

## 摘要

在公共建筑绿色改造项目中, 政府委托ESCO进行能源管理, 但ESCO可能牺牲节能效率谋利。本文基于委托代理理论, 分析政府与ESCO的行为策略, 提出以下措施减少ESCO机会主义行为: 1) 提高能源服务费或加强监管以激励ESCO绿色改造; 2) 提升服务费以增强设施维护; 3) 设置高额奖惩机制保障节能设备质量, 但可能增加业主费用; 4) 合理设定服务费和奖惩系数以促进高效节能。研究有助于政府激励ESCO提高设备寿命和能源效率。

## 关键词

绿色改造, 关键阶段, 委托代理, 激励, 监管

# Supervision of Key Stages in Green Renovation Projects for Public Buildings

Shihan Dai

School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing

Received: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2024; published: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2024

## Abstract

In public building green renovation projects, the government entrusts Energy Service Companies (ESCOs) with energy management, but ESCOs may sacrifice energy-saving efficiency for profit. Based on the principal-agent theory, this paper analyzes the behavioral strategies between the government and ESCOs and proposes the following measures to reduce ESCO opportunistic behavior: 1) Increase energy service fees or strengthen supervision to incentivize ESCOs for green renovations; 2) Raise service fees to enhance facility maintenance efforts; 3) Establish a high reward and penalty mechanism to ensure the quality of energy-saving equipment, which may, however, increase the costs for building owners; 4) Reasonably set service fees and reward-penalty coefficients

文章引用: 代士涵. 公共建筑绿色改造项目关键阶段监管[J]. 现代管理, 2024, 14(10): 2635-2644.

DOI: 10.12677/mm.2024.1410312

to promote efficient energy-saving measures. The research aids the government in motivating ESCOs to extend equipment lifespan and improve energy efficiency.

## Keywords

Green Renovation, Key Stage, Principal-Agent, Incentive, Supervision

Copyright © 2024 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

中国作为世界第二大经济体,其能源消耗和碳排放居世界前列。为达成2060年碳中和目标,政府正推动建筑绿色改造,尤其是公共建筑[1]。政府需制定政策、融资机制,激励清洁能源和技术创新,提升专业素养[2]。但私营企业投资的公共建筑改造项目面临信息不对称问题[3],节能服务公司(Energy Service Company, ESCO)可能利用专业知识优势采取机会主义行为,损害业主权益,政府监管受限[4]。ESCO在高交易成本环境中,产品服务不确定性和风险高。尤其在设备质量控制方面,可能选择低成本设备,采取违规行为,增加项目风险[5]。但是通过合同能源管理能够实现多方共赢[6]。

公共建筑绿色改造项目在其全生命周期存在着诸多风险因素[7]。霍小森[8]识别了公共建筑绿色改造施工阶段的七个关键风险,汤青慧[9]和谔明[10]分别研究了住宅改造和公共机构合同能源管理项目的风险因素。这些研究指出,全面评估合同能源管理项目的全生命周期风险对于推动建筑节能改造市场发展至关重要。同时,在公共建筑绿色改造中,合同期越长,能源价格和运营维护成本的不确定性越高,可能导致ESCO的投资收入低于成本。ESCO需要动力超越性能目标以获得奖励,同时碳交易的融入可增加节能收益[11]。汪振双[12]研究指出,低碳建筑合同能源管理项目的发展需要合理激励政策、技术能力提升和监管加强。郑斯怡[13]和张慧[14]认为常态化评价能源管理绩效和引入关系契约有助于提高节能项目的系统收益。因此,设计一个合理的全生命周期激励机制以平衡双方收益与风险是研究的关键。除此之外,在公共建筑绿色改造项目中,政府追求能源节约和设备效率最大化,而ESCO追求经济利益最大化。合同执行中的利益差异可能导致双边道德风险,影响节能效果。委托代理理论适用于解决利益冲突和信息不对称问题[15]。政府作为委托人,ESCO作为代理人,存在利益冲突和信息不对称。伍红民[16]、乔婉贞[17]通过演化博弈模型分析了合作行为的关键因素,但未全面反映EPC项目主体间的互动。因此,本文构建了一个考虑全生命周期关键阶段双方互动的监管模型。

本文旨在通过委托代理理论分析公共建筑绿色改造项目中政府与ESCO的互动,建立全生命周期治理模型,分析ESCO行为,研究不同阶段政府与ESCO互动对节能效果的影响,以帮助政府制定激励机制,抑制ESCO的机会主义行为。

## 2. 模型假设及建立

### 2.1. 模型假设

公共建筑绿色改造项目的绩效评估需使用关键绩效指标(KPI),覆盖项目全生命周期。指标包括设计与施工阶段的建设成本、进度、质量和环保,运营与维护阶段的服务费和维护质量,以及转让与评估阶段的设施状况、资产转让充分性和员工培训。图1展示了整个生命周期的监管框架,该模型图解了激励

和监督机制如何影响 ESCO 的努力水平。模型包括设计与施工、运营与维护、转让与评估三个阶段，并考虑了政府的监督活动、ESCO 的收益策略和政府的收益实现三种行动，同时在每个阶段计算并说明了 ESCO 与政府间的收益分配，为理解绿色改造项目生命周期的经济效益提供了深入见解。

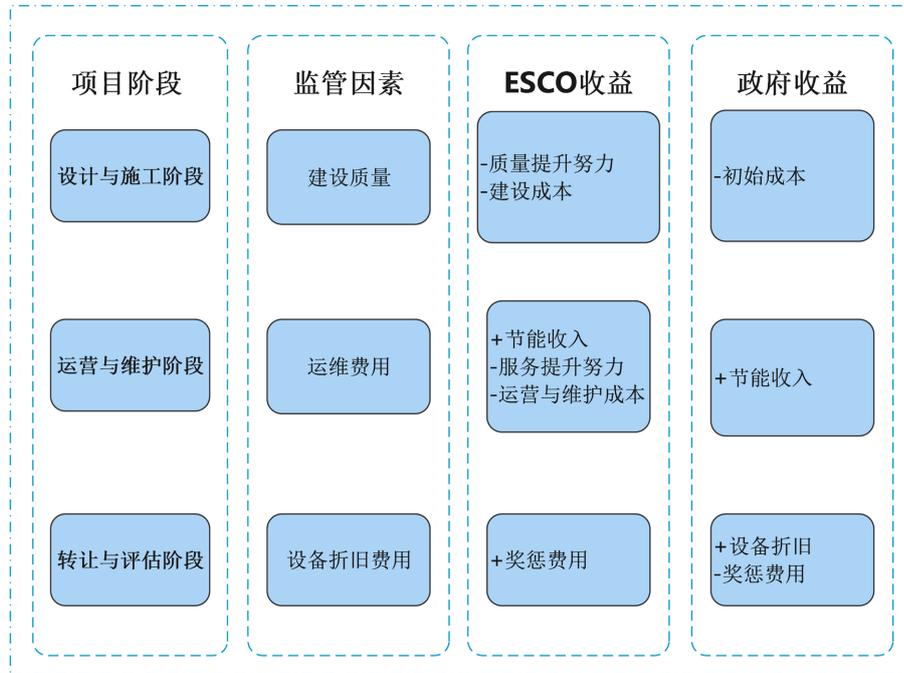


Figure 1. Overall regulatory framework  
图 1. 整体监管框架

模型基于以下假设。

**假设 1:** 政府和 ESCO 在项目的三个阶段都参与，双方追求各自利益最大化，无勾结行为，政府追求社会效益，ESCO 追求经济利益。

**假设 2:** 设计与施工阶段的质量提升会增加运营与维护阶段的服务需求，如采用高效能源系统可降低运营成本并提高节能需求。

**假设 3:** 利率为零，不考虑贴现，适用于建模且不影响结论。

**假设 4:** 政府和 ESCO 均为风险中性，决策时忽略风险因素。

## 2.2. 模型建立

### 2.2.1. 设计与施工阶段

公共建筑绿色改造的质量对节能效益和 ESCO 收入至关重要。基本改造努力是必需的，额外的努力可以提升运营阶段的收入。因此，ESCO 在运营阶段增加投入，关注低维护成本设备和高效项目管理以增强节能效果，并提供能源管理和智能控制设备以实现长期节能和增加托管费用。在设计阶段，ESCO 仅产生成本而无收入，且除了直接货币成本外，还存在间接或隐性成本，如节能设备的未来维修等。因此设计与施工阶段 ESCO 的节能技术投资成本具有二次货币成本  $C_1$  的特征，公式如下：

$$C_1 = \frac{1}{2} b_1 n_1^2 (b_1 > 0) \quad (1)$$

政府从公共建筑绿色改造中获得的效益与 ESCO 的改造努力程度成正比。ESCO 增加改造努力，提

升节能设备和基础设施质量，从而增强改造项目的社会和经济效益，实现更高的能源节约。因此，设计与施工阶段的政府收益是：

$$W_0 = C_0 + Ia_1n_1 + \zeta_1, C_0 \geq 0, a_1 > 0 \quad (2)$$

式中  $W_0$ ——建设阶段的节能服务收益； $C_0$ ——未加大绿色改造努力也能实现的基础节能收益水平； $a_1$ ——绿色改造产出系数， $a_1 > 0$  表示 ESCO 绿色改造努力的边际收益始终是正的； $I$ ——公共建筑绿色改造的投入成本； $b_1$ ——绿色改造努力投入成本系数； $n_1$ ——ESCO 绿色改造努力水平； $\zeta_1$ ——随机干扰项，代表随机因素造成的不确定性，在本文中假设  $\zeta_1 \sim N(0, \sigma^2)$ 。

### 2.2.2. 运营与维护阶段

运营阶段的关键因素是能源管理服务收入和设施维护。在能源费用托管模式下，ESCO 负责项目运行和管理，提供持续的能源管理服务，客户支付能源托管费用作为 ESCO 收益。ESCO 收入来自能源托管费用，成本包括实际能源费用和服务费用。能源托管费用是能源使用量与实际能源费用的乘积。尽管合同中约定了费用价格，但运营阶段的能源使用量受建设质量和运营管理维护的影响。

$$D = \begin{cases} d_0 + d_1n_1 + d_2n_2 + \zeta_2, & p \leq p_0 \\ 0, & p \geq p_0 \end{cases}, d_0 \geq 0 \quad (3)$$

所以 ESCO 预期的收入为

$$R \approx (d_0 + d_1n_1 + d_2n_2 + \zeta_2) \times p, p \leq p_0 \quad (4)$$

ESCO 运营阶段的管理和设施维护成本可以表示为设施运维努力水平  $n_2$  的二次货币成本  $C_2$

$$C_2 = \frac{1}{2}b_2n_2^2, b_2 > 0 \quad (5)$$

式中  $D$ ——建筑业主对能源使用量的需求； $d_0$ ——建筑业主对能源使用量的基本需求； $d_1$ ——ESCO 加大绿色改造努力后建筑业主对能源使用量的需求； $d_2$ ——ESCO 加大设施维护努力后建筑业主对能源使用量的需求； $n_2$ ——ESCO 设施维护努力水平； $R$ ——预期的能源托管费用收入； $C_2$ ——设施维护成本； $b_2$ ——设施维护努力成本系数； $\zeta_2$ ——随机干扰项，其中  $\zeta_2 \sim N(0, \sigma^2)$ ； $p$ ——运营阶段的管理服务费价格。

由假设可知，在运营阶段政府的收益来自于两个方面。分别是运营结束时所拥有绿色改造后节能设施的资产价值  $W_1$  与节能服务消费者剩余  $W_2$ 。

运营结束时所拥有的绿色改造后节能设施的资产价值  $W_1$ ，其中设备维护工作  $n_2$  将减少节能设施运营阶段的折旧。

$$W_1 = W_0 - C_3 + Ia_2h + \zeta_3, a_2 > 0 \quad (6)$$

式中  $W_1$ ——运营结束时节能设施的资产价值； $C_3$ ——节能设施的磨损折旧； $a_2$ ——设施维护产出系数， $a_2 > 0$  表示 ESCO 设备维护服务的边际收益始终是正的； $\zeta_3$ ——随机干扰项，其中  $\zeta_3 \sim N(0, \sigma^2)$ ；

节能服务消费者剩余  $W_2$ ，在运营阶段产生了消费者剩余，衡量政府从节能服务中获得的收益。节能服务消费者剩余是业主愿意支付的价格与实际支付的价格之间的差额。

公式表示如下：

$$W_2 = \frac{1}{2}(p_{\max} - p) \times D \quad (7)$$

式中  $W_2$ ——节能服务消费者剩余； $p_{\max}$ ——运营阶段的能源服务费的最高价格；消费者剩余越大表示该项目为经济项目，消费者剩余越少则表明该项目更注重节能效益。

### 2.2.3. 转让与评估阶段

在交还之前，政府将评估节能设施的状况。设计与施工阶段的绿色改造质量和运营与维护阶段的设施维护都会影响到转入与评估阶段的节能设施状况。

对 ESCO 来说，节能设施在移交前的实际质量状况是  $W_1$ ，交还设备的标准是  $Q$ ，我们假设奖励惩罚系数为  $B$ ，ESCO 收到的奖励或惩罚  $M$  可以写成如下：

$$M = B(W_1 - Q) \quad (8)$$

检查后，如果在 ESCO 的努力下节能设施的质量状况达到标准，将给予奖励，否则 ESCO 将受到惩罚。政府在转让与评估阶段的收益  $W_3$  等于其在运营与维护阶段的利益减去对节能服务公司的任何奖励或惩罚。它可以表示为：

$$W_3 = W_1 + W_2 - B(W_1 - Q) \quad (9)$$

式中  $W_3$ ——项目移交时政府所获得的收益； $M$ ——政府对 ESCO 的奖励或惩罚； $B$ ——奖励惩罚系数； $Q$ ——节能设施移交时需要达到的性能标准。

ESCO 的目标是实现利润最大化。将建设阶段的成本、运营阶段的收益和成本、转让阶段的收益相加，我们得到 ESCO 的预期收入  $E_{\text{esco}}$ ：

$$E_{\text{esco}} = -\frac{1}{2}b_1n_1^2 + (d_0 + d_1n_1 + d_2n_2 + \zeta_2) \times p - \frac{1}{2}b_2n_2^2 + B(W_1 - Q) \quad (10)$$

政府的目标是实现公共建筑绿色改造综合效益的最大化。将政府在建设阶段的收益、运营阶段的收益、转让阶段的收益，得到政府的预期收入  $E_{\text{gov}}$  可以表示如下：

$$E_{\text{gov}} = W_1 + W_2 - B(W_1 - Q)$$

即

$$E_{\text{gov}} = C_0 + a_1In_1 + \zeta_1 - C_3 + \frac{1}{2}(p_{\text{max}} - p) \times (d_0 + d_1n_1 + d_2n_2 + \zeta_2) - (C_0 + a_1In_1 + \zeta_1 - C_3 + Ia_2n_2 + \zeta_3 - Q) \times B \quad (11)$$

政府的目标是确定一个具有适当奖励惩罚系数  $B$  的激励机制使其收益最大化，但奖励惩罚系数  $B$  受到 ESCO 的激励相容性约束和个人理性约束影响。激励相容约束(IC)意味着 ESCO 存在机会主义行为，总是试图在项目期间寻求更高的利润。具体来说，ESCO 通过调整施工阶段的绿色改造努力和运营阶段的设施维护努力来最大化预期利润，可以写成：

$$\arg \max_{n_1, n_2} F \quad (12)$$

此外，ESCO 可以选择其他的绿色改造项目  $U$ ，这表明如果绿色改造后的预期利润低于其保留效用，ESCO 将选择其他项目。这被称为 ESCO 的个人理性约束(IR)

$$F \geq U \quad (13)$$

然后，政府将选择一个合适奖励惩罚系数  $B$  实现公共建筑绿色改造效益的最大化。

$$\underset{\beta}{\text{maximize}} G \text{ subject to } F \geq U \quad h_1, h_2 \in \max_{n_1, n_2} F \quad (14)$$

一阶条件是解决委托代理问题的常用方法。在这里，激励相容约束(IC)的一阶条件给出了 ESCO 最佳的绿色改造努力程度和最佳的节能设施维护努力程度。

$$n_1 = \frac{d_1P + BIa_1}{b_1} \quad (15)$$

$$n_2 = \frac{d_2 P + B I a_2}{b_2} \quad (16)$$

因此，奖励惩罚系数  $B$  与最佳的绿色改造努力程度和最佳的设施维护努力程度之间的关系可以表示如下：

$$B = \frac{b_1 n_1 - d_1 P}{I a_1} \quad (17)$$

$$B = \frac{b_2 n_2 - d_2 P}{I a_2} \quad (18)$$

此外，我们建立了一个拉格朗日函数来推导最优的奖励惩罚系数

$$B = \frac{\left( -2(C_0 - C_3 - Q)b_2 + 2I a_2 \left( I a_2 + \frac{d_2(-3p + p_{\max})}{2} \right) \right) b_1 + 2I a_1 b_2 \left( I a_1 + \frac{d_1(-3p + p_{\max})}{2} \right)}{4I^2 (a_1^2 b_2 + a_2^2 b_1)} \quad (19)$$

在经济理论中，合同中的预先承诺或价格可以有效抑制机会主义行为。为了平衡政府和 ESCO 的收益，本文基于委托代理理论建立了一个监管模型，用于确定最佳的绿色改造努力水平、设施维护努力水平和奖励惩罚系数。在经济模型中，政府可以确定 ESCO 在施工阶段的最佳绿色改造努力和运营阶段的最佳设施维护工作，并根据运营阶段的收入来确定转让阶段的奖励惩罚系数。模型依赖于历史信息 and 项目期间变化的参数。政府可以使用回归分析等技术估计非监管参数的值，并在项目开始前在合同中约定奖励惩罚系数的初始值。对于柔性合同，政府可以在项目期间通过调整参数来扩展模型，以更好地遏制 ESCO 的机会主义行为。

### 3. 模型分析与讨论

#### 3.1. 项目概况

C 市一综合办公大楼计划进行绿色改造，以达到《公共机构节约能源资源“十四五”规划》的目标。改造项目包括能耗计量监测、用能设备技改和能源托管服务，旨在提升能源利用效率和管理智能化。能源消耗涉及照明、电梯等多个方面，用能设备包括供配电和暖通系统等。项目采用能源费用托管方式，总投资 3011.2 万元，合同期限 8 年。ESCO 通过专业服务和政府补贴获得收益，采用 ROT 模式，政府负责投融资和设备采购，ESCO 负责设计改造和运营维护。研究通过 MATLAB 仿真分析各参数对激励系数的影响，并结合实际案例验证模型有效性，旨在解决 ESCO 的机会主义问题，推动领域健康发展。

#### 3.2. 设计与施工阶段仿真分析

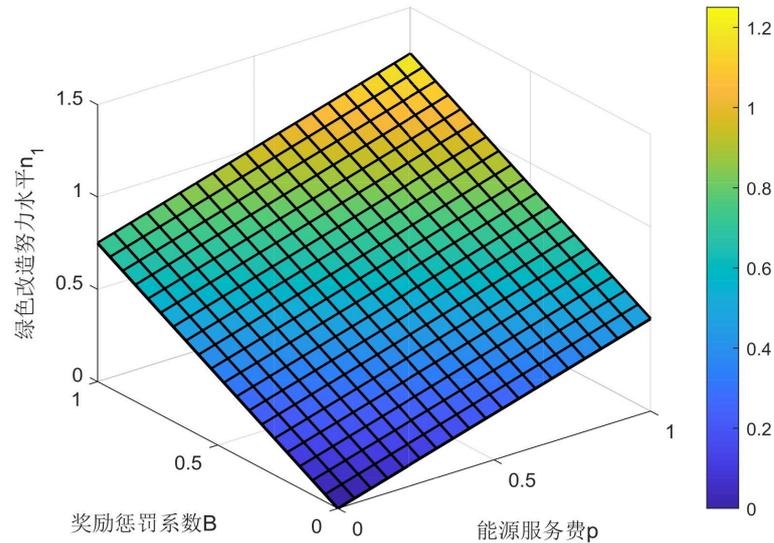
在公共建筑节能改造的设计与施工阶段考虑到综合办公大楼的非经营属性，对模型中各参数赋值，本文选择如下参数值进行建模： $I = 2$ ， $b_1 = 0.8$ ， $b_2 = 0.7$ ， $a_1 = 0.3$ ， $a_2 = 0.5$ ， $d_1 = 0.4$ ， $d_2 = 0.4$ ， $Q = 0.5$ ；将式(15)化简为：

$$n_1 = 0.5p + 0.75B \quad (20)$$

采用该数值模拟后的结果如图 2 所示。

如图 2 所示，绿色改造努力水平  $n_1$  与奖励惩罚系数  $B$ 、能源服务费  $p$  呈正相关。这表明提高运营阶段服务费以及调整奖励惩罚系数将促进 ESCO 在建设阶段的投入。

结论 1：为了激励 ESCO 在建设阶段投入更多的绿色改造努力水平，政府应该考虑向上调整能源服务费的价格或者加强建设阶段的监管，并建立与奖励惩罚系数相关的激励机制，以提高 ESCO 的积极性。



**Figure 2.** The relationship between green renovation effort level  $n_1$ , reward-penalty coefficient  $B$ , and energy service fee  $p$

**图 2.** 绿色改造努力水平  $n_1$ 、奖励惩罚系数  $B$  和能源服务费  $p$  之间的关系

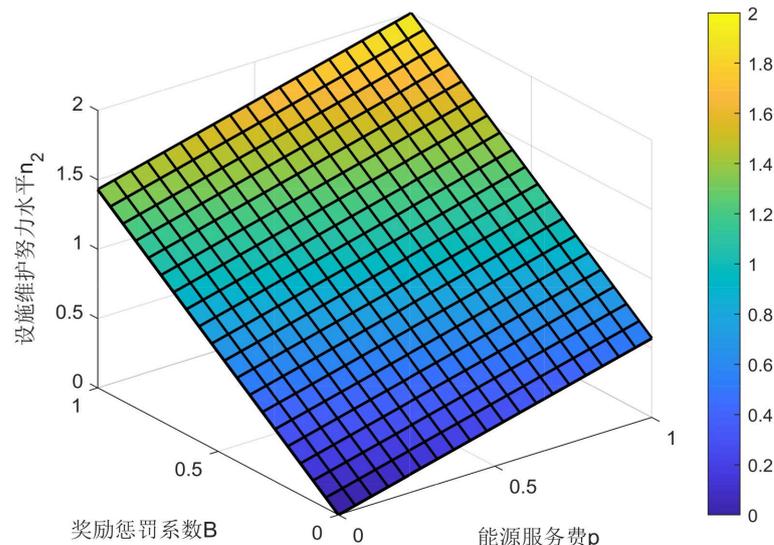
### 3.3. 运营与管理阶段仿真分析

在公共建筑节能改造的运营与管理阶段考虑到综合办公大楼的非经营属性，对模型中各参数赋值，本文选择如下参数值进行建模： $I = 2$ ， $b_1 = 0.8$ ， $b_2 = 0.7$ ， $a_1 = 0.3$ ， $a_2 = 0.5$ ， $d_1 = 0.4$ ， $d_2 = 0.4$ ， $Q = 0.5$ ；

将式(16)化简为：

$$n_2 = 0.57p + 1.43B \quad (21)$$

采用该数值模拟后的结果如图 3 所示。



**Figure 3.** The relationship between facility maintenance effort level  $n_2$ , reward-penalty coefficient  $B$ , and energy service fee  $p$

**图 3.** 设施维护努力水平  $n_2$ 、奖励惩罚系数  $B$  和能源服务费  $p$  之间的关系

从图 3 中可以看出，运营阶段的设施维护努力水平  $n_2$  与奖励惩罚系数  $B$  和能源服务费  $p$  之间存在显

著的正相关关系。因此，在转移阶段设置较高的服务费或者设计合理的奖惩激励机制，可以有效改善运营阶段的设施维护工作。

结论 2：为了有效提升 ESCO 在运营与维护阶段的设施维护努力水平，政府需要建立强有力的奖惩激励机制，或者向上调整能源服务费的价格。

### 3.4. 转让与移交阶段仿真分析

在公共建筑节能改造的转让与移交阶段考虑到综合办公大楼的非经营属性，对模型中各参数赋值，本文选择如下参数值进行建模： $I = 2$ ， $b_1 = 0.8$ ， $b_2 = 0.7$ ， $a_1 = 0.3$ ， $a_2 = 0.5$ ， $d_1 = 0.4$ ， $d_2 = 0.4$ ， $p_{\max} = 1$ ， $C_0 = 0.3$ ， $C_3 = 0.3$ ；

将式(19)化简为：

$$B = 0.27Q + 0.62 - 0.35p \quad (22)$$

采用该数值模拟后的结果如图 4 所示。

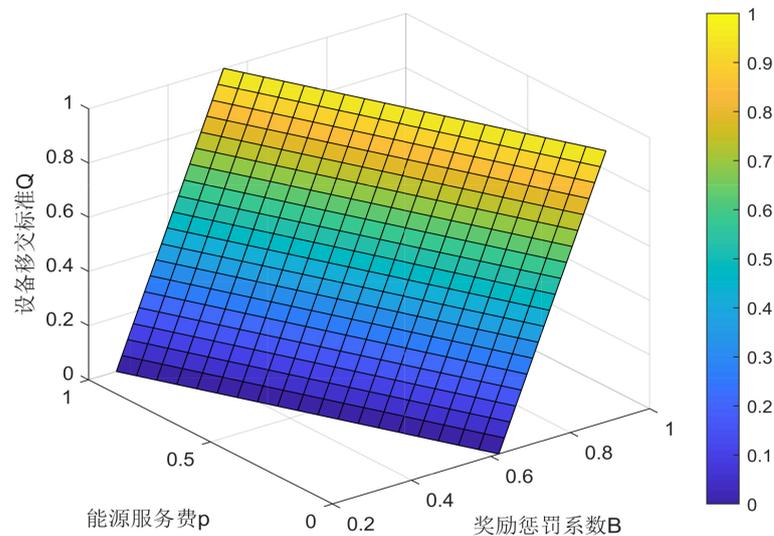


Figure 4. The relationship between the reward-penalty coefficient  $B$ , energy service fee  $p$ , and equipment handover standard  $Q$

图 4. 奖励惩罚系数  $B$ 、能源服务费  $p$  和设备移交标准  $Q$  之间的关系

从图 4 中可以看出，奖励惩罚系数  $B$  与能源服务费  $p$  呈负相关，但与设备移交标准  $Q$  呈正相关。这意味着，当转让阶段设置的设备性能标准更为严格时，监管力度可能会增加，但相应地能源服务费可能会增加。

结论 3：在转让与移交阶段，设置较高的奖惩激励机制可以促进 ESCO 对节能设备的质量，保证设备移交后仍然具有较高的使用价值，但同时建筑业主可能会承担更高的能源服务费。为了有效应对 ESCO(能源服务公司)的机会主义行为，设计的奖惩激励机制与设备移交标准相匹配，这对于政府和建筑业主来说至关重要。这样可以确保 ESCO 充分履行其责任，提供高质量的节能服务与运维管理，同时防止其利用机会主义行为损害建筑业主的利益。因此，政府和监管机构需要确保奖惩激励机制具有针对性和有效性，以保护用户权益并促进能源服务市场的健康发展。

### 3.5. 政府目标节能效益仿真分析

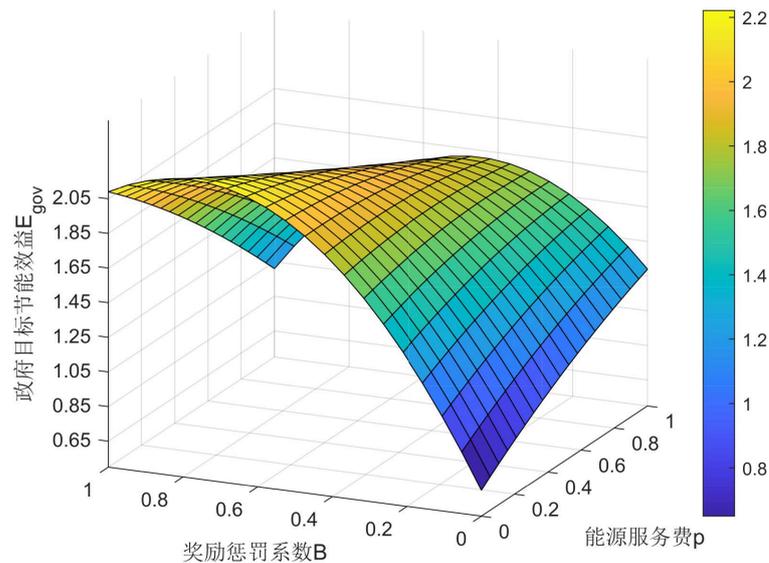
从实现目标节能效益的角度来看，政府对于控制能源服务费的价格或激励机制的选择具有重要意义。

为了深入研究政府控制价格或选取激励机制对实现目标节能效益的影响，本节中采用 MATLAB 软件在仿真模拟中考虑了在实现目标节能效益的情况下价格与奖励惩罚系数之间的关系，以帮助实现政府的决策过程。

在初步设计该决策模型时，考虑到该综合办公大楼的公益性，在不失一般性的情况下对模型中的各参数赋值，假设  $I = 2$ ， $b_1 = 0.8$ ， $b_2 = 0.7$ ， $a_1 = 0.3$ ， $a_2 = 0.5$ ， $d_0 = 1$ ， $d_1 = 0.4$ ， $d_2 = 0.4$ ， $Q = 0.5$ ， $p_{\max} = 1$ ， $C_0 = 0.3$ ， $C_3 = 0.3$ ，同时带入式(20)、式(21)，将式(11)化简为：

$$E_{\text{gov}} = -2.61B^2 + (4.05 - 1.72p)B + 0.85p + 0.65 - 0.21p^2 \quad (23)$$

结果如图 5 所示，政府目标节能效益以倒 U 形的方式达到顶峰。这一过程表明政府目标节能效益  $E_{\text{gov}}$  与奖励惩罚系数  $B$  之间存在着先增后减的关系，与节能服务费呈递减的关系。这意味着政府需要在奖惩激励机制的设计上慎重考虑，以确保在公共建筑绿色改造的过程中 ESCO 的努力能够最大程度地转化为节能效益。



**Figure 5.** The relationship between the government's target energy-saving benefit  $E_{\text{gov}}$ , energy service fee  $p$ , and reward-penalty coefficient  $B$

**图 5.** 政府目标节能效益  $E_{\text{gov}}$ 、能源服务费  $p$  和奖励惩罚系数  $B$  的关系

结论 4：只有当能源服务费和奖励惩罚系数处于合理的范围内时，才能有效激励 ESCO 采取高效的节能措施。如果政府给定了目标节能效益的情况下，建筑业主可以与 ESCO 确定一系列可接受的解决方案，以实现在合理的能源服务费下实现最佳的节能效益目标，即在公共建筑绿色改造合同中确定具体的能源服务费时需要考虑相应的最佳激励水平。

#### 4. 结论

公共建筑因人员密集而有高能源需求，绿色改造是实现“双碳”目标的有效手段。本研究基于委托代理理论，分析了政府和 ESCO 在公共建筑绿色改造全生命周期的最优策略。考虑到 ESCO 的节能效果易观测而成本和设备状态难观测，研究建立了信息不对称下的委托代理模型，提出政府如何通过合同激励机制提高 ESCO 的努力水平。结果显示，合理的激励机制能促使 ESCO 在设计和施工阶段以及运营和维护阶段加大努力，奖励惩罚系数与服务质量及能源服务费用相关，ESCO 可通过调整这些参数来实现政府的节能目标。

尽管对现有文献进行了拓展和改善, 本文的研究仍然存在许多的不足和局限。首先本文研究的是能源费用托管型公共建筑绿色改造项目, 并没有涉及到节能效益分享型和节能量保证型, 未来的研究方向可以考虑研究其他合同类型的项目在不同阶段的行为策略变化; 其次是本文采用的是线性模型, 如果采用非线性模型的话会更加准确; 最后本文对于政府与 ESCO 每个阶段的行为策略是静态分析的, 如何动态地分析每个阶段中双方的行为会成为未来研究的重点。

## 参考文献

- [1] Hepburn, C., Qi, Y., Stern, N., Ward, B., Xie, C. and Zenghelis, D. (2021) Towards Carbon Neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean Energy Transition, Sustainable Urban Development, and Investment Priorities. *Environmental Science and Ecotechnology*, **8**, Article ID: 100130. <https://doi.org/10.1016/j.esc.2021.100130>
- [2] Liu, Z., Yu, C., Qian, Q.K., Huang, R., You, K., Visscher, H., et al. (2023) Incentive Initiatives on Energy-Efficient Renovation of Existing Buildings Towards Carbon-Neutral Blueprints in China: Advancements, Challenges and Prospects. *Energy and Buildings*, **296**, Article ID: 113343. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113343>
- [3] Liu, P., Zhou, Y., Zhou, D.K. and Xue, L. (2017) Energy Performance Contract Models for the Diffusion of Green-Manufacturing Technologies in China: A Stakeholder Analysis from SMEs' Perspective. *Energy Policy*, **106**, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.040>
- [4] Alam, M., Zou, P.X.W., Stewart, R.A., Bertone, E., Sahin, O., Buntine, C., et al. (2019) Government Championed Strategies to Overcome the Barriers to Public Building Energy Efficiency Retrofit Projects. *Sustainable Cities and Society*, **44**, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.022>
- [5] Kostka, G. and Shin, K. (2013) Energy Conservation through Energy Service Companies: Empirical Analysis from China. *Energy Policy*, **52**, 748-759. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.034>
- [6] 徐慧颖, 郭宗逵, 钱坤. 合同能源管理在新建建筑的应用研究[J]. 建筑经济, 2014, 35(6): 63-67.
- [7] 段小萍, 陈奉功. 基于全生命周期的合同能源管理项目融资风险研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(23): 235-243.
- [8] 霍小森, 李胜男, 焦柳丹. 公共建筑绿色改造项目施工阶段关键风险研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(12): 60-66.
- [9] 汤青慧, 李军, 张微生. 既有住宅绿色改造风险网络构建及关键风险研究——基于可持续性视角[J/OL]. 西安理工大学学报, 2024: 1-9. <https://kns.cnki.net/kcms/FileNotFound.htm?aspxerrorpath=/kcms/detail/61.1294.N.20231201.1616.002.html>, 2024-03-18.
- [10] 谌玥, 郭婧娟. 公共机构合同能源管理项目合作机制模型构建[J]. 科技管理研究, 2021, 41(6): 185-192.
- [11] 苏亚欣. 融入碳交易的公共建筑 EPC 项目运作模式设计及应用[J]. 建筑经济, 2021, 42(1): 106-111.
- [12] 汪振双, 张家楠, 赵宁. 低碳建筑合同能源管理系统风险稳定性研究[J]. 系统科学学报, 2020, 28(1): 49-54.
- [13] 郑斯怡, 邓晓岚. 合同能源管理在医院的应用研究[J]. 卫生经济研究, 2023, 40(2): 56-60.
- [14] 张慧, 郭婧娟. 基于关系契约的合同能源管理激励机制研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(17): 185-190.
- [15] 刘有贵, 蒋年云. 委托代理理论述评[J]. 学术界, 2006(1): 69-78.
- [16] 伍红民, 郭汉丁, 李柏桐. 多方博弈视角下既有建筑节能改造市场主体行为策略[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(1): 156-162.
- [17] 乔婉贞, 郭汉丁, 李玮, 等. 基于三方演化博弈的既有建筑节能改造市场合作发展机制研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(4): 70-79.