

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

王 玲, 吴鸿亮, 彭道鑫

(南方电网能源发展研究院有限责任公司, 广州 510530)

摘要:输配电价改革改变了电网企业的盈利模式,由购售电价差转变为获取输配电准许总收入,而该收入与有效投资规模紧密相关,这对电网企业投资和资产管理都提出了更高的要求,需要分析企业发展的内外部环境,对不同边界条件下的投资规模进行分析预测。本文首先分析了电网企业投资的主要影响因素,然后利用樽海鞘群优化算法优化的支持向量机模型对某市电网公司投资规模在不同边界条件下进行预测分析,最后给出相应的结论与建议。结果表明:影响电网公司投资规模的因素有GDP、售电量、常住人口、高峰负荷、第二产业结构、资产净值率、资产负债率、净资产收益率以及运行维护费;通过支持向量机模型预测样本地区电网公司2025年在不同边界条件下投资规模在122亿~153亿元;敏感度分析中,投资规模对GDP和售电量的敏感度最高,分别为0.6和0.5。

关键词:输配电价改革;电网投资;投资规模;敏感性分析;支持向量机

中图分类号:F062.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)10—0045—09

我国即将开展第二轮输配电价的监管周期,2019年5月国家发展改革委、能源局出台了《输配电价监管办法》,2020年2月出台了《省级电网输配电价定价办法》《区域电网输配电价格定价办法》,这些文件的出台显示了输配电改革已经全面实行。输配电价改革改变了电网企业的盈利模式,由购售电价差转变为获取输配电准许总收入,而该收入与有效投资规模紧密相关,这对投资和资产管理都提出了更高的要求。

输配电价改革中,电网投资规模深刻地影响着电网公司的有效资产和准许收入。因此,在输配电价监管周期内合理地对电网公司的电网投资规模进行预测,对保持地区电价稳定以及电网公司可持续发展有重大意义。输配电价改革以前,相关学者认为投资规模需根据电力需求预测来计算需要建设的变电站数量、线路长度以及相关的配套设施等,从而计算投资规模^[1-2]。输配电价改革之后,电网企业的盈利方式发生转变,与有效投资规模紧密相关。大量学者对有效投资规模的影响因素进行了分析,具体分电网企业投资的外部因素以及电网企业投资的内部因素。从电网投资的企业内部影响因素来看,相关文献从财务指标的角度对其进行了分析。企业的投资规模可以通过调整准许收益率,改善资产结构、运营维护费以及折旧率等途径进行优化^[3-6]。而影响电网企业投资的外部因素主要表现为电力需求的影响因素,包括宏观经济因素、财政政策因素以及电力市场因素^[7]。另外,有学者在影响因素的基础上探究了电网企业投资的风险^[8-9]。基于电网企业投资因素的定性分析,大量学者进一步对定量方法进行探究以及改进。在电网企业投资能力测算方面,应用较为广泛的方法包括计量回归方法以及综合评价方法。计量回归方法主要集中在多元回归以及协整分析,但是传统回归方法的重要缺点是没有考虑影响因素对电网投资规模的非线性影响,并且大多数文献在使用计量模型预测电网投资规模的时候忽略了计量模型的内生性问题^[10-14]。许多学者利用综合评价方法建立电网投资影响因素体系,并在此基础上分析预测电网企业的投资能力^[15-16]。然而,综合评价方法在指标重要程度的判定上有很大的主观性。部分文献对电网投资测算方法进行了创新性的尝试,包括实物期权法、投资组合模型、信息熵和模糊分析法以及动态规划方法^[17-20]。已有文献有的仅从电网企业投资的内部因素或者外部因素进行分析,有的从内外部都分析了投资因素,但是不够全面、客观。电网企业的投资的因素影响通常是非线性的,现有文献的大部分定量方法包括回归、灰色预测等方法均默认因素影响是线性的。而作为预测方法的一种,支持向量机可以更好地考虑了因素的非线性影响。

收稿日期:2020—03—17

基金项目:中国南方电网有限责任公司科技项目“电网投资全过程管控策略及方法研究”(ZBKJXM20180367)

作者简介:王玲(1984—),女,湖北襄阳人,硕士,南方电网能源发展研究院有限责任公司高级经济师,研究方向:电网投资、电力经济;吴鸿亮(1981—),男,安徽含山人,博士,南方电网能源发展研究院有限责任公司高级经济师(教授级),研究方向:电价与电力市场;彭道鑫(1992—),男,湖南张家界人,硕士,南方电网能源发展研究院有限责任公司经济师,研究方向:电网投资、能源经济。

为了避免因投资和资产增长过快,从而推高准许成本和准许收入,进而带来输配电价上涨压力,政府部门将严格控制电网企业的投资规模和运营成本。另外,电网企业需通过建设投资实现自身经营和发展需求,做强有效资产。因此输配电价改革对电网公司的投资策略和资产管理提出了更高的要求,其面临的问题主要有以下两点:一方面在改革和发展的背景下,电网投资的主要影响因素有哪些;另一方面如何确定不同边界条件下的合理投资规模。对影响因素的全面分析有利于提高电网投资的预测精度,而确定不同边界条件下的合理投资规模有利于电网企业做好投资决策,以应对不同环境下的电网投资形势。

基于这两个问题,本文首先对电网企业的形势进行分析,以明确今后电网的投资方向,然后分析电网投资的企业内外部影响因素,最后通过支持向量机模型对新一轮输配电价监管周期下的电网投资规模进行预测,并对不同边界条件下电网公司的投资变化进行分析。

一、电网企业的投资形势

当前,我国经济正在向高质量发展阶段转变,社会仍然对降低电价存在普遍预期,依靠电量增长来支撑大规模电网投资的电网发展方式不再合适,结合当前输配电价改革,电网投资进入“刹车”阶段,由原来的高速、大规模的粗放式投资向注重投资精度、效益以及质量的集约式投资转变。具体有3个方面:

(1)以产出定投入,严控投资规模。电网企业禁止对擅自扩大投资界面和超标准建设、禁止超过核价投资规模和范围安排投资、禁止过度追求高可靠性“锦上添花”项目,以杜绝低效无效投资。在优化续建项目投资进度方面,电网企业禁止在投资计划外安排输变电资产租赁,禁止以投资、租赁或合同能源管理等方式开展电网侧电化学储能设施建设,不再安排抽水蓄能的新开工项目。另外,电网企业大力压减短期效益不明显、投资费效比不高、生产辅助性投入的项目。

(2)加强投资管控。科学制定投资策略,围绕公司发展战略,优化投资方向、规模、结构和时序,做到分类管控、分类施策。加强投资过程管控,完善合规性管理,严格开工条件审核,落实送售电等协议。强化投资绩效考评,加强存量资产技改和新建项目投资效益分析。加快构建精准投资管控体系,实现投资项目全口径,全过程、全生命周期闭环管控。

(3)投资分类管控。在管制业务方面,主要对成本进行精益管控。首先有效衔接政府输配电定价成本监审;其次,完善项目化成本管理机制;然后,对生产运维项目精准安排;最后,严控中介咨询和外委费用,持续优化成本投向,消除浪费。在非管制业务方面,对标行业领先,突出成本效益。非管制类业务进行生产性成本与营业收入规模挂钩,强化成本同业对标管理,促进业务成本达到行业领先水平。

二、电网投资影响因素分析

(一)宏观外部环境

影响电网投资的一个基本因素为电力电量需求,根据输配电价改革定价办法,电网投资直接与新增电量挂钩,不同的电量增长率及电力负荷均直接影响电网企业的投资规模。

经济增长促进电力的消费,而电力消费又影响电网公司投资规模。由于科技的进步、生产力的提高以及人们对生活质量的提高,经济的发展对电力消费的需求越来越大。

电力负荷与国民经济的发展有着密切的关系。分析国民经济发展水平与地区负荷水平的关系,就可根据经济发展趋势来预测相应的电力负荷。经济是影响电网企业投资的重要因素,因此,电力负荷同样影响着电网的投资规模。

人口增长是一个决定电力需求的重要因素,同样影响到电网投资,影响主要体现在两个方面:一是较高的人口增长会增加电力消费;二是人民生活水平的提高也会带来电力消费的快速增长。

产业结构的变动会引起用电结构的变动,影响负荷在各电压等级的分布,最终影响到电网公司在各电压等级的投资规划。鉴于宏观外部环境分析,本文所考虑的电网投资宏观影响因素集为GDP、全年高峰负荷、常住人口、第二产业以及售电量。

(二)企业内部因素

资产负债率是影响企业投资的一个重要因素。企业可以通过债务杠杆来提高股东的收益。但是,资产负债率过高,说明企业来自于债务的资金较多,而权益资本较少,财务风险较高,可能带来资金链断裂,影响

企业的正常经营。因此政府会对国有企业的资产负债率有一定的约束,防止国有企业过高的资产负债率。

输配电价改革后准许收入中准许收益率是电网公司投资收益的重要决定因素,根据省级输配电价定价办法,准许收益率=权益资本收益率 $\times$ (1-资产负债率)+债务资本收益率 $\times$ 资产负债率。因此,影响准许收益率的一个重要指标是权益资本收益率,在首个监管周期内,电网企业可以参考省级电网企业监管周期前3年实际税后净资产收益率来核定权益资本收益率。

新电改之前,电网公司的成本项目包括购电费用、折旧费、财务费、运维费等。新电改方案实施后,电网公司的核心业务是输配电,收取过网费,输配电成本主要为固定资产相关的折旧费用、检修运行费用等。在电网投资核准、定价参数和准许收入上限确定后,电网实际折旧和运维费用管理策略,不仅决定了实际收益水平的高低,而且影响下一期有效资产和存量资产的运维成本,因而需要对电网公司的运维成本进行研究预测,为制定资产合理的折旧率和运维费率水平奠定基础。鉴于企业内部因素分析,本文所考虑的电网投资企业内部影响因素集为资产负债率、资产净值率、净资产收益率以及运行维护费。

三、不同边界条件下的电网投资分析

结合第二大节的影响因素分析,本节搭建投资规模预测模型,对投资规模进行预测,并分析不同边界条件下电网投资的变化情况。

(一)投资规模预测

1. 模型说明及预测步骤

投资规模的影响因素有很多,而且各因素对投资规模的影响具有较强的非线性的特点,而支持向量机(SVM)模型通过结构风险最小化原则构造最优回归函数,然后将回归分析问题转化为凸二次规划问题,再对凸二次规划问题进行求解。另外,支持向量机模型运用核函数将非线性数据映射到高维空间中,使其在高维空间中可以通过线性学习机器处理。支持向量机中,给定一数据点集 $G = \{(\mathbf{x}_i, d_i)\}_{i=1}^n$,其中 $\mathbf{x}_i$ 表示输入向量, d_i 表示期望值, n 表示样本总数。SVM采用式(1)来估计函数:

$$y = f(\mathbf{x}) = \omega \phi(\mathbf{x}) + b \quad (1)$$

式中 $\phi(\mathbf{x})$ 表示从输入空间到高维特征空间的非线性映射,通常由核函数确定,径向基核函数为

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (2)$$

系数 ω 和 b 由最小化式(3)来估计:

$$R_{\text{SVM}}(c) = c \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_\varepsilon d_i, \omega \phi(\mathbf{x}_i) + b + \frac{1}{2} \omega^2 \quad (3)$$

在式(3)给出的正则化风险中,第一部分是经验风险,它们由式(3)给出的 L_ε 不敏感损失函数来度量; c 表示惩罚系数,它决定着经验风险与正则化部分之间的平衡。第二部分是正则化部分。

$$L_\varepsilon(d, y) = \begin{cases} 0, & |d - y| \leq \varepsilon \\ |d - y|, & |d - y| > \varepsilon \end{cases} \quad (4)$$

对于参数 c 和 σ^2 的选择在以往的研究中大部分为主观选择,而一种新的寻求最优参数 c 和 σ^2 的方法樽海鞘群优化算法被提出来^[21]。樽海鞘群优化算法是一种模拟樽海鞘的聚集行为的算法。该算法对样本集合分为领导者集合以及追随者集合,然后设置一个目标函数或者适应度函数,领导者集合会朝着目标函数或者适应度函数前进,最后追随者会跟进领导者集合的步伐,最后达到参数优化的效果。樽海鞘群优化算法用于求解最优参数 c 和 σ^2 的步骤如下。

(1)设置领导者集合以及追随者集合的初始个数、变量个数、最大的迭代次数、变量的下界以及上界。

(2)对种群位置初始化,设置位置矩阵如下:

$$X = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_1^m & x_2^m & \cdots & x_n^m \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中: x_n^m 表示第 m 个樽海鞘群的第 n 个变量值, 樽海鞘群的初始位置为随机生成的, x_n^m 取值范围为实数集。

(3) 建立目标函数或者适应度函数如下:

$$S = \begin{cases} f(x_1^1 x_2^1 \cdots) \\ f(x_1^2 x_2^2 \cdots) \\ \vdots \end{cases} \quad (6)$$

在矩阵 S 中, 将具有最佳目标值或者适应度值的樽海鞘记为食物源 F , 领导者集合会向着食物源进行位置的更新。

(4) 设置优化迭代过程。领导者的位置移动公式为

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1[(\max_j - \min_j)c_2 + \min_j], c_3 \geq 0.5 \\ F_j - c_1[(\max_j - \min_j)c_2 + \min_j], c_3 \leq 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

其中: x_j^1 表示领导者的位置; F_j 表示食物源的位置; $\max_j$ 和 $\min_j$ 表示上下边界; c_2 以及 c_3 表示 $[0, 1]$ 之间的随机数, 分别决定移动的长度以及方向; c_1 表示整个群体的探索以及开发能力, c_1 设置为 $c_1 = 2e^{-\left(\frac{4t}{T_{\max}}\right)^2}$; t 和 $T_{\max}$ 分别表示当前以及最大的迭代次数。而追随者位置移动公式为

$$x_j^i(t) = \frac{1}{2} [x_j^i(t-1) + x_j^{i-1}(t-1)] \quad (8)$$

其中: $x_j^i(t)$ 表示第 t 次迭代时樽海鞘的位置。

根据上述的樽海鞘群优化算法模拟得到 c 和 σ^2 分别为 999993.2456 和 1503.332944, 下一步对运用支持向量机对电网投资规模进行预测。

2020—2025 年投资额具体预测步骤为: ①历史数据归一化处理和平滑预处理; ②形成训练、预测样本; ③将训练样本代入式(1)目标函数; ④求解式(1), 得到解 ω 和 b ; ⑤利用预测样本对未来的投资规模进行预测, 进行误差分析; ⑥对 2020—2025 年投资规模进行预测。

2. 数据处理

本部分投资规模预测模型的输入变量包括 9 个: GDP、常住人口、第二产业占比、全年高峰负荷、售电量、资产负债率、资产净值率、净资产收益率以及运行维护费。输出变量为电网公司投资额。各输入以及输出变量时间维度为 2010—2018 年。各变量统计性描述见表 1。

在进行投资规模预测之前, 需要对数据进行标准化处理, 以消除量纲的影响。变量数据标准化的具体过程为, 针对每个变量, 找出最大值 $X_{j\max}$ 和最小值 $X_{j\min}$, 然后将 t 年的指标值 X_{jt} 同其进行比较运算。采用如下公式:

$$Z_{jt} = \frac{X_{jt} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (9)$$

通过不断重复模拟, 把 2010—2016 年的样本作为训练集, 2017—2018 年的样本作为预测集, 支持向量机的模拟效果达到最优。

3. 相关性分析

根据 2010—2018 年电网投资额以及各影响因素变量的数据, 运用 SPSS 软件计算电网投资额和各影响因素的相关系数, 得出电网投资额与各变量相关系数(表 2)。由表 2 中显著度可以看出, 各影响因素在 0.05 的显著水平下与电网投资额显著相关, 这表明各影响因素对电网投资的影响程度较大。

表 1 2010—2018 年输入变量以及输出变量的描述性统计

变量名称及单位	最大值	最小值	均值
GDP(万元)	242219800	100022183	168182083.8
常住人口(万人)	1302.66	1037.2	1129.3
第二产业占比(%)	47.5	41.1	43.9
全年高峰负荷(万千瓦)	1758	1220	1503
售电量(亿千瓦时)	862.79	604.71	730.72
资产负债率(%)	0.8202	0.3798	0.5326
资产净值率(%)	0.66	0.4002	0.5020
净资产收益率(%)	0.254	0.0577	0.1172
运行维护费(万元)	334621.6136	111578.7893	241742.7282
电网投资额(亿元)	74.7	38.48	49.65

注: 数据来源于广州市统计年鉴、电网公司。

表 2 电网投资额与各变量的相关系数

变量	相关系数绝对值	显著度
GDP	0.98450164	0.000
常住人口	0.96949611	0.000
第二产业占比	0.920672	0.000
全年高峰负荷	0.93702449	0.000
售电量	0.97944893	0.000
资产负债率	0.7930581	0.011
资产净值率	0.8648142	0.003
净资产收益率	0.7515603	0.02
运行维护费	0.8833222	0.002

注: 相关系数为 Pearson 相关系数值。

4. 训练支持向量机模型

运用 MATLAB 软件计算通过重复模拟,把 2010—2016 年的样本作为训练集,2017—2018 年的样本作为预测集,支持向量机的模拟效果达到最优。图 1 为支持向量机训练集模型拟合效果图。

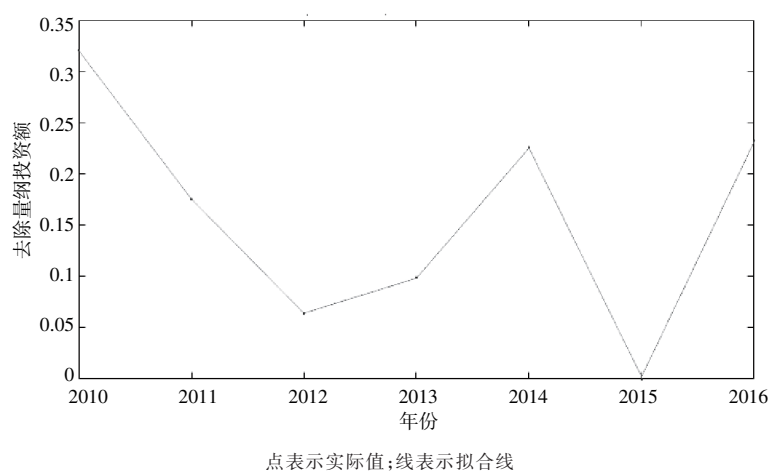


图 1 支持向量机训练集模型拟合效果图

5. 投资规模预测

新一轮输配电价监管周期从 2020 年开始,为了保持时间的连续性,本文预测的时间段为 2019—2025 年。首先需要预测 2019—2025 年各输入变量值,各输入变量值包括 9 个:GDP、常住人口、第二产业占比、全年高峰负荷、售电量、资产负债率、资产净值率、净资产收益率以及运行维护费。其中,以 2018 年数据为基准,GDP 每年增速取 6.8% 估算;售电量按 4% 的增速计算;2019—2021 年资产负债率取省级电网管控水平数据,2022—2025 年资产负债率取 2021 年管控水平数据;2019—2022 年资产净值率数据取省级电网规划值,2023—2025 年资产净值率保持与 2022 年一致;2019—2025 年净资产收益率不变,取 2018 年值 6.07%。常住人口、第二产业占比、全年高峰负荷以及运行维护费则使用自回归滑动平均模型(ARMA)进行预测。取值见表 3。

表 3 2019—2025 年输入变量的取值

变量	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年
GDP(万元)	258690746.4	276281717.2	295068873.9	315133557.3	336562639.2	359448898.7	383891423.8
售电量(亿千瓦时)	897.3016	933.19	970.52	1009.34	1049.72	1091.70	1135.37
资产负债率(%)	46.80	49.70	50.50	50.50	50.50	50.50	50.5
净资产收益率(%)	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07
资产净值率(%)	39.97	40.74	39.52	38.00	38.00	38.00	38.00
常住人口(万人)	1342.829144	1384.2370	1426.9216	1470.9225	1516.2803	1563.0367	1611.2348
第二产业占比(%)	40.9442476	40.7938	40.6439	40.4945	40.3457	40.1975	40.0498
全年高峰负荷(万千瓦)	1837.175628	1919.9957	2006.5492	2097.0046	2191.5377	2290.3324	2395.5808
运行维护费(万元)	335704.7063	336001.5363	336311.9823	336636.6652	336976.2379	337331.3831	337702.8151

将 2019—2025 年的输入变量输入到上述训练好的支持向量机模型,得出 2019—2025 年电网公司投资规模值,结果如图 2 所示。

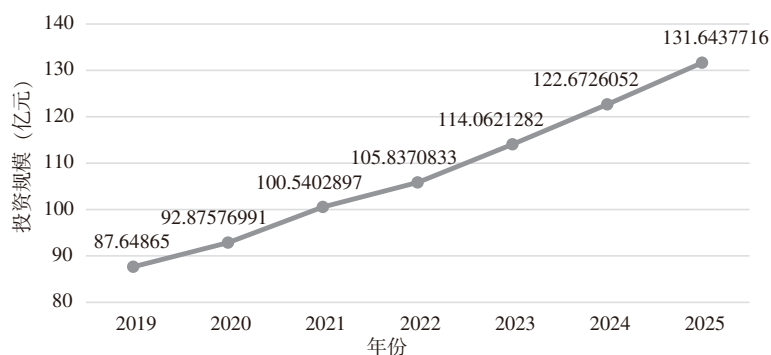


图 2 2019—2025 年投资规模预测值

由图 2 可知,根据支持向量机模型预测 2019—2025 年投资规模,得到的未来投资规模值呈逐年上升趋势,预计至 2025 年,总投资规模将达 132 亿元。

(二)不同边界条件下的投资规模预测分析

选取对电网公司影响较大的 4 个代表性因素进行敏感性分析,包括宏观因素 GDP 以及售电量,企业内部因素净资产收益率以及资产负债率,分析不同边界条件下电网公司的投资规模变化。

1. 不同 GDP 增速下的投资规模分析

设置年 GDP 增速为 6.4%、6.6%、6.8%、7.0%、7.2% 以及 7.4%,输入训练完成的支持向量机模型,预测支持不同 GDP 增速的投资规模。6.4%~7.4% 的 GDP 增速下,至 2025 年电网公司投资规模预测合理范围为 127 亿~135 亿元。以 6.8% 的增速为基准分析敏感度。由表 4 可知,GDP 越大,投资规模越大;随着 GDP 的增大,投资规模对 GDP 的敏感度呈波动下降。

2. 不同净资产收益率下的投资规模分析

2018 年电网公司净资产收益率为 6.07%,设置净资产收益率为 6%、6.6%、7.2%、8% 和 8.4%,输入训练完成的支持向量机模型,预测不同净资产收益率需求下的投资规模参考标准。6%~8.4% 的净资产收益率水平下,至 2025 年电网公司投资规模控制范围为 129 亿~131 亿元。以 6% 的净资产收益率为基准分析敏感度。由表 5、图 4 可知,净资产收益率越大,投资规模越小;随着净资产收益率的增大,投资规模对净资产收益率的敏感度整体呈上升趋势。这说明,电网公司如果希望提高净资产收率,需合理控制投资,将投资规模控制在合理范围。

3. 不同资产负债率水平的投资规模分析

根据省网公司对负债率的管控文件,电网公司 2020 年资产负债率的管控指标为 49.7%,以 49.7% 的资产负债率为基准分析敏感度。设置资产负债率为 54.67%、52.19%、49.7%、47.22% 以及 44.73%,输入训练完成的支持向量机模型,预测不同资产负债率水平下的投资规模参考标准。在 44.73%~54.67% 的资产负债率下,至 2025 年电网公司投资规模控制范围在 131 亿~132 亿元。由表 6、图 5 可知,资产负债率越高,投资规模越大;随着资产负债率的增大,投资规模对资产负债率的敏感度呈现上下波动。

表 4 投资规模对 GDP 敏感性分析表

GDP 年增速(%)	GDP 变化率(%)	2025 年 GDP(亿元)	2025 年投资额(亿元)	敏感度
6.00	-5.13	364209020.6	127.4870280	0.615861708
6.40	-2.59	373939236.5	129.5447424	0.615046608
6.60	-1.30	378887322.4	130.5891103	0.61460346
6.80	0.00	383891423.8	131.6437716	
7.00	1.32	388952068.1	132.7087432	0.613677655
7.20	2.65	394069786.6	133.784039	0.613194436
7.40	4.00	399245114.8	134.8696694	0.612697228

注:GDP 变化率为不同增速下 2025 年 GDP 相对于 6.8% 增速下 2025 年 GDP 的变化率。

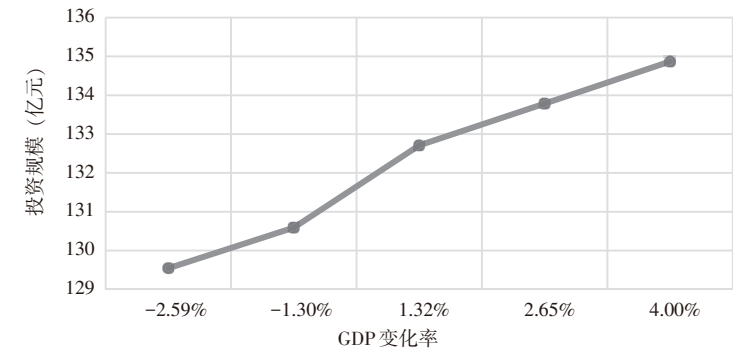


图 3 投资规模对 GDP 敏感性分析图

表 5 投资规模对净资产收益率分析表

净资产收益率变化率(%)	2025 年净资产收益率	2025 年投资额(亿元)	敏感度
40	0.084	129.9841135	-0.032451508
30	0.078	130.411839	-0.032442396
20	0.072	130.8393275	-0.032433173
10	0.066	131.2665744	-0.032423842
0	0.06	131.6935756	

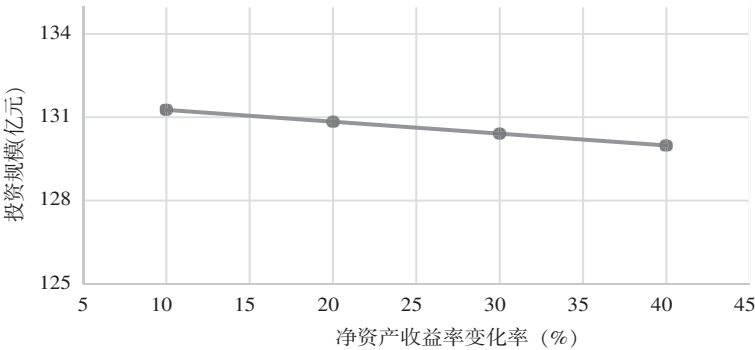


图 4 投资规模对净资产收益率敏感性分析图

表 6 投资规模对资产负债率分析表

资产负债率变化率(%)	2025 年资产负债率(%)	2025 年投资额(亿元)	敏感度
10	54.67	131.1626618	-0.043510949
5	52.19	131.4490136	-0.043548265
0	49.7	131.735857	
-5	47.22	132.0208773	-0.043271479
-10	44.73	132.3063622	-0.043306749

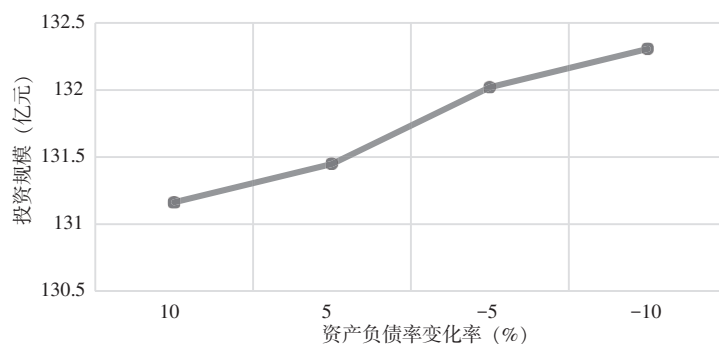


图5 投资规模对资产负债率敏感性分析图

4. 不同电量增速下的投资规模分析

设置年售电量增速为2%、4%、5%、6%以及8%，输入训练完成的支持向量机模型，预测支持不同电量增速的投资规模。2%~8%的电量增速下，至2025年电网公司投资规模预测合理范围为122亿~153亿元。以2%的增速为基准分析敏感度。由表7、图6可知，售电量越大，投资规模越大；投资规模对售电量的敏感度呈现波动下降的趋势。

表7 投资规模对售电量敏感性分析表

增速 (%)	售电量变化率 (%)	2025年售电量 (亿千瓦时)	2025年投资额 (亿元)	敏感度
2.00	0	991.0745072	122.0622211	
4.00	14.56	1135.37278	131.6437716	0.539137694
5.00	22.50	1214.032174	136.7651088	0.535433165
6.00	30.90	1297.317151	142.0858445	0.530886939
8.00	49.20	1478.670441	153.2196399	0.518831618

注：售电量变化率为不同增速下2025年售电量相对于2%增速下2025年售电量的变化率。

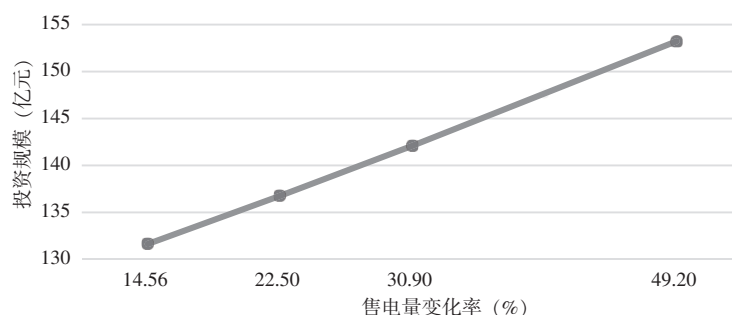


图6 投资规模对售电量敏感性分析图

四、研究结论及启示

（一）研究结论

根据支持向量机模型预测的2019—2025年电网投资规模呈逐年上升趋势，2019—2025年投资规模预测值约为88亿元、93亿元、101亿元、106亿元、114亿元、123亿元以及132亿元，平均增速约为7%。

样本地区电网公司2025年在不同边界条件下投资规模在122亿~153亿元。敏感度分析中，投资规模对GDP以及售电量的敏感度最高，分别为0.6和0.5。电网投资对4个因素的敏感度由大到小依次为GDP、售电量、资产负债率、净资产收益率。GDP以及售电量直接反映了地区的电力需求，从而影响电网公司的投资需求，因此GDP以及售电量对投资规模的影响程度较大。

（二）管理启示

电网公司的未来投资策略制定不但需要考虑企业内部财务因素，同时更需要着重考虑宏观外部因素的影响，尤其是经济增长以及电量增长因素。电力体制改革改革的背景下，充分、客观地考虑电网投资因素，分

析不同环境下的电网投资规模变化情况,便于电网企业应对不同环境下的电网投资形势,以提高投资精度以及效益,完成高质量投资的转变。

电网公司需要研究满足不同发展需求、收益水平、投资能力、价格管制等统筹协调的投资规模和结构优化方案,以完成高质量投资的转变。从两方面考虑:一方面是兼顾电网发展需求和企业收益率需求,确定电网投资规模结构,对输配电价的影响。具体地,以分地区分用户电力需求为基础,以满足电力需求增长、可靠性、服务水平等绩效为目标,以电网定价和实际收益率为约束条件,以定价折旧率和运维费率和实际折旧率运维费率为可调参数,以与资本金能力相适应的电网投资空间、时间布局和投资总规模为策略,测算一个阶段的输配电准许收入和输配电价水平需求。另一方面是兼顾企业收益率需求和输配电价水平管控需求,确定电网投资规模结构和电网发展需求满足情况。以分地区分用户电力需求为基础,以电网定价和实际收益率为目标,以定价折旧率和运维费率和实际折旧率运维费率为可调参数,以输配电准许收入和输配电价水平为策略,测算与资本金能力相适应的电网投资空间、时间布局和投资总规模需求,分析电力供需、可靠性等绩效情况。

参考文献

- [1] 黄保军,史京楠.电网建设项目经济评价方法研究[J].电力建设,2003,24(2):45-48,66.
- [2] 王伟,李笑蓉.城网规划技术经济综合评价研究[J].华北电力技术,2009(8):27-31.
- [3] 田廓,王蔚.输配电价改革条件下的电网精准投资策略[J].智慧电力,2018,46(10):109-114,119.
- [4] 董文杰,田廓.增量配电业务改革条件下的电网精准投资策略[J].智慧电力,2018,46(12):75-81.
- [5] 龙禹,胡蔚,马倩,等.输配电价下电网企业全周期动态投资发展机制[J].电力系统及其自动化学报,2018(7):1-8.
- [6] 陈锋,张宇田.输配电价改革对电网企业财务管理的影响及对策分析[J].商业经济,2017(1):55-56.
- [7] 夏华丽,叶锦树.电网投资影响因素与增长效应[J].电网技术,2011,35(Z):12-20.
- [8] 王绵斌,谭忠富,张丽英,等.市场环境下的电网投资风险评估的集对分析方法[J].中国电机工程学报,2010,30(19):91-99.
- [9] 尹硕,王江波,蒋炜,等.输配电价改革背景下电网投资风险分析[J].中国管理信息化,2017(23):107-108.
- [10] 许晓敏.基于电力需求和投资能力的复杂电网优化投资决策研究[D].北京:华北电力大学,2017.
- [11] 赵会茹,杨璐,李春杰,等.基于协整理论和误差修正模型的电网投资需求预测研究[J].电网技术,2011,35(9):193-198.
- [12] 周盈,邹波,文福拴,等.针对不同发展阶段的电力网络投资需求分析[J].电力系统及其自动化学报,2015,27(8):8-13.
- [13] 谭忠富,蒲雷,吴静,等.基于负荷率差别定价的分时输配电价优化模型[J].系统工程理论与实践,2019,39(11):2945-2952.
- [14] ZHANG Y, HUANG W, JIANG W. Assessment of investment feasibility of power grid financial lease based on fuzzy extension method[C]// International Conference on Wireless Communications. Dalian: IEEE, 2008.
- [15] 许晓敏,牛东晓,覃泓皓,等.电网企业投资能力内外部因素影响机制研究[J].管理评论,2017(29):74-89.
- [16] 孙一函.电力体制改革背景下电网规划与投资优化决策方法研究[D].北京:华北电力大学,2017.
- [17] SHAHNAZARI M, MCHUGH A, MAYBEE B, et al. Evaluation of power investment decisions under uncertain carbon policy: A case study for converting coal fired steam turbine to combined cycle gas turbine plants in Australia[J]. Applied Energy, 2014, 118: 271-279.
- [18] 杜英,苟全峰,杨杰,等.基于相对鲁棒 CVaR 的电网投资项目组合优化模型研究[J].数学的实践与认识,2019(9):42-52.
- [19] 刘旭娜,魏俊,张文涛,等.基于信息熵和模糊分析法的配电网投资效益评估及决策[J].电力系统保护与控制,2019,47(12):48-56.
- [20] 常燕,陈武,赵罡.电网投资决策定量分析技术与模型——基于动态规划方法的实证预测[J].技术经济,2012,31(2):56-62,107.
- [21] MIRIALILI S, GANDOMI A H, MIRIALILI S Z, et al. Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems[J]. Advances in Engineering Software, 2017, 114: 163-191.

Forecast of Power Grid Investment Scale in the New Round of Transmission and Distribution Price Supervision Cycle: Based on Optimized Support Vector Machine Model

Wang Ling, Wu Hongliang, Peng Daoxin

(China Southern Power Grid Energy Development Research Institute Co., Ltd, Guangzhou 510530, China)

Abstract: In the context of the power system reform, the transmission and distribution price reform has changed the profit model of power grid companies from the difference between the purchase and sale of electricity to the acquisition of the total permitted income from transmission and distribution, which is closely related to the effective investment scale. Thus, higher requirements are put forward, and the investment scale under different boundary conditions needs to be analyzed and predicted. Therefore, the main influencing factors of grid enterprise investment is firstly analyzed, and then the support vector machine optimized is used by optimization algorithm to predict and analyze the investment scale of the grid enterprise under different boundary conditions, and finally the corresponding conclusions and recommendations is gave. The results show as follows. The factors affecting the investment scale of a grid enterprise are GDP, electricity sales, resident population, peak load, secondary industry structure, net asset value ratio, asset-liability ratio, return on equity, and operation and maintenance costs. Through the support vector machine model, it is predicted that the investment scale under different boundary conditions in 2025 will be between 122 billion yuan and 153 billion yuan. In the sensitivity analysis, the investment scale of the grid enterprise has the highest sensitivity to GDP and electricity sales, with sensitivity of about 0.6 and 0.5 respectively.

Keywords: transmission and distribution price reform; power grid investment; investment scale; sensitivity analysis; support vector machine

(上接第26页)

Value Measurement and Economic Evaluation of Energy Storage System Considering Externality

Zhao Huiru¹, Lu Hao¹, Zhang Shiyang¹, Wang Yuwei²

(1. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Department of Economic Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei, China)

Abstract: Taking the electric energy storage system applied in the power system as the research object and based on the externality theory, the energy storage system economic calculation model considering the externality is constructed, and the energy storage system is connected to the photovoltaic power station as an example. The cash flow analysis method estimates the cost and benefits of energy storage investment, and the economics of the energy storage system applied to the renewable energy generation side from the perspective of investors as well as social overall benefits is studied, and the profit and loss balance of energy storage is analyzed. Through the break even curve, the scenario of energy storage break even is analyzed. The results of economic analysis show that the external income of energy storage system accounts for a large proportion of annual income.

Keywords: energy storage system; externality; comprehensive value; discount cash flow; photovoltaic power generation