

新形势下山东电网投资问题及策略优化研究

牛东晓¹, 李明钰¹, 崔曦文², 刘宇静²

(华北电力大学, 北京市, 102206)

摘要: 近年来, 全球政策不确定性大幅攀升, 制造业陷入衰退, 全球经济增长持续放缓, 加速新旧动能转换, 推动高质量发展成为经济发展的目标。在此形势下, 电网企业的投资成为了重点监控对象, 这对电网企业在进行项目建设投资的要求进一步提高。本文研究了新旧动能转化背景下山东电网存在的投资问题, 根据投资能力和投资需求的约束条件, 建立投资决策的优化模型, 并根据山东电网实际投资现状构建优化投资策略, 为山东电网实现精准化投资提供有效建议, 支撑山东省经济社会的高质量发展。

关键词: 新旧动能转换, 精准投资, 投资策略优化

中图分类号: F426

文献标识码: A

0 引言

电网是我国经济社会发展的基础, 在国民经济发展中占有重要地位。电网公司制定电网规划时, 需要考虑投资能力的准确性, 准确分析投资问题, 精准制定相关策略, 这对促进电网科学决策精确投资具有重要意义。

电网公司的投资能力受到诸多因素的制约, 这些因素的变化将对电网公司的投资能力产生较大影响, 增加电网投资的不确定性。作为电网规划的制定者和执行者, 电网公司要对电网的投资需求进行测算, 以求合理安排规划, 提高风险抵抗能力。随着我国人民生活水平的提高, 各行业用电量攀升新高, 电网在扩大投资规模的同时, 也应不断完善管理。当前我国电网的投资决策多依靠对宏观经济形势的判断, 未能对投资计划形成具体指导。基于此, 本文基于电网投资需求和投资能力的测算, 形成多种约束条件, 建立投资决策优化模型, 以山东电网为切入点进行投资策略研究, 实现电网企业在不同情况下的投资能力和投资需求的协调与优化, 有效提升山东电网投资有效性和精准度, 保障山东电网投资效益。

1 山东电网投资环境及问题分析

1.1 山东电网投资环境

近些年来, 山东省全省经济运行呈现总体平稳、稳中有进、进中向好的态势, 给山东电网的发展环境提供了重要支撑。经济发展方面, 山东正处于新旧动能转换的转型阵痛期, 增速明显下滑; 进出口贸易方面, 山东省居全国省市第六位, 占全国进出口总值的 6.5%, 外贸总体平稳、稳中提质; 新旧动能转换方面, 山东省积极推进相关政策, 用电需求仍然保持高位, 特高压入鲁、智能电网仍待建设; 新冠肺炎影响方面, 随着疫情得到有效控制, 全省用电需求逐步回暖, 仍将处于恢复期, 预计全年后半段用电形势好于上半年。政府也将深化投资融资体制改革, 加强投资项目管理, 健全投资机制, 提高管理水平和投资效益。

在“十三五”期间，山东省电网坚持三个导向，精准分析电网投资问题，科学制定投资策略，电网投资的发展迈上新的台阶。山东省全力服务脱贫攻坚、污染防治、军民融合、乡村振兴、新旧动能转换等国家重大战略；正式迈入特高压时代，电网整体受电能力和输送能力全面提升；配电网供电能力显著增强，网架结构日益优化，效率显著提升；电网智能化水平稳步提升，完成电网智能调度网络平台搭建，实现智慧管控体系。

1.2 问题分析

目前山东省经济受到了众多因素的影响，在世界经济形势急转直下的情况下，通过有效的宏观调控，保持经济的基本稳定。新一轮的电力体制改革给山东电网投资带来巨大的挑战，政府通过转变监管模式、改进定价方法、建立成本约束机制、推进销售电价改革以及促进电力市场化，对电网企业今后新一轮投资产生了重要的影响。山东电网为应对相关政策及目标定位，将更加关注指标的变化，准确进行自身投资能力的评估，从投资导向、投资规模、投资布局、投资监管等四个方面入手进行科学的管理。

与此同时，新的电价政策的出台也给山东电网投资带来新的挑战。为加强实体经济的发展，深入开展减负降本工作，电网的收入与投资受到了直接的影响。今年，为应对新冠疫情带来的经济冲击，围绕“六保”“六稳”政策，山东电网更要降低生产成本，注重科学投资、精准投资，杜绝无效投资，提高企业的投资效率。

2 山东电网投资策略优化研究

2.1 电网投资能力及投资需求预测

电网投资能力是指在目标利润、资产负债率限值及假定的售电量增幅条件下，公司财务所能够支撑的投资规模上限，即假设在保留资金安全备付的前提下，将经营、筹资活动现金净流入全部用于投资所形成的投资能力。投资能力主要由折旧、利润以及融资三个方面构成，并且受到经济、政策等诸多外部因素的影响。因此，由各层级构成的不同影响因素，通过间接和直接的方式成为影响电网投资能力的关联系统。基于此，本文将资产负债率、利润总额、上缴利润作为电网投资能力的约束，并基于此构建电网投资能力预测模型。

该模型从企业投资资金来源入手，根据电网投资能力构成因素分析，把投资资金来源分成三部分，即利润、折旧和融资，同时考虑投资资金用作流动资产的一部分，构建电网投资能力预测模型，系统流图如图 1 所示。

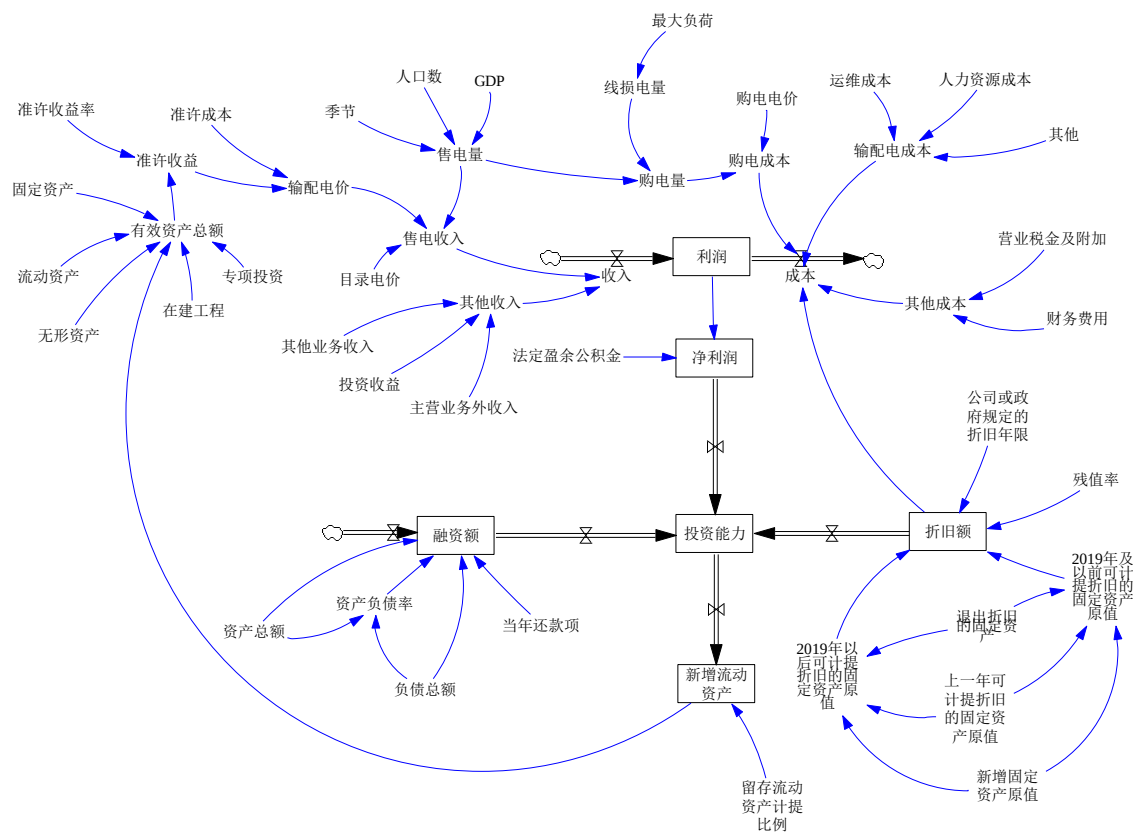


图 1 电网企业投资能力预测存量流量图

Fig.1 Grid enterprise investment capacity forecast stock flow chart

构建的投资能力计算公式如下:

$$Ic_i = Np_i - Tp_i + D_i + \Delta F_i - \Delta LA_i \quad (1)$$

式中, I_{ci} 为电网第 i 年的投资能力, NP_i 为电网公司第 i 年的净利润, TP_i 为电网公司第 i 年的上缴利润, D_i 为第 i 年的折旧额, ΔF_i 为电网第 i 年的新增融资金额, ΔLA_i 为第 i 年公司新增的流动资产。

根据预测模型,可得2020年山东省各电压等级的投资能力预测值,如表1所示。

表 1 2020 年各电压等级投资能力测算值

单位：万元

Tab.1 Estimated value of investment capacity for each voltage level in 2020

电压等级	500kV	220kV	110kV	35kV	10kV	合计
各电压等级投资占比	0.0925	0.1325	0.1275	0.055	0.5775	
2020 年投资能力测算值	375550	537950	517650	223300	2344650	4060000

投资需求是一定时期内全社会形成的固定资产投资和存货增加额之和。目前,我国电网投资呈现快速增长的势头,同时考虑到我国电力建设尚未饱和的现状,未来持续的电网建设投入不可或缺,电网投资需求将不断增加。

准确有效的电网投资需求预测,不仅可以帮助企业统筹资金,合理安排电网建设资金的投入,减少资金成本,还能改善电网企业的经营状况。本文运用灰色预测法投资需求进行预

测。预测结果如表 2 所示。

表 2 2020 年各电压等级投资需求预测值

单位：万元

Tab.2 Forecast value of investment demand for each voltage level in 2020

电压等级	500kV	220kV	110kV	35kV	10kV	全省合计
2020 年投资需求预测值 (单位：万元)	153540	348670	242350	393900	1776000	3021620

2.2 电网投资决策模型构建

本文以投资需求和投资能力为硬性约束，另外设定约束条件作为电网投资决策优化模型的前提条件。本模型的其他三个约束条件为供电需求约束、投资资金约束以及项目属性约束。

根据以上电网投资的约束条件，假设项目建设与否作为投资决策的主要决策变量，设定为 x_i^{jk} ，其中，i 为不同项目，j 为不同地区，k 代表不同电压等级。构建电网投资决策优化模型如下：

$$\gamma^k < \frac{\sum (x_i^{jk} v_i) + v_0^{jk}}{L^{ik}} < \theta^k; k=10kV, 35kV, 110kV, 220kV, 550kV;$$

$$j \in RG; i \in TS^{jk} \quad (2)$$

$$F_D \leq \sum x_i^k s_i^k \leq F_P \quad (3)$$

$$F_D^k \leq F_P^k \quad (4)$$

$$s_i^k = f_{si}^k + f_{Li}^k (L_i^k - L_{i-1}^k) + f_{ci}^k (C_i^k - C_{i-1}^k) \quad (5)$$

$$x_i = 1; \quad i \in F \quad (6)$$

$$x_i + x_j \leq 1; \quad (i, j) \in M \quad (7)$$

$$x_i - x_j \leq 0; \quad (i, j) \in C \quad (8)$$

$$x_i = x_j; \quad (i, j) \in E \quad (9)$$

式 (2) 代表了供电能力的约束。 γ^k 和 θ^k 分别为 k 电压等级容载比的规定合理区间下限和上限， x_i^{jk} 和 v_i 分别为 j 地区 k 电压等级项目 i 的决策变量和供电容量， v_0^{jk} 和 L^{ik} 分别为规划基准年的变电容量和规划水平年的负荷， RG 为电网及其中各地区电网组成的集合， TS^{jk} 为待建变电站项目。

式 (3) 代表了投资需求和投资能力的约束。如公式中所示， F_D 为当年需要满足的投

资需求, F_p 为当年的投资能力, s_i^k 为项目 i 的投资成本。

式(4)中 F_D^k 为投资需求, F_P^k 为投资能力, 对于分电压等级的投资模型构建, 相应的电压等级投资需求应当小于其投资能力。

式(5)为单一项目投资成本 s_i^k 的计算方式, 其中 f_{si}^k 为建设单座变电站的费用; f_{Li}^k 为新建单位长度架空线路的费用, L_i^k 为本年的架空线路长度, L_{i-1}^k 为上一年度的架空线路长度; f_{ci}^k 为新建单位长度电缆费用, C_i^k 为本年度的电缆长度, C_{i-1}^k 上一年度的电缆长度。

式(6)为强制建设项目约束;

式(7)为互斥项目约束;

式(8)为从属项目约束;

式(9)为同时性项目约束。

3 山东电网投资策略优化实证分析

3.1 数据选取

本文选取“十三五”期间山东电网各电压等级容载比、网供负荷规划值作为参考数据构建投资策略, 利用各电压等级变电站总容量及个数对“十四五”期间单座变电站容量进行预测, 以此构建投资策略。除此之外, 搜集山东各电压等级新建输变电工程的单项造价数据, 对各电压等级变电站的投资水平进行计算, 作为对投资策略进行筛选的依据。数据选取及数据来源如下表所示。

表3 数据选取及数据来源

Tab.3 Data selection and data source

数据用途	数据选取	时间跨度	数据来源
投资策略构建	容载比	——	《城市电力网规划设计导则 Q-GDW156-2016》
	网供负荷规划值	“十三五”期间	山东电网“十三五”规划文件
	电压总容量	“十三五”期间	山东电网规模表
	变电站个数	“十三五”期间	山东电网规模表
投资策略筛选	单座变电站新建费用	——	电网工程综合造价表
	单位长度线路费用	——	电网工程综合造价表
	单位变电站扩建费用	——	电网工程综合造价表
	站线比	——	计算得出
	扩建新建比	——	计算得出

3.2 投资策略构建

在已知各电压等级下变电总容量的约束区间条件下, 得到每年各电压等级变电站容量即可计算每年各电压等级下, 应当建设的变电站座数上下限, 从而形成投资策略筛选池。根据历史各电压等级的总容量和变电站座数, 近似求得每年各电压等级单座变电站容量的平均值, 并以此作为过去单座变电站容量的历史值, 对未来“十四五”期间的单座变电站容量进

行预测。用各电压等级变电容量的约束区间和单座变电站的容量，构建出“十四五”期间，各电压等级投资策略约束区间。

根据各电压等级的变电容量约束区间以及对山东省 2020 年单座变电站容量的预测，可以求得 2020 年山东省在各电压等级下，近似每年变电站的座数上下限，形成投资策略筛选池。2020 年各电压等级投资策略约束区间如下表 4 所示。

表 4 “十四五”期间各电压等级投资策略约束区间

单位：座

Tab.4 Investment strategy constraint interval for each voltage level during the "14th Five-Year Plan" period

电压等级	2020 年约束区间	
500kV	min	39
	max	55
220kV	min	342
	max	406
110kV	min	1474
	max	1638
35kV	min	1381
	max	1535
10kV	min	84359
	max	103920

3.3 投资策略优化筛选

基于电网投资优化决策辅助模型对投资策略进行筛选，本文以 2020 年为例，对山东电网各电压等级投资策略进行筛选，提出投资优化方案。首先对 500kV 输变电站的造价水平进行预测，根据规定的新建单座变电站的造价水平 21000 万元/座、新建单位长度线路造价 400 万元/km 以及单位变电站扩建和改造费用 5200 万元/座，进行投资水平的预测。根据“十三五”规划期间 500kV 电压等级变电站个数及线路长度等数据的搜集，计算出相应站线比为 0.0053，扩建新建比为 0.036。因此，2020 年 500kV 变电站的新增扩建总投资 F_{500kV} 为

$$F_{500kV} = F_{S500kV} + F_{L500kV} + F_{E500kV} = 21000\lambda_{500kV} + 400 \times \frac{\lambda_{500kV}}{0.0053} + 5200 \times 0.036\lambda_{500kV} \quad (10)$$

同理，本文计算了各电压等级的投资水平，并根据第二部分计算的投资能力和投资需求对 3.2 构建的投资策略进行筛选，最终得到的投资策略筛选模型，以各电压等级建设变电站的个数为 λ_{110kV} ， λ_{35kV} ， λ_{10kV} 为决策变量，筛选模型如下：

表 5 各电压等级投资策略筛选模型

Tab.5 Selection model of investment strategy for each voltage level

约束条件	决策变量
------	------

$3021620 \leq 21000\lambda_{500kV} + 400 \times \frac{\lambda_{500kV}}{0.0053} + 5200 \times 0.036\lambda_{500kV} + 8300\lambda_{220kV} + 240 \times \frac{\lambda_{220kV}}{0.014} + 1800 \times 0.016\lambda_{220kV}$	λ_{500kV}
$+ 40.65\lambda_{110kV} + 86 \times \frac{\lambda_{110kV}}{0.055} + 400 \times \frac{\lambda_{110kV}}{1.057} + 25.2 \times 0.03\lambda_{110kV} + 67.33\lambda_{35kV} + 70 \times \frac{\lambda_{35kV}}{0.061} + 300 \times \frac{\lambda_{35kV}}{0.751} +$	λ_{220kV}
$27.33 \times 0.036\lambda_{35kV} + 42\lambda_{10kV} + 35 \times \frac{\lambda_{10kV}}{0.44} + 35 \times \frac{\lambda_{10kV}}{3.048} \leq 4060000$	λ_{110kV}
	λ_{35kV}
	λ_{10kV}
$153540 \leq 21000\lambda_{500kV} + 400 \times \frac{\lambda_{500kV}}{0.0053} + 5200 \times 0.036\lambda_{500kV} \leq 375550$	λ_{500kV}
$348670 \leq 8300\lambda_{220kV} + 240 \times \frac{\lambda_{220kV}}{0.014} + 1800 \times 0.016\lambda_{220kV} \leq 537950$	λ_{220kV}
$242350 \leq 40.65\lambda_{110kV} + 86 \times \frac{\lambda_{110kV}}{0.055} + 400 \times \frac{\lambda_{110kV}}{1.057} + 25.2 \times 0.03\lambda_{110kV} \leq 517650$	λ_{110kV}
$393900 \leq 67.33\lambda_{35kV} + 70 \times \frac{\lambda_{35kV}}{0.061} + 300 \times \frac{\lambda_{35kV}}{0.751} + 27.33 \times 0.036\lambda_{35kV} \leq 223300$	λ_{35kV}
$1776000 \leq 42\lambda_{10kV} + 35 \times \frac{\lambda_{10kV}}{0.44} + 35 \times \frac{\lambda_{10kV}}{3.048} \leq 2344650$	λ_{10kV}

根据以上模型约束条件和决策变量，利用 Python 软件进行规划求解，得到经过上述约束条件筛选后的投资规划结果如下表所示。

表 6 2020 年各电压等级新增变电站投资策略（节选）

单位：座

Tab.6 New substation investment strategies for various voltage levels in 2020 (excerpt)

策略组	新建				扩建					
	500kV 变电站	220kV 变电站	110kV 变电站	10kV 变电站	500kV 变电站	220kV 变电站	110kV 变电站	10kV 变电站	最小值	最大值
1	8	13	122	260	15074	17624	0	0	4	8
2	8	14	122	260	14882	16940	0	0	4	8
3	8	15	122	260	14691	16748	0	0	4	8
4	8	16	122	260	14499	16557	0	0	4	8
5	8	17	122	260	14308	16366	0	0	4	8
6	8	18	122	260	14116	16174	0	0	4	8
7	8	19	122	260	13925	15983	0	0	4	8
8	8	20	122	260	13734	15791	0	0	4	8
9	8	21	122	260	13542	15600	0	0	4	8
10	9	13	122	260	14915	16972	0	0	4	8

由上述结果可知，对于不同电压等级在 2020 年期间各电压等级每年变电站个数区间形成了多种可量化的、精确的投资策略，35kV 等级变电站没有可以建设的区间个数，由于山东省目前实际情况，35kV 变电站在规划方面一般不再考虑新增变电站的情况，因此，规划结果也正好符合实际情况。

4 结论及政策建议

随着国内经济下行压力的加大，我国的经济发展已经进入新常态，发展方式逐渐从规模速度型转向质量效率型，高质量发展成为经济发展的根本要求；同时，山东电网投资所面临的外部监管形势趋严。为满足环境需求和自身转型需求，电网企业需要将投资方向转向高质量发展的产业，同时实行精准投资，提高投资效益，因此，面对大量建设资金的持续投入，

采用科学手段对山东电网投资策略进行优化具有重要意义。

随着精准化投资要求越来越高,针对未来山东电网投资策略的研究方向,提出以下几点建议:

(1) 保证电网投资基础数据精准化。现行收资主要采用表格填报的模式开展,部分数据难以直接利用,带来大量的数据校核工作。建议统筹加快数据信息化管理工作,进一步做好数据共享和综合分析工作,充分发挥精准数据对电网企业投资决策优化工作带来的改进和提升作用。

(2) 修正相关权重及参数。本研究选用了较为科学、合理地评价体系和计算模型,但部分指标权重及模型参数设置是否合理还需实践跟踪,需不断修正相关权重和参数,优化评价体系 and 计算模型使之能够更为准确地评价配电网投资效益,更为科学地给出电网投资优化策略。

(3) 开发信息化辅助平台。新形势下山东电网投资策略优化研究及辅助决策模型构建是一个复杂的综合分析工作,数据量多、计算量大、计算模型复杂是其主要特点,今后沿用人工方式开展此类工作会遇到工作量大、业务人员培训困难等一系列问题。建议根据本研究理论成果开发信息化辅助决策平台,加快研究成果转化,更好地推进评价工作常态化开展。

参考文献

- [1] 赵会茹. 电网企业投资能力的量化研究[J]. 水电能源科学. 2012. 30(4):191-194.
- [2] 戴文博. 电网企业投资能力分析系统设计与实现[D]. 北京:华北电力大学. 2012.
- [3] 张学强. 电网投资能力测算模型在县级供电企业的应用[J]. 全国商情·理论研究 2013(39):31-31.
- [4] 付明. 电网投资能力综合评价[J]. 产能经济. 2415. (19):327-328.
- [5] 潘力强. 基于 TOPSIS 法的 220kV 电网投资能力评价[J]. 现代经济信息. 2016. (10):380-383.
- [6] 李萌. 基于投资能力的电网企业投资分配模型研究[J]. 东北电力技术. 2016. 37(1):19-23.
- [7] 吴雪峰. 电力市场下基于实物期权理论的电网投资经济评价[J]. 电网技术. 2007. 31(1):78-80.
- [8] Bakhshi R, Sadeh J. Economic evaluation of grid-connected photovoltaic systems viability under a new dynamic feed-in tariff scheme. A case study in Iran[J]. Renewable Energy, 2018, 119:354-364.
- [9] 崔文静. 基于 J2EE 构架的电网经济指标分析系统的研究与实现[D]. 北京:华北电力大学, 2011.
- [10] 曾鸣. 基于需求侧响应的区域微电网投资成本效益分析[J]. 水电能源科学. 2012. 30(7):190-193.
- [11] 吴张娴. 我国电网投融资分析[D]. 厦门:厦门大学. 2009.
- [12] 周盈. 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] 周盈. 大用户直购电环境下的用户分类与电力网络成本分摊[D]. 杭州:浙江大学. 2015.

- [14] 蔡压恺. 电网企业投资风险管理研究[D]. 北京: 华北电力大学. 2011.
- [15] 姜林. 电网企业固定资产投资效益评价研究[D]. 北京: 华北电力大学. 2011.
- [16] 张林. 电网企业投资策略选择研究[J]. 重庆电力高等专科学校学报. 2014. 19(3): 32-34.
- [17] 金川, 范娟娟, 刘福炎, 等. 电网投资策略综合评价体系研究[J]. 管理观察. 2015. (1): 159-162.
- [18] 徐志奇. 电网投资评价系统模型研究与应用[D]. 北京: 华北电力大学. 2012.
- [19] 段成. 电网投资效益后评价理论及决策支持系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学. 2012.
- [20] 朱鑫榕. 电网投资效益评价指标体系构建[J]. 决策参考. 2011. (2): 86-87.
- [21] 殷秀迪. 模糊评价模型及在投资效益评价中的应用研究[D]. 北京: 华北电力大学. 2014. 徐恩超. 城市电网投资经营效益探讨[J]. 经济管理. 2016. (03): 226.

Research on Shandong Power Grid Investment Issues and Strategy Optimization in the New Situation

Niu Dongxiao¹, Li Mingyu¹, Cui Xiwen², Liu Yujing²

(North China Electric Power University, Beijing, 102206)

Abstract: In recent years, global policy uncertainty has risen sharply, manufacturing has fallen into recession, global economic growth has continued to slow, and the conversion of new and old momentum has been accelerated, and high-quality development has become the goal of economic development. Under this situation, the investment of power grid companies has become a key monitoring object, which further increases the requirements for power grid companies to invest in project construction. This paper studies the investment problems of Shandong Power Grid under the background of the conversion of new and old momentum. According to the constraints of investment capacity and investment demand, an optimization model for investment decision-making is established, and an optimized investment strategy is constructed according to the actual investment status of Shandong Power Grid to achieve the precision of Shandong Power Grid investment, which will provide effective advice to support the high-quality development of the economy and society of Shandong Province.

Keywords: Conversion of new and old momentum, Precise investment, Optimization of investment strategy

基金项目: 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目: 《构建清洁低碳、安全高效的能源体系政策与机制研究》(编号: 18JZD032)。

作者简介(可选): 牛东晓(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 电力市场规划, 电网技术经济分析; 李明钰(1997-), 女, 博士研究生, 主要研究方向: 电力经济, 电网投资