



电网投资监管的演化博弈均衡与双赢机制研究——基于政企互动视角

肖婷婷, 王愿, 李彦斌, 刘畅, 李赞*

华北电力大学 经济与管理学院 北京 102206

摘要: 电网投资是加快新型电力系统建设的重要支撑。电网投资监管既要防范企业盲目扩张, 又要激励企业达到合理投资强度。企业在此监管环境中面临着追求经济利益和兼顾社会责任的双重压力。因此, 如何通过优化企业投资动机与政府监管方式, 构建政企协同发展格局, 成为当前理论与实践的重要命题。本文构建了企业-政府双方演化博弈模型, 探讨电网投资监管下企业和政府的策略选择, 分析了各参数的变动对博弈主体演化均衡策略的影响。研究发现: 当企业投资仅考虑经济利益时, 政府会倾向于加强监管; 当企业投资兼顾社会责任时, 可以形成“无为而治”的理想监管局面; 不同监管措施对企业策略选择的影响存在异质性, 相较于政府激励手段, 准许收益率和有效资产核定率的影响更为显著, 通过调解这两项指标, 可推动博弈状态从{仅考虑经济利益, 加强监管}向{兼顾社会责任, 放松监管}的理想状态转变。最后, 基于研究结论对政府和企业提出相关建议, 为电网投资监管下政企实现双赢提供理论依据和政策参考。

关键词: 电网投资工程; 电网企业; 电网投资监管; 政企互动; 演化博弈; 双赢

中图分类号: F224; TM7

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(XXXX)XX-0001-13

引言

电网投资作为加快新型电力系统建设的支撑手段之一, 对推动能源革命、实现“双碳”目标、提高我

国经济和社会效益具有重要现实意义^[1]。电网企业依据“准许成本+合理收益”模式获得一定的收益。在此模式下, 企业存在过度投资追求经济利益最大化的倾向^[2], 但是, “践行央企职责, 履行社会责任”的

收稿日期: 2025-03-25; 修回日期: 2025-06-22

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目, 青年基金项目: “碳-电-绿”耦合下火电企业市场行为演化机理及其转型路径研究(23YJC630226); 北京市自然科学基金: 双碳目标下京津冀电力系统灵活性资源供需分析与政策研究(9224037)

作者简介: 肖婷婷(1998—), 女, 博士, 主要研究方向为电网规划、碳市场风险。E-mail: xiaotingting1008@163.com

王愿(1996—), 女, 博士, 主要研究方向为电网投资。E-mail: 1797763061@qq.com

李彦斌(1967—), 男, 博士, 教授, 研究方向为能源企业管理。E-mail: gslyb2000@sohu.com

刘畅(1997—), 女, 博士, 主要研究方向为电力监管。E-mail: liuchangchang1010@163.com

*李赞(1990—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为电网投资。E-mail: 55002462@ncepu.edu.cn (通讯作者)

引用格式: 肖婷婷, 王愿, 李彦斌等. 电网投资监管的演化博弈均衡与双赢机制研究——基于政企互动视角[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250051.. CSTR: 32282.14.JES.20250051

XIAO Tingting, WANG Yuan, LI Yanbin, et al. Research on the Evolutionary Game Equilibrium and Win-Win Mechanism of Power Grid Investment Regulation: A Perspective of Government-Enterprise Interaction[J]. Journal of Engineering Studies, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250051.. CSTR: 32282.14.JES.20250051

要求又在时刻提醒电网企业保持投资的合理性。政府通过输配电价监管、投资成效监管等手段介入监督,以规范电网投资行为,例如,调整输配电价的准许收益率^[3]、对电网投资工程实施“双随机、回头看”监管。但与此同时,“放、管、服”改革作为转变政府职能的主要抓手,又要求政府简放政权,提高监管效率^[4]。在这种情况下,厘清政府监管与电网投资行为之间的关系,探究电网投资监管下政企实现双赢的路径成为亟待解决的现实问题。

目前,现有文献主要围绕电网投资监管机制、投资决策优化和投资规模预测等方面展开研究。在投资监管机制方面,李成仁等^[5]总结了电网投资的国际经验,并建议我国动态调整监管机制;人民网提出应当全方位提高政府监管能力,让电网投资监管发挥实效^[6]。在既有监管机制下,研究电网投资决策优化有助于企业实现精准投资:杜静涓等^[7]以经济效益为目标函数,构建了电网企业多项目组合投资优化决策模型;肖艳利等^[8]建议,电网企业应在监管初期扩大电网投资规模。针对这些研究只关注经济效益单一指标的缺陷,金智博等^[9]以环境效益和经济效益最大化为目标,构建了电网投资时序优化模型等。为破解电网投资评估固有的复杂性难题,Vilaplana等^[10]开发了一套模型,来全面评估配电网新投资的成本和收益,以便政策制定者和决策者对不同情景下的电网和数字化投资进行多维度分析。Zheng等^[11]将投资回报考虑在内,提出了一种投资时序优化技术,用于电网公司长期项目投资决策的优化,该技术能将整体投资效益提高14.37%。Dinçer等^[12]在梳理影响智能电网投资驱动因素的基础上,构建了基于模糊群体决策的智能电网投资决策优化模型。Wu等^[13]综合考虑电网安全投资因素对事故的影响及其相互作用,为电网企业开发了基于系统动力学和贝叶斯网络的安全投资优化模型,该模型能够为电网企业制定安全投资策略提供技术支持和指导。此外,刘巍等^[14-15]从优化预测模型的角度出发,建立了更加精准的电网投资规模组合预测模型,提高了预测模型的精度。Wang等^[16]在筛选出关键影响因素后,利用LA-DRBM模型对某电网企业的投资规模进行预测,进一步证明了该模型的有效性,助力提高电网企业投资规模预测的计算效率。

值得注意的是,电网投资监管是一个系统工程,具有政府与企业之间信息的不对称性^[17-18]、电网投资行为的复杂性^[19-20]和监管主体之间利益诉求的冲突^[21-22]等特征,不同监管方式下的电网投资呈动态变化态势。现有研究多从政府或电网企业的单一视角对电网投资进行分析,未能充分揭示电网投资监管过程中多元主体间的复杂博弈关系和动态交互行为对投资决策产生的系统性影响。与此同时,演化博弈模型基于博弈主体的有限理性假设,能够有效模拟多元主体在信息不对称环境中的行为多样性与动态演化过程。例如:Li等^[23]从政府监管的角度出发,构建了涵盖家庭、光伏企业和政府的三方演化博弈模型,并提出了加强光伏企业监管和减少不合规行为的政策建议;Li等^[24]构建了政府监管机构、电网企业和微电网之间的三方演化博弈模型,探讨了在静态奖励、动态奖励和惩罚机制下各主体的行为演化结果;Zhang等^[25]考虑到政府、电网企业和微电网之间的互动关系以及随机干扰的影响,构建了三方随机演化博弈模型,探讨多因素变化对系统整体演化趋势的影响;戴道明等^[26]构建了发电企业-电网公司-国家能源局三方演化博弈模型,从长期视角研究了可再生能源电力供应链各方在绿证申报和政府监管方面的演化博弈问题;Chang等^[27]通过构建三方进化博弈模型,探究了政府监管、人员参与和企业绿色生产的行为进化规律与进化稳定策略,为提高企业绿色生产和城市环境管理水平提供了重要参考;Fang等^[28]从有限理性和多主体博弈的角度,建立了可再生能源发电与输电的演化博弈模型,以分析加强政府相关监管的必要性和有效性;Yang等^[29]将举报人引入博弈框架,构建了由监管者、能源企业和举报人组成的三方进化博弈模型,从而对能源监管体系展开研究;Kang等^[30]通过构建演化博弈模型,研究了碳排放总量控制和碳交易监管下发电商的投资决策,发现碳排放总量控制显著影响发电商的投资意愿;Li等^[31]建立了政府、新能源发电商和储能供应商的三方演化博弈模型,数值分析结果表明,政府监管对可再生能源+储能的合作发展具有积极作用,且通过惩罚手段可有效抑制弃风弃光现象;宋美慧等^[32]从能源安全视角出发,构建了煤制油企业与政府间的演化博弈模型,并通过演化仿真分

析了双方的最终策略选择。综上, 演化博弈理论在能源及监管等研究领域的广泛应用, 能够为电网投资监管多主体行为演化的研究提供重要支撑。

综上所述, 现有研究已围绕电网投资决策优化、电网投资规模预测和多主体监管策略展开了深入研究, 但目前针对电网投资监管下政府和企业博弈策略选择的研究仍较为匮乏。鉴于此, 本文运用演化博弈模型解析电网企业和政府之间的互动机制, 在此基础上构建双方收益支付矩阵, 分析两者之间的策略组合以及主要影响因素, 并对博弈系统进行数值仿真, 以期政府监管方式创新和企业投资动机引导提供理论支撑与政策依据, 助力电网投资监管场景下政府和企业实现双赢发展。

1 企业和政府演化博弈模型构建

1.1 问题描述

我国电网投资项目的核准、支撑性文件的制定及批复均由政府负责, 电网企业则承担投资建设工作。这一过程经历了从基础建设到智能化升级的多个阶段演变。改革开放后, 随着电力需求的不断增长, 我国电网投资基础建设投资规模持续扩大, 为稳定和提振社会经济发展起到了重要作用^[8]。近年来, “双碳”目标的提出和新型电力系统的加快建设对电网投资结构提出了新的要求, 具体表现为电源、负荷的自然增长以及电网形态演化带来的新需求对能源转型、能效提升和电网智能化发展起到了重要驱动作用^[33]。与此同时, 《省级电网输配电价定价办法》等文件的发布, 也对电网企业的投资规模和投资结构安排产生了较大影响^[34]。在此背景下, 如何在扩大投资规模的同时, 提升电网投资效率效益, 促进企业高质量发展, 并实现由仅追求经济利益向肩负社会责任的转变, 成为亟须解决的关键问题。从电网企业角度来看, 若仅以经济利益为目标, 即使知晓投资建设期间产生的额外环境成本有悖于我国“双碳”目标的践行^[35], 企业也会选择扩大电网投资规模。但是, 若在追求经济利益的同时兼顾社会责任, 企业就会合理进行电网投资, 主动披露投资数据, 在满足电力需求

的前提下尽可能降低用电成本, 实现经济、社会和环境的协调发展。

从政府层面来看, 为了规范电网企业的投资行为, 政府可以通过扩大项目抽检范围、加强监管队伍的培训等手段加强电网投资监管, 或通过约束机制核定电网有效资产、调整电网企业下一监管周期的准许收益率^[36]。随着电力市场化改革的深入推进, 政府与电网企业之间的监管与被监管关系发生着深刻变化。2015年3月, 《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》印发, 要求电网企业按照“准许成本加合理收益”的原则定价, 通过输配电价改革实现了政府监管模式的转变^[37]; 2020年, 《省级电网输配电价定价办法》的出台, 进一步严格了监管周期内新增运行维护费、折旧费以及预计新增输配电固定资产、权益资本收益率的核定标准, 强化了对电网企业投资行为的监管和约束^[34]。值得注意的是, 面对有限的监管资源, 政府会权衡投入成本与收益的比例问题。当监管投入成本高, 获得收益却有很强的不确定性时, 政府往往倾向放松该项监管^[38-39], 采取较为宽松的监管策略, 转而投入收益可视性更强的监管任务中去。

综上所述, 在新型监管体系下, 企业和政府的博弈策略可以分为“仅考虑经济利益, 加强监管”“兼顾社会责任, 放松监管”“兼顾社会责任, 加强监管”“仅考虑经济利益, 放松监管”四类。这一划分既体现了企业在目标取向上的差异, 也反映了政府在监管力度上的选择, 通过清晰的维度区分, 让双方博弈的核心策略更具辨识度。

1.2 模型假设

为构建博弈模型以分析企业和政府的策略选择, 本文做出如下假设:

假设1: 在博弈过程中, 电网企业和政府均为有限理性主体, 双方之间存在信息不完全对称性的情况。本模型暂不纳入其他可能对博弈系统产生影响的主体。

假设2: 企业的策略集合为{仅考虑经济利益, 兼顾社会责任}。企业“仅考虑经济利益”表现为扩大电网投资规模; “兼顾社会责任”则表现为合理进行电网投资, 相应的选择概率为 $(x, 1-x)$ 。政府的策

略集合为{放松监管, 加强监管}, 相应的选择概率为 $(y, 1-y)$ 。 x 和 y 的取值随时间 t 的变化而变化。

假设3: 企业仅考虑经济利益的成本为 C_1 , 此时投资规模为 S_1 ; 兼顾社会责任时的成本为 C_2 , 投资规模为 S_2 。其中, C_1 、 C_2 、 S_1 、 S_2 均为大于0的不等量。在长期视角下, 与兼顾社会责任相比, 企业在仅考虑经济利益时, 虽会迅速扩大电网投资规模, 但由于对社会责任忽视, 往往会在后期承担诉讼、罚款或者市场份额下降等隐形成本以及融资成本增加等后果, 从而导致总成本的上升, 所以 $C_1 > C_2$, $S_1 > S_2$ 。

假设4: 政府选择放松监管时没有监管成本。在政府放松监管后, 若企业仅以经济利益为目标扩大电网投资规模, 会给政府带来形象声誉受损等损失; 若企业兼顾社会责任进行电网投资, 政府会发文表彰以激励企业继续保持该行为, 此时企业将获得一定的激励收益 L 。

假设5: 政府选择加强监管的监管成本为 R , 加强监管的利润大于0。当企业仅考虑经济利益时, 政府会通过降低输配电价的准许收益率, 缩小企业投资规模的核定比例等方式规范企业投资行为。假设准许收益率的降低值为 b , 投资规模核定率的降低值为 n , 企业不管选择哪种策略, 政府加强监管都会带来积极的社会价值 F 。

根据上述问题描述及假设, 本文设置参数如表1所示。

1.3 支付矩阵与策略求解

根据模型假设, 企业和政府分别有2种不同的策略选择, 这使得两个主体之间形成了4种不同的策略组合。具体情况如表2所示。

1.3.1 电网企业 对于电网企业, 假设其仅考虑经济利益时的期望收益为 R_{11} , 兼顾社会责任时的期望收益为 R_{12} , 平均期望收益为 A_1 , 对应的复制动态方程为 $D(x)$, 则 R_{11} 、 R_{12} 、 A_1 分别为:

$$R_{11} = [C_1 - (a-b)(m-n)S_1](y-1) - y(C_1 - amS_1) = (a-b)(m-n)S_1 + y(an + bm - bn)S_1 - C_1 \quad (1)$$

$$R_{12} = (y-1)(C_2 - amS_2) - y(C_2 - amS_2 - L) = amS_2 - C_2 + Ly \quad (2)$$

表1 参数设定及符号说明

Table 1 Parameter setting and symbol description

参数	含义
S_1	企业仅考虑经济利益的投资规模
S_2	企业兼顾社会责任的投资规模
C_1	企业仅考虑经济利益的成本
C_2	企业兼顾社会责任的成本
R	政府加强监管的成本
L	政府放松监管对企业合理投资的激励
a	准许收益率
m	投资规模有效比例
b	准许收益率的降低值
n	投资规模核定率的降低值
F	政府加强监管的社会价值
H	政府放松监管后的损失

表2 政府与企业间两方博弈矩阵

Table 2 Two-party game matrix between government and firms

企业	政府	
	放松监管 y	加强监管 $(1-y)$
仅考虑经济利益 x	$(amS_1 - C_1, -H)$	$((a-b)(m-n)S_1 - C_1, -R + F)$
兼顾社会责任 $(1-x)$	$(amS_2 - C_2 + L, 0)$	$(amS_2 - C_2, -R + F)$

$$A_1 = xR_{11} + (1-x)R_{12} = x((a-b)(m-n)S_1 + y(an + bm - bn)S_1 - C_1) + (1-x)(amS_2 - C_2 + Ly) \quad (3)$$

由式(1)~式(3)可得, 企业仅考虑经济利益的复制动态方程为:

$$D(x) = \frac{dx}{dt} = x(R_{11} - A_1) = x(x-1)[(C_1 - (a-b)(m-n)S_1) + (amS_2 - C_2 + Ly) + (-an - bm + bn)S_1 y] \quad (4)$$

1.3.2 政府 对于政府, 假设其选择放松监管时的期望收益为 R_{21} , 选择加强监管时的期望收益为 R_{22} , 平均期望收益为 A_2 , 则 R_{21} 、 R_{22} 、 A_2 分别为:

$$R_{21} = -xH \quad (5)$$

$$R_{22} = -(x-1)(-R + F) + x(-R + F) = F - R \quad (6)$$

$$A_2 = yR_{21} + (1-y)R_{22} = -xyH + (1-y)(F - R) \quad (7)$$

由式(5)~式(7)可得, 政府选择放松监管的复制动态方程为:

$$D(y) = \frac{dy}{dt} = y(R_{21} - A_2) = y(y-1)(F - R + Hx) \quad (8)$$

2 演化博弈模型稳定性分析

对政府和企业的演化稳定策略进行分析, 令 $D(x)=D(y)=0$, 可得到以下 5 个局部均衡点, 分别为 $[0, 0]$ 、 $[0, 1]$ 、 $[1, 0]$ 、 $[1, 1]$ 、 $[a, b]$ 。根据 Friedman 的研究方法^[40], 采用雅可比矩阵局部稳定性分析法对以上 4 个复制动态均衡点的稳定性进行分析, 通过对 $D(x)$ 与 $D(y)$ 求偏导, 可得雅可比矩阵为:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial D(x)}{\partial x} & \frac{\partial D(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial D(y)}{\partial x} & \frac{\partial D(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [(2x-1)(C_1-C_2-(a-b)(m-n)S_1+amS_2+(bm+bn-an)S_1y+Ly)-x(x-1)(aS_1+bmS_1-bnS_1-L)Hy(y-1)(2y-1)(Fx-R+Hx)] & 0 \\ 0 & [(2y-1)(C_1-C_2-(a-b)(m-n)S_1+amS_2+(bm+bn-an)S_1y+Ly)-y(y-1)(2x-1)(Fx-R+Hx)] \end{bmatrix}$$

矩阵 B 的行列式为: $\det B = a_{11} \times a_{22} - a_{12} \times a_{21}$; 矩阵 B 的迹为: $\text{tr} B = a_{11} + a_{22}$ 。

在此基础上, 为了明确系统最终的演化稳定策略, 需确定各均衡点在雅可比矩阵中的行列式与迹符号的正负。值得注意的是, 只有同时满足雅可比矩阵的行列式和迹, 系统才会逐渐处于稳定状态。基于此, 将前述得到的 5 个均衡点带入矩阵行列式和迹的表达式中, 结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 均衡点 $[a, b]$ 的 $\text{tr} v = 0$, 表明该均衡点无论在何种情况下都不是系统的演化稳定性策略, 故不予考虑。接下来对其余 4 个均衡点进行单独讨论, 以判断它们在何种情况下可成为系统的演化稳定性策略。

对于均衡点 $[0, 0]$, 若要成为系统的演化稳定性策略, 需要满足均衡点 $[0, 0]$ 的 $\det v > 0$ 且 $\text{tr} v < 0$, 即 $(R-F) \times [((a-b)(m-n)S_1-C_1)-(amS_2-C_2)] > 0$ 且 $(R-F) + [(a-b)(m-n)S_1-C_1-(amS_2-C_2)] < 0$, 系统才会处于稳定状态。由于 $(R-F) > 0$, 两个不等式相互矛盾, 因此在任何条件下, 该均衡点都不是系统的演化稳定性策略。

对于均衡点 $[0, 1]$, 若要成为系统的演化稳定性策略, 需满足 $(F-R) \times [(amS_1-C_1)-(amS_2-C_2+L)] > 0$, $(F-R) + [(amS_1-C_1)-(amS_2-C_2+L)] < 0$, 此时系统会逐渐处于稳定状态。由于 $F-R < 0$, 因此只需满足 $(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1) > 0$, 该平衡点即为系统的演化稳定性策略, 其系统演化相位图如图 1 (a) 所示。

对于均衡点 $[1, 0]$, 若要成为系统的演化稳定性策略, 需满足 $(R-F-H) \times [(amS_2-C_2)-((a-b)(m-n)S_1-C_1)] > 0$, $(R-F-H) + [(amS_2-C_2)-((a-b)(m-n)S_1-C_1)] < 0$, 此时, 系统才会逐渐处于稳定状态。由于 $-H < 0$, $F-R > 0$, 因此, 当满足 $(amS_2-C_2)-[(a-b)(m-n)S_1-C_1] < 0$ 时, 系统才会逐渐处于稳定状态。其系统演化相位图如图 1 (b) 所示。

对于均衡点 $[1, 1]$, 若要成为系统的演化稳定性策略, 需满足 $(F+H-R) \times [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)] > 0$, $(F+H-R) + [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)] < 0$, 此时系统才会逐渐处于稳定状态。由于 $F-R > 0$, 这两个不等式相互矛盾, 因此在任何条件下, 该均衡点都不是系统的演化稳定性策略。

对于均衡点 $[a, b]$, 若要成为系统的演化稳定性策略, 需满足 $(F+H-R) \times [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)] > 0$, $(F+H-R) + [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)] < 0$, 此时系统才会逐渐处于稳定状态。由于 $F-R > 0$, 这两个不等式相互矛盾, 因此在任何条件下, 该均衡点都不是系统的演化稳定性策略。

3 演化博弈数值仿真分析

3.1 博弈均衡点仿真分析

理论层面的分析推导无法直观反映博弈系统中各

表 3 各均衡点矩阵行列式和迹的表达式

Table 3 Expressions for the determinant and trace of the matrix of each equilibrium point

均衡点	$\det v$	$\text{tr} v$
$[0, 0]$	$(R-F) \times [((a-b)(m-n)S_1-C_1)-(amS_2-C_2)]$	$(R-F) + [(a-b)(m-n)S_1-C_1-(amS_2-C_2)]$
$[0, 1]$	$(F-R) \times [(amS_1-C_1)-(amS_2-C_2+L)]$	$(F-R) + [(amS_1-C_1)-(amS_2-C_2+L)]$
$[1, 0]$	$(R-F-H) \times [(amS_2-C_2)-((a-b)(m-n)S_1-C_1)]$	$(R-F-H) + [(amS_2-C_2)-((a-b)(m-n)S_1-C_1)]$
$[1, 1]$	$(F+H-R) \times [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)]$	$(F+H-R) + [(amS_2-C_2+L)-(amS_1-C_1)]$
$[a, b]$	θ	0

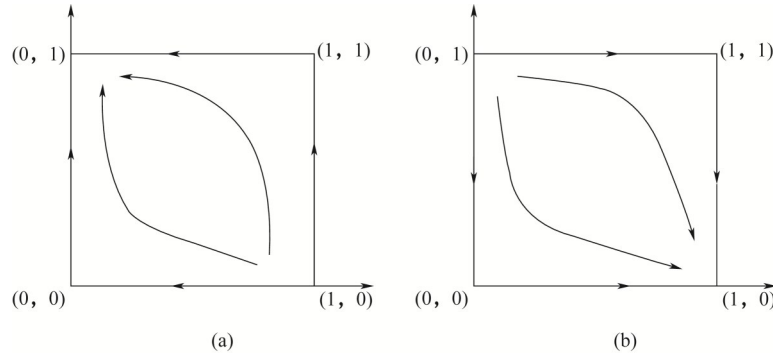


图1 系统演化相位图

Figure 1 Phase diagram of system evolution

表4 政府和企业间两方博弈系统均衡点的渐近稳定性

Table 4 Asymptotic stability of the equilibrium point of the two-party game system between government and firms

序号	均衡点	条件	det B	trB	稳定性
1	[0, 0]	任何条件均不满足	?	?	不稳定
2	[0, 1]	$(aS_1 - C_1) - (aS_2 - C_2 + L) < 0$	+	-	ESS
3	[1, 0]	$(aS_2 - C_2) - ((a-b)(m-n)S_1 - C_1) < 0$	+	-	ESS
4	[1, 1]	任何条件均不满足	?	?	不稳定
5	[a, b]	任何条件下都是鞍点	?	0	鞍点

个参数对系统演化稳定性的影响，因此本文运用 MatlabR2018a 软件对企业和政府的策略演化轨迹展开仿真模拟，旨在通过刻画博弈主体在不同条件下的策略选择，验证上文的理论分析结论。本文假设电网企业与政府策略选择的初始概率组合分别为 (0.8, 0.8)、(0.2, 0.2)、(0.2, 0.8)、(0.8, 0.2)。其中，(0.8, 0.8) 表示在初始状态下，政府倾向于选择放松监管策略，而电网企业倾向于采取仅考虑经济利益这一策略；(0.2, 0.2) 表示在初始状态下，政府倾向于选择

加强监管策略，电网企业则倾向于兼顾社会责任这一策略选择。

3.1.1 均衡点[1,0]数值仿真分析 由表4可知，系统在[1,0]处时处于渐进稳定的条件是 $(aS_2 - C_2) - [(a-b)(m-n)S_1 - C_1] < 0$ ，基于这一条件进行数值仿真。设 $S_1=6, S_2=3.4, C_1=2.86, C_2=2, a=0.9, b=0.1, m=0.95, n=0.1, R=2, f=1, H=2.5$ ，系统仿真结果如图2所示。由图2可知，当满足 $(aS_2 - C_2) - [(a-b)(m-n)S_1 - C_1] < 0$ 这一条件时，企业和政府的博弈策略会朝着均衡点[1,0]进行演化，最终达到稳定状态，即企业最终选择“仅考虑经济利益”的策略，政府最终选择“加强监管”的策略。这一仿真结果与我国实际情况相契合，能较好地解释以下现象：随着我国电网投资规模的不断扩大，2020年国家发改委对《省级电网输配电价定价办法》和《区域电网输电价格定价办法》进行修订，通过更加科学地核定电网投资的有效资产，进一步规范企业投资行为。

3.1.2 均衡点[0,1]数值仿真分析 由表4可知，系统

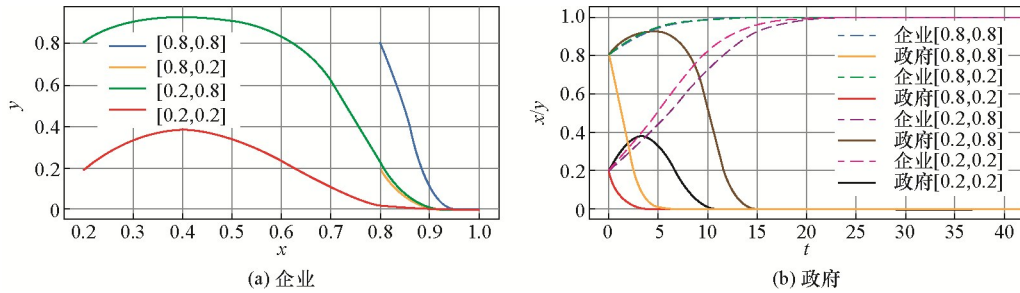


图2 均衡点[1,0]企业 (a) 和政府 (b) 演化博弈仿真

Figure 2 Simulation of evolutionary game between firms (a) and government (b) at equilibrium point [1,0]

在 $[0, 1]$ 处时处于渐进稳定的条件是 $(amS_1 - C_1) - (amS_2 - C_2 + L) < 0$ ，以下基于这一条件进行数值仿真分析。设 $S_1=4, S_2=3, C_1=1.6, C_2=0.7, a=0.9, b=0, m=0.9, R=1, F=1, L=0.2$ ，系统仿真结果如图3所示。由图3可知，当符合 $(amS_1 - C_1) - (amS_2 - C_2 + L) < 0$ 这一条件时，企业和政府的博弈策略向均衡点 $[0, 1]$ 进行演化，并且最终达到稳定状态。具体而言，当企业兼顾社会责任时，其投资成本和规模将会呈现下降趋势；而当政府的激励收益超过企业的相关损失时，企业最终会选择“兼顾社会责任”的策略，政府也会相应选择“放松监管”的策略。由图3也可以看出，企业和政府在博弈初始阶段的意愿显著影响其到达博弈均衡点的速度：当政府初始意愿不变时，企业选择兼顾社会责任的初始意愿越高，政府到达稳定点的速度就越快；反之，反而越慢。在这一稳定状态下，企业既能保障经济利益，又能切实履行社会责任，实现合理的电网投资；政府并不需要额外付出监管成本，就可以达到监管目标。因此， $[0, 1]$ 是电网投资监管场景下实现政企双赢的最理想模式。

3.2 参数变化对演化过程与博弈结果的影响分析

为了分析参数变化对政府和企业策略选择的影响程度，假设参数同步变动特定幅度，以此分析双方趋近博弈稳定点的速度。根据上文的策略稳定性分析， n 、 b 、 L 为影响 $[0, 0]$ 和 $[1, 0]$ 两个策略稳定点的主要因素。因此，本部分选择这两个稳定点对4个参数设置不同的场景，如表5所示，通过分析参数变动对双方主体策略演化的影响，旨在根据演化结果对政府和企

业提出相应的建议。各参数变化对主体策略演化的影响如图4、图5所示。

表5 参数变化场景设置

Table 5 Parameter change scenario settings

参数	数值	参数	数值	参数	数值
n_1	0.05	b_1	0.05	L_1	0.2
n_2	0.1	b_2	0.1	L_2	0.25
n_3	0.15	b_3	0.15	L_3	0.3
n_4	0.2	b_4	0.2	L_4	0.35

3.2.1 参数 b 变化对演化过程与博弈结果的影响分析 由图4可知，随着动态演化时间的推移，企业和政府的最终均衡策略组合会随着 b 的变化而变化。当 $b_1=0.05$ 和 $b_2=0.1$ 时，企业和政府的均衡策略为“企业仅考虑经济利益，政府加强监管”；当 $b_3=0.15$ 和 $b_4=0.2$ 时，均衡策略为“企业兼顾社会责任，政府放松监管”。当 b 变化到 0.1 时，电网企业的整体策略趋势与 $b_1=0.05$ 时保持一致，即企业选择仅考虑经济利益这一策略，但是到达稳定点的速率明显低于 $b_1=0.05$ ，表明准许收益率的变化显著影响着企业的策略选择，这是因为政府加强监管时会调整输配电价的准许收益率，导致企业利润降低，延缓了其选择仅考虑经济利益策略的进程。当 $b_3=0.15$ 时，企业与政府的博弈策略有所改变，这是因为经过一番博弈后，企业发现兼顾社会责任带来的收益大于仅考虑经济利益而扩大电网投资规模获取的收益，且普遍不愿承担由于仅追求经济利益最大化而带来利润下降的风险。在此背景下，由于电网企业普遍选择兼顾社会责任的投资策略，政府无须再投入大量监管成本对企业加强监管，进而转向选择放松监管的策略。但是，当 b 从

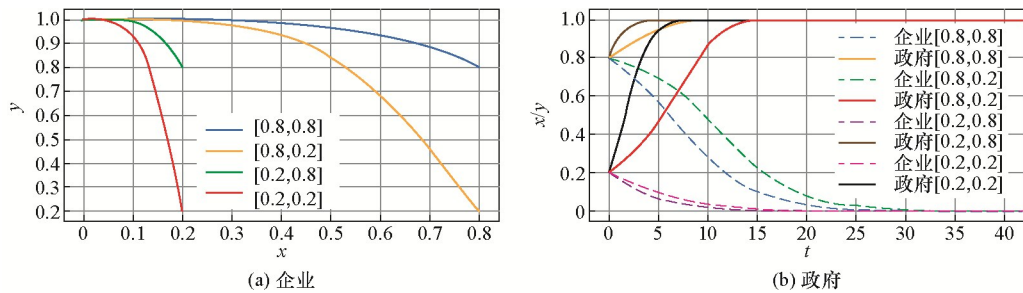


图3 均衡点 $[0, 1]$ 企业(a)和政府(b)演化博弈仿真

Figure 3 Simulation of the evolutionary game between firms (a) and government (b) at equilibrium point $[0, 1]$.

0.15变化到0.2时,也就是说,尽管政府调整输配电价的力度逐渐加大,但是电网企业选择兼顾社会责任的速度并未发生明显变化,这是因为当 $b=0.15$ 时,企业和政府已经选择了{兼顾社会责任,放松监管}的策略组合, b 的变化对企业和政府在这一策略下的利润影响不大,因此,政府虽然可以通过调整输配电价引导企业的策略选择,但是需精准把控监管力度,在保障企业合理投资的前提下,推动企业实现利益的最大化。

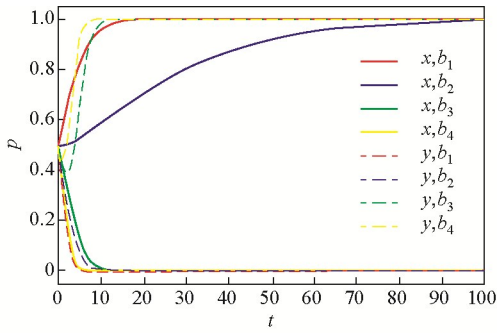


图4 [1,0]下 b 的变化对主体策略演化的影响

Figure 4 Effect of b change on subject strategy evolution under [1,0]

3.2.2 参数 n 变化对演化过程与博弈结果的影响分析 与图4类似,图5中有效资产核定范围的变化同样会改变政府和企业的稳态策略。当满足 $n_1=0.05$ 和 $n_2=0.1$ 时,企业和政府的最终均衡策略为“企业仅考虑经济利益,政府加强监管”。当满足 $n_2=0.15$ 和 $n_3=0.2$ 时,企业和政府的均衡策略发生变化,即企业选择以兼顾社会利益为目标,政府选择放松监管。当 $n_2=0.1$ 时,企业虽然选择了仅考虑经济利益的稳定策略,但是与 $n_1=0.05$ 相比,企业到达稳定状态的速度放缓。这是由于当政府核准的有效资产范围缩小时,企业仅追求经济利益所能获得的利润虽然有所下降,但是仍然高于以社会责任为目标时的利润,因此经过博弈之后,企业仍然选择以经济利益最大化为目标。与图4不同的是:不论企业和政府选择哪种均衡策略,在有效资产核定范围变动时,企业达到稳定状态的速度均慢于图4的情况。这表明,准许收益率的变动对企业策略调整的影响更加显著。

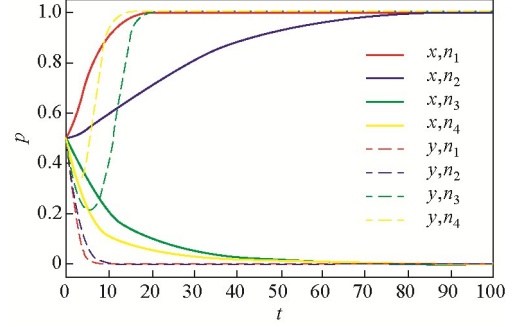


图5 [1,0]下 n 的变化对主体策略演化的影响

Figure 5 Effect of n change on subject strategy evolution under [1,0]

3.2.3 参数 L 变化对演化过程与博弈结果的影响分析 如图6所示,在4种情境下,随着动态演化时间的推移,电网企业和政府的均衡策略组合始终为“兼顾社会责任,放松监管”。这是因为在其他条件不变的情况下,激励收益增加会使电网企业选择兼顾社会利益的投资策略,获得的利润越来越大,因此,企业会一直选择以社会责任为目标的均衡策略。在此情况下,政府不需要付出高额的监管成本对电网企业进行监管,故而会选择放松监管的策略。同时,图6还显示,激励收益越大,企业和政府到达稳定策略的速度越快,这表明,激励收益与企业和政府的策略选择呈正相关。但是与准许收益率和有效资产核定的变化相比,激励收益的变化对企业和政府的影响较弱。因此,政府在调整政策时,应当首先选取对电网企业影响较大的因素进行调整,以增强政策调整的针对性和有效性。

4 结论和建议

本文构建了电网投资监管下企业和政府的演化博弈模型,分析了电网企业和政府博弈行为的演化稳定策略,并借助MATLAB进行仿真分析,探讨了参数变化对博弈系统产生的影响。主要结论为:

第一,在电网投资监管场景中,政府监管方式与企业投资动机的选择具有不确定性,双方在博弈过程中可形成两个稳定均衡状态。当企业只考虑经济利益时,政府加强监管所产生的监管效益高于放松监管,此时系统会趋向{仅考虑经济利益,加强监管}这一状

态。而当政府的激励收益超过企业兼顾社会责任所带来的投资损失时,系统会达到{兼顾社会责任,放松监管}这一状态。其中,{兼顾社会责任,放松监管}是规范电网投资行为、提高政府监管成效、实现政企双赢的最优策略组合。

第二,电网企业和政府的策略选择受准许收益率的降低值 b 、激励收益 L 、投资规模核定率的降低值 n 的影响。在{仅考虑经济利益,加强监管}策略下, n 和 b 对企业投资策略的选择具有抑制效应,即参数数值越大,企业到达稳定状态的速度越慢。在{兼顾社会责任,放松监管}策略下, L 对企业投资策略的选择具有促进效应,即参数扩大能加快企业到达稳定状态的速度。各个因素的影响力大小排序为 $b > n > L$ 。

第三,政府通过调整准许收益率和有效资产的核定范围,能够推动监管模式从{仅考虑经济利益,加强监管}向{兼顾社会责任,放松监管}的理想状态转型。但是在此过程中,政府应严格把控参数调整范围,避免企业因利润过低而降低投资积极性。

基于本文的研究结论,为引导电网投资监管政企演化博弈系统朝着{兼顾社会责任,放松监管}的方向演化,本文提出以下几点建议:

首先,提高企业在电网投资过程中主动承担社会责任的意愿。企业领导者应摒弃急功近利、竭泽而渔的短期思维,持续强化大局意识与全局观念,在合理规划电网投资的同时,主动肩负起社会责任。政府则应整合社会资源,充分发挥宣传引导作用,一方面提高社会公众的维权意识与行动能力,引导社会力量参与监管,破解政府单一监管可能出现的监管混同和僵化问题;另一方面通过构建“企业自治、社会监督、

政府监管”的多元共治监管新格局,促使企业自觉履行社会责任。

其次,保障电网企业在兼顾社会责任时获得合理的投资回报。政府应注重监管政策制定和调整的周期设计,给企业预留适当的缓冲时间,规避因双方信息不对称引发的监管失灵。企业则在投资时应关注政策动态,识别可转化为计提范围的有效资产,加大对投资效率和转固率高、工期短的电网工程的投资,同时借助科技手段提升电网投资预测精度,从源头减少无效投资。

最后,通过适当调整监管手段规范电网企业的投资行为。政府应实时关注电网投资情况,在察觉企业有过度扩张投资的倾向时,适当调整有效资产的核定率以及电网投资的准许收益率,驱动企业积极主动承担社会责任。同时,对于企业的合理投资行为,政府应给予激励和肯定,充分激发其规范投资的内生动力,保证电网投资始终处于良性运转状态,最终实现监管框架下“无为而治”的双赢局面。

由于当前我国电力市场改革正处于全面深化阶段,电网投资监管仍存在数字化监管能力不足、输配电价核定滞后以及投资回报机制激励不足等问题,因此本研究构建的电网投资监管下政企演化博弈模型难免存在某些局限性。另外,能源转型的加速推进和新型电力系统的建设,对电网投资提出了系统性、结构性和技术性的全方位新要求,如何在新要求下制定适配的监管策略也成为现阶段乃至未来一段时期内亟须关注的重要问题。基于此,未来研究将重点围绕上述核心问题展开,从而为政府、电网企业等多方主体实现多赢提供更坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] 李京,王国庆,朱建明,等. 冰雪灾害背景下电网投资优化和韧性提升模型[J]. 中国管理科学, 2020, 28(3): 122-131.
Li J, Wang G Q, Zhu J M, et al. Investment optimization and resilience enhancement of power system under ice storm disaster[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(3): 122-131.
- [2] 陈新晨,潘学萍,马倩,等. 基于系统动力学理论的输配电价绩效管制建模与分析[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(9): 27-34, 42.
Chen X C, Pan X P, Ma Q, et al. Modeling and analysis of transmission and distribution price performance-based regulation based on system dynamics theory[J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(9): 27-34, 42.

- [3] 蒲雷, 谭忠富, 谭彩霞, 等. 计及交叉补贴分摊的输配电价定价方法[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(6): 1476-1485.
Pu L, Tan Z F, Tan C X, et al. Transmission and distribution pricing method considering cross-subsidies allocation[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2021, 41(6): 1476-1485.
- [4] 李文钊, 翟文康, 刘文章. "放管服" 改革何以优化营商环境? 基于治理结构视角[J]. 管理世界, 2023, 39(9): 104-124.
Li W Z, Zhai W K, Liu W Z. How to optimize the business environment through the reform of "delegating-regulation-service"? based on the perspective of governance structure[J]. Journal of Management World, 2023, 39(9): 104-124.
- [5] 李成仁, 高效, 尤培培, 等. 输配电事前定价情况下投资监管的国际经验及启示[J]. 中国电力, 2017, 50(4): 23-27, 34.
Li C R, Gao X, You P P, et al. International experience and enlightenment of regulatory investment in pre-pricing of transmission and distribution[J]. Electric Power, 2017, 50(4): 23-27, 34.
- [6] 人民网. 努力加强电网投资监管(有的放矢) [EB/OL]. (2020-06-15). <http://ccnews.people.com.cn/n1/2020/0615/c141677-31746654.html>.
People's Daily Online. Efforts to strengthen the supervision of power grid investment (targeted) [EB/OL]. (2020-06-15). <http://ccnews.people.com.cn/n1/2020/0615/c141677-31746654.html>.
- [7] 杜静涓, 廖思阳, 徐箭. 基于动态迭代排序的电网项目投资决策方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(10): 942-951.
Du J M, Liao S Y, Xu J. Power grid project investment decision making method based on dynamic iterative ranking[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2021, 54(10): 942-951.
- [8] 肖艳利, 刘小敏, 万晖, 等. 输配电价监管下电网投资策略优化研究: 基于输配电价、电网投资与社会经济效益关系的视角[J]. 价格理论与实践, 2022(11): 88-92.
Xiao Y L, Liu X M, Wan Y, et al. Research on the optimization of power grid investment strategy under the supervision of transmission and distribution price: Based on the relationship between transmission and distribution price, power grid investment and socioeconomic benefits[J]. Price (Theory & Practice), 2022(11): 88-92.
- [9] 金智博, 李华强, 李山山, 等. 考虑投资能力反馈的电网规划项目投资时序优化方法[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(3): 168-174.
Jin Z B, Li H Q, Li S S, et al. Optimization method of investment time series of power grid planning projects considering investment ability feedback[J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(3): 168-174.
- [10] Vilaplana J A, Yang G Y, Monaco R, et al. Digital versus grid investments in electricity distribution grids: Informed decision-making through system dynamics[J]. Applied Energy, 2025, 386: 125536.
- [11] Zheng X Y, Shen J F, Dong H R, et al. Optimization study of grid business investment timing considering return on investment[J]. Finance Research Letters, 2025, 80: 107356.
- [12] Dinçer H, Krishankumar R, Yüksel S, et al. Evaluating smart grid investment drivers and creating effective policies *via* a fuzzy multi-criteria approach[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2025, 208: 115052.
- [13] Wu J S, Zhang L L, Bai Y P, et al. A safety investment optimization model for power grid enterprises based on System Dynamics and Bayesian network theory[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2022, 221: 108331.
- [14] 刘巍, 李猛, 李秋燕, 等. 基于改进遗传算法的电网投资组合预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(8): 78-85.
Liu W, Li M, Li Q Y, et al. Power grid portfolio forecasting method based on an improved genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(8): 78-85.
- [15] Lou Q H, Li Y B, Liu N. Power grid investment forecasting method based on PSO-GRU neural network[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2023, 35(27): e7846.
- [16] Wang Q, Yang X L, Pu D, et al. Sustainable investment forecasting of power grids based on the deep restricted Boltzmann machine optimized by the lion algorithm[J]. Computer Modeling in Engineering & Sciences, 2022, 130(1): 269-286.
- [17] Megginson W L, Mueller P C. Natural monopoly privatization: minimizing regulatory trade-offs between rent extraction and innovation[J]. Academy of Management Perspectives, 2022, 36(1): 111-124.
- [18] 秦中伏, 魏巍, 刘亚冰. 绿色施工监管演化博弈与仿真研究[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2018, 10(4): 387-394.
Qin Z F, Wei W, Liu Y B. Evolutionary game and simulation research on green construction supervision[J]. Journal of Engineering Studies, 2018, 10(4): 387-394.
- [19] 王玲, 吴鸿亮, 彭道鑫. 新一轮输配电价监管周期下的电网投资规模预测: 基于优化的支持向量机模型[J]. 技术经济, 2020, 39(10): 45-53.
Wang L, Wu H L, Peng D X. Forecast of power grid investment scale in the new round of transmission and distribution price supervision

- cycle: Based on optimized support vector machine model[J]. *Journal of Technology Economics*, 2020, 39(10): 45-53.
- [20] 王磊. 电网投资成本规制控制研究进展[J]. *价格理论与实践*, 2019(7): 37-42.
Wang L. Progress report on regulation control of power grid investment cost[J]. *Price (Theory & Practice)*, 2019(7): 37-42.
- [21] 王磊, 伍业君. 网络型自然垄断环节投资监管研究[J]. *经济纵横*, 2019(1): 90-98.
Wang L, Wu Y J. Research on investment regulation of network-based natural monopoly[J]. *Economic Review Journal*, 2019(1): 90-98.
- [22] 钟波涛, 李晨希, 丁烈云, 等. 基于区块链的建筑工程质量协同治理博弈分析[J]. *科技管理研究*, 2023, 43(14): 168-177.
Zhong B T, Li C X, Ding L Y, et al. Evolutionary game analysis for construction quality co-governance based on blockchain[J]. *Science and Technology Management Research*, 2023, 43(14): 168-177.
- [23] Li N, Lv T, Guo Y X, et al. Can government supervision ensure compliance by photovoltaic enterprises? An evolutionary game analysis[J]. *Energy Policy*, 2025, 206: 114740.
- [24] Li Y B, Su X Z, Li Y, et al. Evolutionary game analysis of microgrids' grid connection under government reward and punishment mechanism[J]. *Energy*, 2025, 318: 134676.
- [25] Zhang K, Jia H P, Kang K Y, et al. Stochastic evolutionary game analysis of microgrids' grid connection considering multiple factors[J]. *Energy*, 2025, 330: 136854.
- [26] 戴道明, 赵莹. 考虑消纳责任权重的可再生能源电力供应链绿证监管演化博弈分析[J]. *中国电力*, 2025, 58(4): 216-229.
Dai D M, Zhao Y. Evolutionary game analysis for government supervision of green electricity certificate in a renewable energy power supply chain with portfolio standard[J]. *Electric Power*, 2025, 58(4): 216-229.
- [27] Chang Y C. The tripartite evolutionary game of enterprises' green production strategy with government supervision and people participation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 370: 122627.
- [28] Fang D B, Zhao C Y, Yu Q. Government regulation of renewable energy generation and transmission in China's electricity market[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 93: 775-793.
- [29] Yang Y P, Yang W X, Chen H M, et al. China's energy whistleblowing and energy supervision policy: An evolutionary game perspective[J]. *Energy*, 2020, 213: 118774.
- [30] Kang K, Tan B Q. Carbon emission reduction investment in sustainable supply chains under cap-and-trade regulation: An evolutionary game-theoretical perspective[J]. *Expert Systems with Applications*, 2023, 227: 120335.
- [31] Li J Y, Huang X M, Zhao Y X. Research on the evolution of supervision strategy of renewable energy+energy storage under China's carbon peaking and carbon neutrality goal[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30(26): 69221-69240.
- [32] 宋美慧, 王维才. 能源安全背景下企业与政府间双方演化博弈行为研究[J]. *中国软科学*, 2022(9): 152-160.
Song M H, Wang W C. Research on evolutionary game behavior between enterprise and government on the background of energy security [J]. *China Soft Science*, 2022(9): 152-160.
- [33] 朱瑞, 娄奇鹤, 靳晓凌, 等. 适应新型电力系统的电网基建功能化投资结构演化研究[J]. *中国电力*, 2024, 57(9): 194-204.
Zhu R, Lou Q H, Jin X L, et al. Evolution of functional investment structure of power grid infrastructure suitable for new power system[J]. *Electric Power*, 2024, 57(9): 194-204.
- [34] 朱刘柱, 金文, 叶彬, 等. 输配电价改革背景下电网投资策略情景模拟及优化研究[J]. *价格理论与实践*, 2021(5): 101-105.
Zhu L Z, Jin W, Ye B, et al. Research on scenario simulation and optimization of grid investment strategy under the situation of transmission and distribution price reform[J]. *Price (Theory & Practice)*, 2021(5): 101-105.
- [35] 孙晶琪, 王愿, 郭晓慧, 等. 考虑环境外部性和风光出力不确定性的虚拟电厂运行优化[J]. *电力系统自动化*, 2022, 46(8): 50-59.
Sun J Q, Wang Y, Guo X H, et al. Optimal operation of virtual power plant considering environmental externality and output uncertainty of wind and photovoltaic power[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2022, 46(8): 50-59.
- [36] 谢敬东, 卞泽远, 吕志伟, 等. 基于三方演化博弈的微网接入公共配电网服务输配电价调整监管机制[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(15): 6312-6321.
Xie J D, Bian Z Y, Lyu Z W, et al. The regulatory mechanism of microgrid access to public distribution network service transmission and distribution price adjustment based on tripartite evolutionary game[J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(15): 6312-6321.
- [37] 吴珊, 段琪斐, 李成仁, 等. 电网投资监管的激励与约束兼容机制研究: 兼析新电改以来监管政策推进与完善[J]. *价格理论与实践*, 2019(4): 153-156.
Wu S, Duan Q F, Li C R, et al. Research on incentive-constraint compatible mechanism of power grid investment regulation: Analysis of

- the promotion and improvement of supervision policy since the new power reform[J]. Price (Theory & Practice), 2019(4): 153-156.
- [38] 赵哲耘, 靳琳琳, 刘玉敏, 等. 社会化媒体环境下政府、企业与消费者的质量监管演化博弈[J]. 管理评论, 2023, 35(6): 248-261.
- Zhao Z Y, Jin L L, Liu Y M, et al. The evolutionary game of quality regulation among government, enterprise and consumer in the social media environment[J]. Management Review, 2023, 35(6): 248-261.
- [39] 史欢, 李洪波. 考虑政府监管的农机装备产学研协同创新演化博弈研究[J]. 运筹与管理, 2023, 32(8): 93-100.
- Shi H, Li H B. Evolutionary game research on the collaborative innovation of agricultural machinery equipment industry-university-research under government regulation[J]. Operations Research and Management Science, 2023, 32(8): 93-100.
- [40] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637.

Research on the Evolutionary Game Equilibrium and Win-Win Mechanism of Power Grid Investment Regulation: A Perspective of Government-Enterprise Interaction

XIAO Tingting, WANG Yuan, LI Yanbin, LIU Chang, LI Yun*

College of Economic Management, North China Electricity Power University, Beijing 102206, China

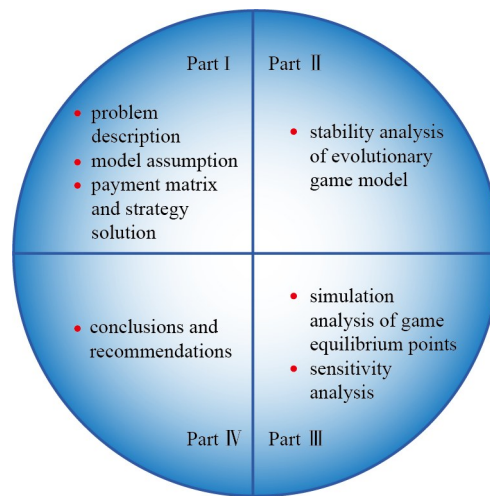
Highlights

Power grid firms face dual pressure: economic gains and social duties under government supervision.

The paper constructs an evolutionary game model involving both enterprises and the government.

Suggestions offer theoretical basis and policy references for government and enterprises.

Graphical Abstract



Abstract: Power grid investment is an important support for accelerating the construction of a new power system, promoting energy transformation and achieving the "dual carbon" goal. However, current power grid enterprises have both the motivation to pursue maximum profits by expanding effective assets and the need to undertake social responsibilities such as providing guaranteed power supply services and integrating new energy into the grid. Meanwhile, the government needs to strike a balance through regulatory measures such as the regulation of transmission and distribution prices and the supervision of investment effectiveness. It should not only prevent power grid enterprises from blindly expanding but also encourage power grid enterprises to meet the investment intensity. Therefore, power grid enterprises are under the dual pressure of pursuing economic

benefits and taking into account social responsibilities in this regulatory environment. Under this development trend, clarifying the relationship between government supervision and power grid investment behavior, and how to choose the investment motives of power grid enterprises and the government supervision methods to achieve a win-win situation for both the government and power grid enterprises have become urgent issues to be studied.

This paper constructs a two-party evolutionary game model of power grid enterprises and the government to explore the strategy choices of enterprises and the government under the supervision of power grid investment, and analyzes how the changes in parameters such as the reduction value of the investment scale determination rate, the reduction value of the permitted rate of return, and the government's relaxation of supervision on the reasonable investment incentives of enterprises affect the evolutionary equilibrium strategies of the game subjects.

The research finds that, first, under the supervision of power grid investment, the choice of government supervision methods and enterprises' investment motives is uncertain, and the two sides can reach two stable equilibrium states in the game process. When enterprises only consider economic interests, compared with the government's relaxation of supervision, the regulatory benefits brought by strengthened supervision are higher, and the system will reach the state of only considering economic interests and strengthening supervision. When the incentive benefits of the government are greater than the investment losses caused by enterprises taking into account social responsibilities, the system will reach the state of taking into account social responsibilities and relaxing supervision. Moreover, taking into account social responsibility and relaxing supervision is the most ideal strategic combination for regulating power grid investment behavior, improving the effectiveness of government supervision, and achieving a win-win situation for both the government and enterprises. Secondly, the strategic choices of power grid enterprises and the government are influenced by the reduction values of the permitted rate of return, incentive benefits, and the reduction values of the investment scale determination rate. Under the strategy of only considering economic interests and strengthening supervision, the reduction values of the investment scale determination rate and the permitted rate of return have inhibitory effects on the choices of enterprises' investment strategies. That is, the gradual change of parameters will reduce the speed at which the enterprise reaches a stable state. Under the strategy of taking into account social responsibility and relaxing supervision, incentive returns have a promoting effect on the choice of enterprise investment strategies, that is, the expansion of parameters accelerates the speed at which enterprises reach a stable state. Thirdly, the government can achieve an ideal state from only considering economic interests and strengthening supervision to taking into account social responsibilities and relaxing supervision by adjusting the permitted rate of return and the determination range of effective assets. However, the adjustment range of parameters should be controlled to avoid the low profits of enterprises dampening their enthusiasm for investment. Finally, in order to guide the evolution of the government-enterprise game system for power grid investment supervision towards taking into account social responsibility and relaxing supervision, based on the research conclusions, relevant suggestions are put forward for the government and power grid enterprises, providing a theoretical basis and policy reference for achieving a win-win situation for the government and enterprises under power grid investment supervision.

Given the current stage of comprehensive deepening in our country's power market reform, there are still issues that need to be addressed. These include insufficient digital supervision capabilities, issues with transmission and distribution prices, and inadequate incentives for the investment return mechanism in grid investment supervision. As a result, the evolutionary game model of enterprises and the government under grid investment supervision constructed in this study may have certain limitations. Furthermore, the accelerating promotion of energy transformation and the construction of a new power system have posed new, systematic, structural, and technical requirements for grid investment. Formulating regulatory strategies under these new requirements has become an important issue that requires attention in the current period and in the future. Therefore, future research will focus on these key issues to provide support for multiple stakeholders, including the government and grid enterprises, in achieving a win-win situation.

Keywords: power grid investment works; power grid enterprise; power grid investment supervision; government; evolutionary game