

新能源汽车充电设施 PPP 项目价格 管控模型研究



戴同^{1,2,*}

¹ 内蒙古建筑职业技术学院建筑设备与自动化学院, 内蒙古呼和浩特 010020

² 浙江大学宁波工业技术研究所加一光电研发中心, 浙江宁波 310058

摘要: 为降低石油消耗、减少环境污染、推进碳中和目标的实现, 新能源汽车产业替代燃油汽车产业已是大势所趋。然而, 公共充电基础设施的覆盖问题已成为阻碍新能源汽车产业发展的瓶颈之一。在公共充电基础设施相关领域引用 PPP 模式, 借助投资企业充盈的资金和先进的管理能力推动充电站的建设、提升配套服务的品质不失为解决充电设施短缺问题的一种有效方式。充电服务价格是维持 PPP 项目中政府、企业和用户等各方干系人利益的焦点。本文运用系统动力学方法梳理新能源汽车充电服务价格及投资方收益的主要影响因素, 根据各因素之间的反馈关系构建新能源汽车充电设施 PPP 项目价格调控模型, 以充电量的影响因素为切入点, 借助实际案例运用 Vensim 软件对所构建的价格调控模型进行仿真模拟。模拟结果可以预测在大众用户消费能力内, 同时既可以达到政府管控政策, 又满足投资方收益率的电动汽车充电服务价格区间。该模型还能预判 PPP 项目实施过程中投资收益率超标临界点, 为政府部门对充电价格调控提供科学合理的参考依据。

关键词: 新能源汽车充电设施; PPP 项目; 价格调控; 系统动力学

DOI: [10.57237/j.wjmst.2023.04.001](https://doi.org/10.57237/j.wjmst.2023.04.001)

Research on Price Control Model for PPP Project of New Energy Vehicle Charging Facilities

Tong Dai^{1,2,*}

¹ School of Building Equipment and Automation, Inner Mongolia Technical College of Construction, Hohhot 010020, China

² Ningbo Industrial Technology Research Institute Plus One Optoelectronic Technology R&D Center, Zhejiang University, Ningbo 310058, China

Abstract: In order to reduce oil consumption, reduce environmental pollution, and promote the achievement of carbon neutrality goals, it is an inevitable trend for the new energy vehicle industry to replace the fuel vehicle industry. However, the coverage of public charging infrastructure has become one of the bottlenecks hindering the development of the new energy vehicle industry. Introducing the PPP model in the field of public charging infrastructure, leveraging the abundant funds and advanced management capabilities of investment enterprises to promote the construction of charging stations and improve the quality of supporting services, is an effective way to solve the problem of charging facility

基金项目: 内蒙古自治区直属高校基本科研项目《“双碳”背景下内蒙古绿色低碳建筑技术经济适用性研究》(NZJK202214).

*通信作者: 戴同, daitong80@126.com

收稿日期: 2023-09-26; 接受日期: 2023-10-24; 在线出版日期: 2023-10-28

<http://www.wjmst.net>

shortage. The pricing of charging services is the focus of maintaining the interests of stakeholders such as government, enterprises, and users in PPP projects. This article uses the method of system dynamics to sort out the main influencing factors of the price of new energy vehicle charging services and the returns of investors. Based on the feedback relationship between various factors, a new energy vehicle charging facility PPP project price regulation model is constructed. Starting from the influencing factors of charging volume, the actual case is used to simulate the constructed price regulation model using Vensim software. The simulation results can predict the price range of electric vehicle charging services within the consumption capacity of mass users, while meeting government control policies and investor returns. This model can also predict the critical point at which the investment return rate exceeds the standard during the implementation of PPP projects, providing a scientific and reasonable reference basis for government departments to regulate charging prices.

Keywords: New Energy Vehicle Charging Facilities; PPP Project; Price Regulation; System Dynamics

1 引言

在新能源汽车产业链中,充电的便利性和价格的合理性成为制约电动汽车推广的瓶颈[1]。地方政府试图借助 PPP 模式吸引民间资本,解决电动汽车公共充电基础设施因建设资金短缺而进展缓慢的问题[2]。充电站类同于为燃油汽车服务的加油站,通过为电动汽车提供充电服务收取费用来维持运营并获得收益[3]。充电服务价格是作为宏观调控的政府方、建设并运营的投资方、电动汽车用户等多方干系人共同关注的焦点[4]。充电站充电服务价格机制尚处于摸索阶段,可行、实用的新能源汽车充电服务价格调控机制是学术界研究的热点[5]。本文运用系统动力学方法梳理新能源汽车充电服务价格及投资方收益的主要影响因素,根据各因素之间的反馈关系,模拟新能源汽车充电站运营过程中可能发生的各种情况,判断影响企业收益和用户利益的结果,为政府制定新能源汽车充电服务价格调控体系提供更加科学的依据。

2 相关研究文献评述

新能源汽车公共充电基础设施是为电动汽车补充动力能源的公用充电站,其功能类同于为民用加油站。在国家和地方政府政策的推动下,电动汽车规模化市场迅猛发展,为保证电动汽车在行驶过程中所需电能可以及时得到补充,公用充电网点的建设需求逐年攀升。

吴亚芳在统计公共充电桩保有量等数据信息后指出,公共充电桩数量不足是电动汽车销量的增幅

缓慢的主要原因之一,建议快速推进充电站建设速度[6]。岳为众等研究中国电动汽车充电基础设施产业政策中指出,参与 PPP 模式的民营企业在充电设施建设、运营市场中表现突出,发挥了重要的作用[7]。张芳从充电网络布局等方面存在的问题着手分析,阐述了在汽车充电基础设施建设中运用 PPP 模式的必要性[8]。童大权在分析电动汽车充电行业发展现状时指出运用 PPP 模式引进企业参与投资运营,提高管理效率[9]。彭鸿林在新能源汽车推广前期便开始针对充电服务收费的研究,通过与汽车加油站运营过程中的收费模式进行对比指出电动汽车充电服务的收费方式[10]。史乐峰考虑到充电设施 PPP 项目多方干系人的利益诉求,将用户需求分为三个档次构建基于 Stackleberg 博弈理论的定价模型,分别计算出企业的边际成本,进而为政府提供定价参考[11-12]。孙丙香运用静态非合作博弈方式对构建的 Logit 充电定价模型进行求解,得到多方博弈的均衡解,并以此解指导定价[13]。一些学者从成本效益的角度对充电项目的服务价格进行研究。张建冰以电动汽车用户与充电站投资方的成本效益对比分析双方可接受的充电服务价格区间[14]。以上研究将公共充电桩 PPP 项目定价研究推上了一个新的台阶,但这些模型缺乏在市场连续波动的情况下价格调整机制。张中杰运用系统动力学的方法验证充电站 PPP 项目充电服务费定价与企业投资收益的关系,并详细分析了充电量、建设运营成本等影响因素对企业投资收益的敏感度[15]。这种研究方法解决了不确定因素连续变动的问题,但并没有给出解

决问题的价格调整建议。

综上所述，现有研究用详尽的数据说明了新能源汽车用户的快速增长，论证了新能源汽车充电基础设施建设的必要性。例证 PPP 模式是推进充电基础设施建设运营最行之有效的途径的同时，也指出了充电服务价格是影响新能源汽车公共充电设施 PPP 项目的关键性影响因素。学者采用博弈、成本收益、系统动力学等理论研究充电服务定价的方法。本文旨在现有成果的基础上研究更加合理、更加实用、更加能够保障多方干系人利益的可动态管控、调整价格机制模型，进而为新能源汽车公共充电设施 PPP 项目推进提供科学支撑。

3 新能源汽车公共充电服务价格调控模型构建及实证分析

3.1 新能源汽车公共充电服务价格调控系统动力学模型的构建

本文运用系统动力学方法构建新能源汽车公共充电 PPP 项目服务价格调控模型，模拟全生命周期包括建设期和运营期两部分投资回收过程中的资金流向及盈利状况。

依据新能源汽车充电站 PPP 项目投资过程中梳理的影响因素间因果关系，进一步构建投融资价格体系系统动力学模型，其存量流量图如图 1 所示。

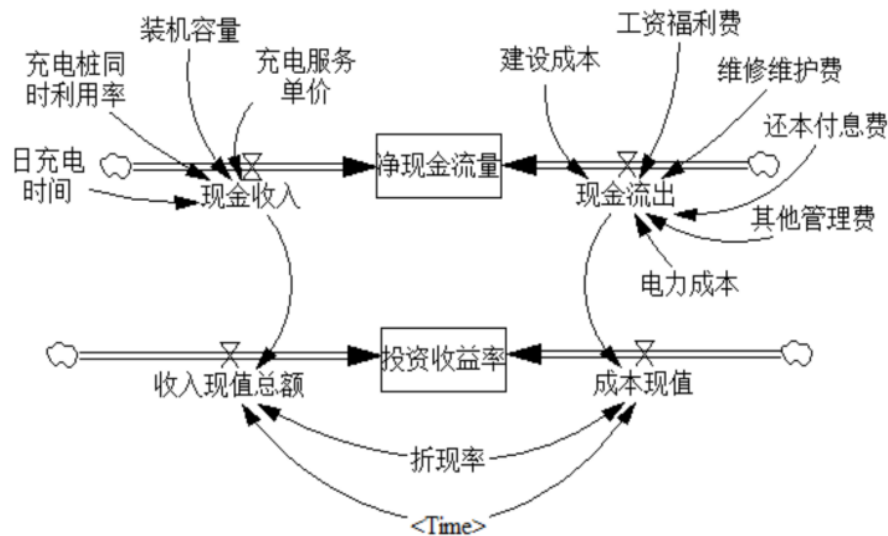


图 1 新能源汽车公共充电 PPP 项目价格体系存量流量图

由图 1 可见，新能源汽车公共充电 PPP 项目价格调控系统动力学模型包括现金流量、投资收益两个子系统。价格调控系统动力学模型中关键因子及关系式见表 1 所示。

表 1 新能源汽车充电 PPP 项目价格调控体系关键因子及关系式表

序号	键因子及关系式	单位	变量性质
1	充电服务费单价	元/千瓦时	表函数
2	装机容量	千瓦时	常量
3	充电桩同时利用率	%	表函数
4	日充电时间	时/天	表函数
5	现金收入=充电服务单价*充电桩同时利用率*日充电时间*装机容量	万元/年	辅助变量
6	建设成本	万元/年	表函数
7	工资福利费	万元/年	表函数
8	维修维护费	万元/年	表函数
9	还本付息	万元/年	表函数
10	其他管理费	万元/年	表函数

序号	键因子及关系式	单位	变量性质
11	电力成本	万元/年	表函数
12	现金流出=其他管理费+工资福利费+建设成本+电力成本+维修维护费+还本付息费	万元/年	辅助变量
13	净现金流量=现金收入-现金流出	万元/年	辅助变量
14	成本现值= $\text{INTEG } \text{现金流出} / \text{POWER}((1+\text{折现率}), (\text{Time}-1))$	万元	水平变量
15	收入现值总额= $\text{INTEG } \text{现金收入} / \text{POWER}((1+\text{折现率}), (\text{Time}-1))$	万元	水平变量
16	投资收益率= $(\text{收入现值总额}-\text{成本现值}) / \text{成本现值} * 100$	%	辅助变量

3.2 新能源汽车公共充电服务价格调控案例分析

3.2.1 案例概况

ZL 特区新能源汽车充电设施 PPP 项目共设置充电设施 396 套。社会资本方完成新能源汽车充电设备的安装、运营、维护工作，运营期满移交给政府指定机构。建设工期为 5 年，特许运营期为 15 年。项目总投资 21092 万元，长期贷款利率为 4.9%。运营初期预计人工福利费 120 万元/年，每三年调薪一次；预计维修服务费 320 万元/年，每三年上调一次；其他管理费用预计 110 万元/年。项目运营公司向电力公司购买电力，其成本预计 1760 万元/年。折现率定为 3%。收益来源本项目由项目公司通过收取汽车充电费和服务费、经营充电配套设施收入、特许经营、国家政策补贴等方

式收回投资。税前投资收益率不得低于 8%，不得高于 12%。运营初期充电费及服务单价不得高于 1.5 元/千瓦时。

PPP 项目工程建设完成后，项目正常运营期以每天充电时间 12 小时，每年充电天数 300 天，充电桩同时充电率 60%，每年预计实际充电量 4000 万千瓦时为最低标准进行收入测算，营业收入低于此标准，项目公司可享受可行性缺口补贴。若项目公司连续 3 年实际充电量超过预计最高标准，则启动调价程序。

3.2.2 运营初期充电服务价格核算

将案例项目预期数据输入新能源汽车公共充电基础设施 PPP 项目充电服务价格调控系统动力学模型中进行仿真分析。模型中充电服务单价对净现金流量和投资收益率的影响趋势如图 2、图 3 所示。

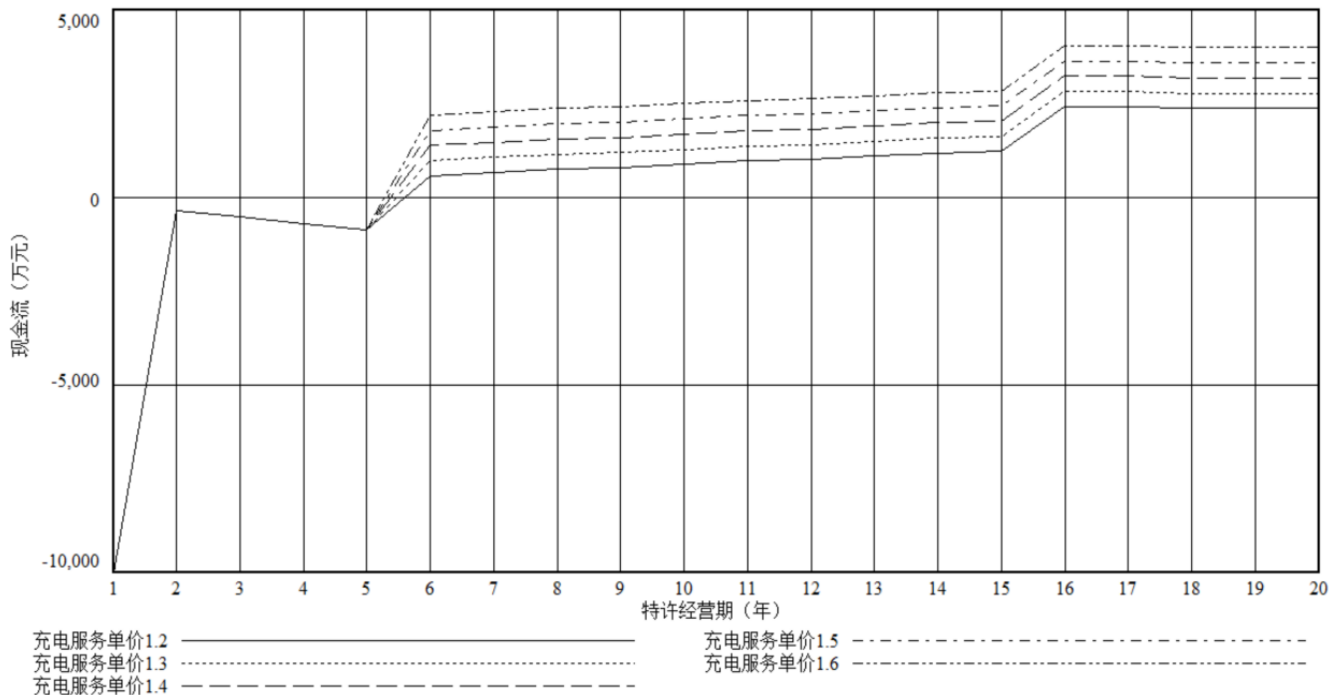


图 2 新能源汽车公共充电设施 PPP 项目现金流预测图

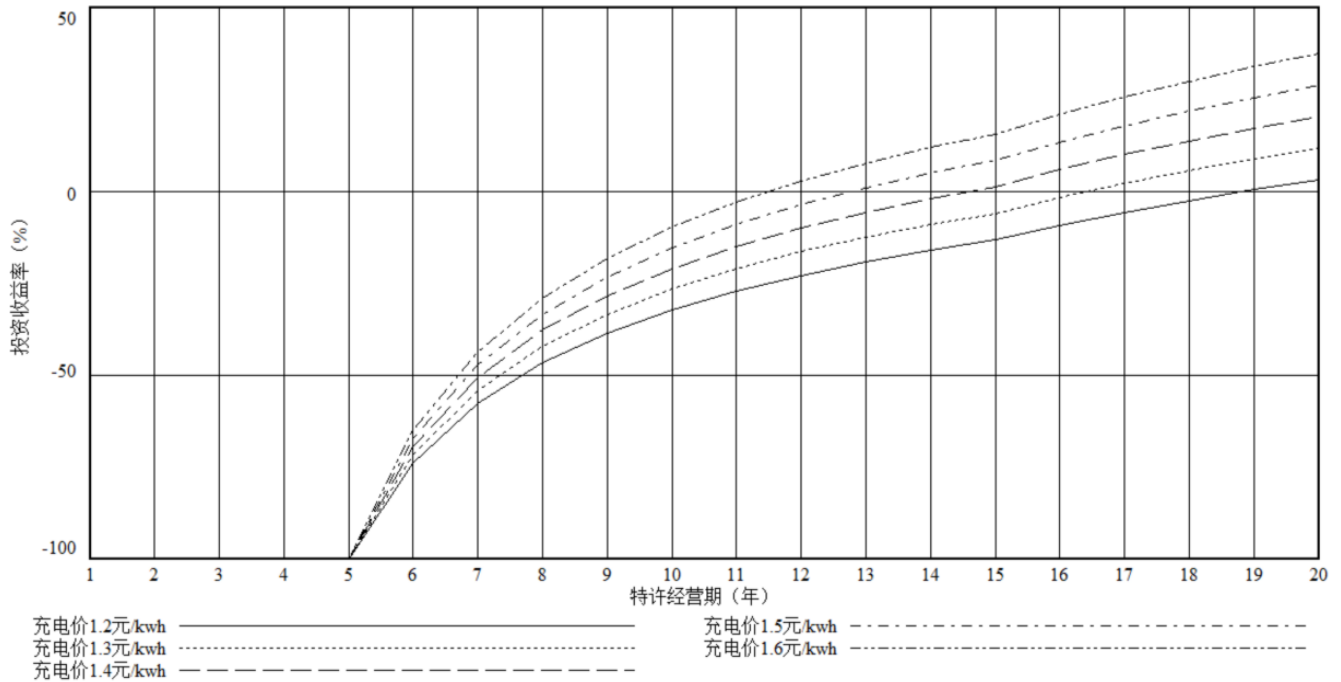


图3 新能源汽车公共充电设施 PPP 项目投资收益率预测图

由图2可知 ZL 特区新能源汽车公共充电基础设施 PPP 项目中充电服务单价对净现金流量的变化趋势,净现金流量在项目生命期第 5 年至第 15 年间缓慢增长,第 16 年后上升幅度突然增加。其原因因为该项目建设投资贷款部分偿还期限为 15 年,从项目生命期第 16 年起没有长期贷款本息的成本。随着充电服务费由 1.2 元/千瓦时上升至 1.6 元/千瓦时净现金流量递增,项目生命期第 20 年净现金流量由 2357.78 万元上升至 3980.37 万元。

由图3可知 ZL 特区新能源汽车公共充电基础设施 PPP 项目中充电服务单价对投资收益率的变化趋势,投资收益率在项目生命期第 5 年至第 20 年间逐步增长。当充电服务单价为 1.2 元/千瓦时时,在项目生命期第 18 年后,接近 19 年时,投资收益率才呈现由负到正的过渡。当充电服务单价为 1.6 元/千瓦时时,在项目生命期第 11 年后,投资收益率就实现了由负到正的过渡,项目公司开始盈利。随着充电服务费由 1.2 元/千瓦时上升至 1.6 元/千瓦时净现金流量递增,项目生命期第 20 年的投资收益率由 5.06% 上升至 40.08%。

根据 ZL 特区新能源汽车公共充电基础设施 PPP 项目对社会资本方税前投资收益率区间 8%—12% 的限制要求,借助 Vensim 软件对其充电服务单价的定价区间进行预测可得 ZL 特区新能源汽车公共充电基础设施 PPP 项目充电服务费在 1.26 元/千瓦时、1.27 元/千

瓦时、1.28 元/千瓦时、1.29 元/千瓦时、1.30 元/千瓦时时均可满足政府对企业方投资收益的要求。这一价格也能够满足当地新能源汽车用户接受程度,可达到多方利益共赢的目的。

3.2.3 运营期充电服务价格阶段性调整预测

假设随着电动汽车用户群体的增加, ZL 特区新能源汽车公共充电站运营期间每三年充电桩同时利用率上升 5%,即项目生命期第 9-11 年间,充电桩同时利用率为 65%;项目生命期第 12-14 年间,充电桩同时利用率为 70%;项目生命期第 15-17 年间,充电桩同时利用率为 75%;项目生命期第 18-20 年间,充电桩同时利用率为 70%。根据政企双方的特许经营协议中的规定,项目预期投资收益率连续三年超过合理收益区间 12% 的上限后,开始启动调价程序。运用该模型进行充电服务价格调控时,在启动价格调程序前,所有已经运营年度的参数依照实际修改,未运营年度的运营参数不变;在价格调控程序完成后,模型中未运营年度的各项参数依照调价启动前最近一个经营年度的参数进行模拟仿真。ZL 特区新能源汽车公共充电站 PPP 项目生命期第 6—15 年的投资收益仿真结果表示,在项目生命期的第 13 年、14 年、15 年,连续 3 年项目预期投资收益率超过 12%,于是需要在项目生命期的第 16 年启动调价程序。调价仿真模拟的价格调控系统动力

学模型中最重要的参数为充电桩同时充电率，该因素用表函数表示。

ZL 特区新能源汽车公共充电站 PPP 项目在生命期第 16 年充电服务价格调整参考结果为，当充电服务单价调整为 0.77-0.89 元/千瓦时之间时均满足 PPP 项目投资收益率的要求。若价格调整为最低限 0.77 元/千瓦时，此时电动汽车用户利益取得最大化，但此时，投资企业需承担项目收益降低甚至亏损的风险，从而打击企

业参与基础设施建设 PPP 项目的热情，不利于政企长期合作。若价格调整为最高限 0.89 元/千瓦时，此时投资企业利益取得最大化，但此时已经接近 PPP 项目运营后期，若充电量增幅较大也会有发生企业暴利的风险，这样既损害了电动汽车用户的利益，也损害了政府的声望，不能达到社会效益最大化的目标。ZL 特区新能源汽车公共充电站 PPP 项目初期定价、其中调价及期末评估仿真模拟结果如图 4 所示。

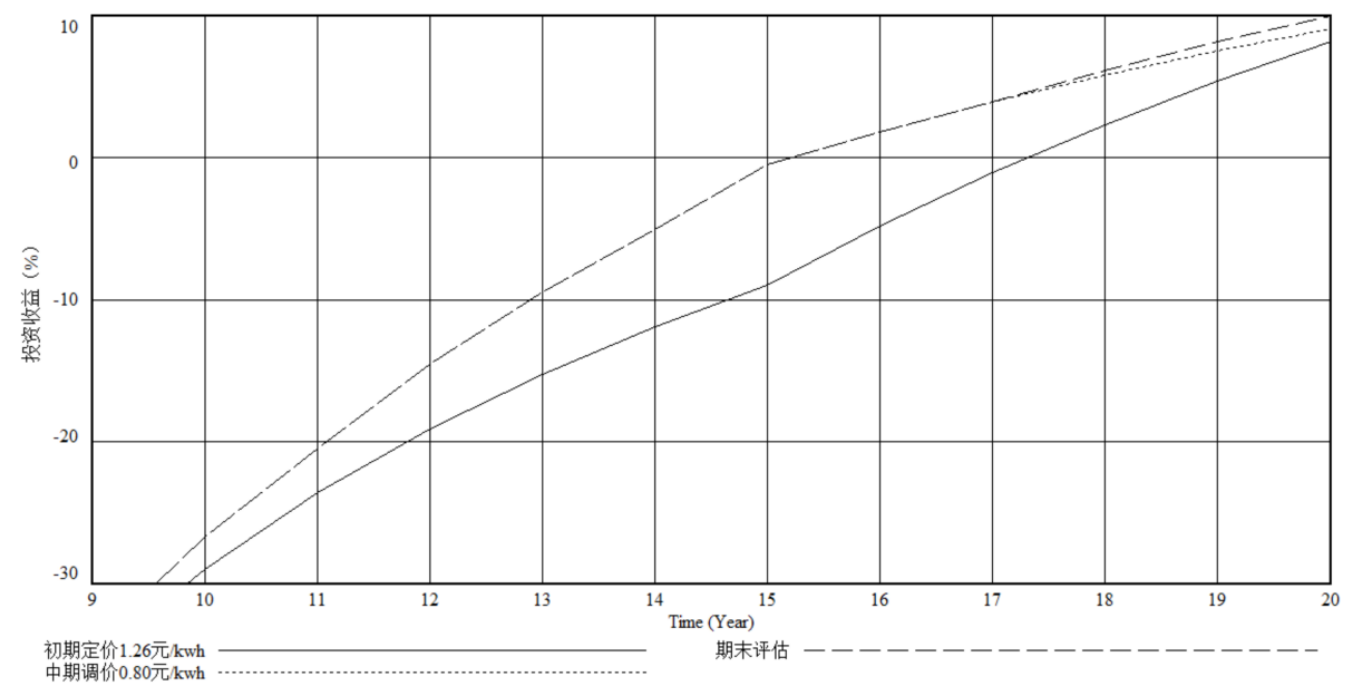


图 4 ZL 充电站 PPP 项目定价、调价模拟仿真图

综上分析，建议选择区间中段的价格作为后期收费标准，如充电服务单价调整为 0.80 元，通过模型预测 ZL 充电站 PPP 项目全生命周期的投资收益率为 9.98%。由图 4 可见，在 PPP 项目生命期第 15 年开始，投资收益率出现差距，经过价格调整后，项目期末投资收益率回归到合理的投资收益区间内，ZL 充电站 PPP 项目可以达到社会效益最大化的目的，实现了政府、企业和用户多方共赢的局面，有效地推进了新能源汽车产业的发展。

4 结论

在新能源汽车公共充电设施 PPP 项目实施的过程中，充电服务单价起着至关重要的作用。电动汽车充电站所需的设备不断更新升级，运营期的管理模式尚未完善，这些因素都为充电服务单价的浮动带来了不确定性。

本文依据电动汽车公共充电站所面临的现实情况，以实用性为导向，构建的电动汽车公共充电设施 PPP 项目价格调控系统动力学模型可以起到以下几个作用：

- (1) 根据 PPP 项目所在地区对网点覆盖率的布局要求、项目投资及运营成本的预算、电动汽车用户的接受度模拟仿真项目实施情景，在项目启动初期科学预测符合多方利益诉求的充电服务单价；
- (2) 在 PPP 项目运营期内，根据实际现金流情况随时仿真模拟项目全生命周期的投资收益率，根据模拟结果仿真价格调控的合理区间，再依据实际情况提出达到社会效益最大化的充电服务调整单价；
- (3) 在 PPP 项目全生命周期结束后，利用该模型对项目运营情况进行测算，为 PPP 项目移交的绩效评价提供参考数据。

参考文献

- [1] 姚明, 毛文杰, 曹淑超等. 基于多源数据的电动汽车充电设施布局优化方法研究 [J]. 智慧电力, 2023, 51(09): 31-37.
- [2] 魏冠元, 王冠群, 阮观梅等. 电动汽车充电站选址智能决策与优化研究综述 [J/OL]. 计算机工程与应用: 1-14 [2023-09-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.tp.20230530.1027.002.html>
- [3] 汪和平, 高瑞. 基于改进粒子群算法的电动汽车快慢充电站布局优化 [J]. 系统工程, 2023, 41(04): 95-103.
- [4] 孙磊, 冯智伟, 韩美灵等. 面向成本优化的电动汽车弹性充电策略 [J/OL]. 小型微型计算机系统: 1-8 [2023-09-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1106.TP.20221114.1754.010.html>
- [5] 尚姗姗, 刘敦楠, 李晓宇等. 基于实物期权的电动汽车充电站投资决策评估研究 [J]. 智慧电力, 2022, 50(09): 67-73+89.
- [6] 吴亚芳. “新基建”背景下公共充电桩发展问题及策略分析 [J]. 产业创新研究, 2020(12): 10-11.
- [7] 岳为众, 张晶等. 产业政策与市场表现关联研究—以中国电动汽车充电基础设施为例 [J]. 2019(2): 82-94.
- [8] 张芳, 邹俊. 促进新能源汽车充电基础设施建设运用 PPP 模式的对策 [J]. 重庆科技学院学报 (社会科学版), 2017(4): 46-49.
- [9] 童大权. 新能源汽车充电设施行业的现状和发展趋势 [J]. 时代汽车, 2020(16): 79-80.
- [10] 彭鸿林, 谭茂芹. 新能源汽车充电服务收费问题研究 [J]. 价格理论与实践, 2010(4): 40-41.
- [11] 史乐峰, 吴文建等. 电动汽车充电服务 PPP 定价模型及应用 [J]. 价格理论与实践, 2015(8): 94-96.
- [12] 曾令鹤, 吴文建. 基于 PPP 模式的电动汽车充电服务定价模式 [J]. 工业工程, 2016(4).
- [13] 孙丙香, 阮海军等. 基于静态非合作博弈的电动汽车充电电价影响因素量化分析 [J]. 电工技术学报, 2016(21): 75-85.
- [14] 张建冰. 电动汽车充电价格定价机制研究 [J]. 价格理论与实践, 2018(9): 135-138.
- [15] 张中杰, 张琳. 基于系统动力学的充电基础设施 PPP 项目充电定价研究 [J]. 工程管理学报, 2020(3): 85-89.