

# 碳中和背景下中国电力基础设施投资研究



严晨郡, 葛泽文\*

厦门大学嘉庚学院会计与金融学院, 福建漳州 363105

**摘要:** 在全球气候变化和中国“碳中和”战略目标的背景下, 优化电力基础设施投资成为推动能源结构转型和可持续发展的关键。本研究基于“十三五”期间中国投产的电力工程项目数据, 对火电、水电、风电和光伏四类电力基础设施的投资状况进行系统分析与比较研究。研究从单位投资差异、空间分布特征、时间演化趋势、概决算偏差等多个维度, 揭示了不同类型电力项目的投资特征和优化对策。结果表明, 水电单位投资最高, 火电最低, 光伏成本因技术进步呈现显著下降趋势。此外, 单位投资在不同地区存在显著差异, 受资源禀赋、市场需求及政策环境影响较大。研究发现, 规模经济效应在火电和水电项目中较为明显, 而风电项目的单位投资由于受到选址、技术及供应链因素影响较大, 未呈现随规模经济扩张而显著下降的趋势。基于研究结果, 本研究提出了优化投资规模、推进市场化融资、提升资源利用效率和强化政策引导等对策建议, 以提高投资收益率, 助力绿色低碳转型背景下中国电力基础设施的高效建设。

**关键词:** 碳中和; 电力基础设施; 投资分析; 能源转型

**DOI:** [10.57237/j.jest.2025.01.002](https://doi.org/10.57237/j.jest.2025.01.002)

## Study on Investment for Power Infrastructure in China Towards Carbon Neutrality

Chenjun Yan, Zewen Ge\*

School of Accounting and Finance, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou 363105, People's Republic of China

**Abstract:** Under global climate change and China's "carbon neutrality" target, optimizing power infrastructure investment is critical for promoting energy transition and sustainable development. This study systematically analyzes and compares the investments of four types of power infrastructure (thermal power, hydropower, wind power, and photovoltaics) based on the data from power projects commissioned during China's 13th Five-Year Plan period. The research examines multiple dimensions, including differences in unit investment costs, spatial distribution characteristics, temporal evolution trends, and budget to final cost deviations, to reveal the investment characteristics and optimization strategies for different power projects. The results indicate that hydropower exhibits the highest unit investment cost, while thermal power has the lowest. The cost of photovoltaic projects has shown a significant downward trend due to technological advancements. Additionally, investment costs vary significantly across regions, influenced by resource endowments, market demand, and policy environments. The study finds that economies of scale are more evident in thermal and hydropower projects, whereas wind power projects do not demonstrate a significant reduction in unit

\*通信作者: 葛泽文, [gezewen0410@163.com](mailto:gezewen0410@163.com)

investment costs with scale expansion due to factors such as site selection, technology, and supply chain constraints. Based on these findings, this study proposes policy recommendations, including optimizing investment scale, advancing market-oriented financing, enhancing resource utilization efficiency, and strengthening policy guidance to improve investment returns and facilitate the efficient development of power infrastructure in China's green and low-carbon transition.

**Keywords:** Carbon Neutrality; Power Infrastructure; Investment Analysis; Energy Transition

## 1 引言

能源作为现代工业文明的重要物质基础，在支撑经济增长、推动社会进步方面发挥了不可替代的作用。为了确保能源的稳定供应，满足工业化、城镇化进程中日益增长的能源需求，人类建立了庞大的电力基础设施体系，以燃煤、燃气等传统火力发电为核心，水力发电、光伏发电等可再生能源为重要补充，依托于电网系统实现了能源的高效传输与广泛覆盖。然而，以化石能源为主的电力基础设施在提供稳定能源供应的同时，也产生了大量的温室气体排放，加剧了气候变化。在全球能源格局深刻调整、碳减排压力日益增加的背景下，能源基础设施体系亟需向绿色、低碳、高效方向转型，越来越多的国家将“净零碳排放”上升为国家战略，提出无碳未来的愿景。为此，各国纷纷加快清洁能源电力基础设施的建设，推动风能、太阳能、水电等可再生能源的规模化发展，同时强化电网升级和储能系统的布局，以提高可再生能源的消纳能力和供应稳定性[1]。

过去四十年间，中国经济的高速增长伴随着化石能源的消费量显著增加，污染物排放与碳排放快速增长。2020年，中国能源消费总量为49.8亿吨标准煤，能源相关二氧化碳排放量约99亿吨，分别占全球能源消费总量的26%和二氧化碳排放量的31% [2-4]，能源消费结构问题导致减排压力显著，过高碳排放严重影响中国生态环境质量。因此，加快构建现代能源体系是保障中国能源安全、助力实现碳中和目标的内在要求，也是推动实现经济社会高质量发展的重要支撑。在碳中和目标驱动下，中国正以水、风、光等清洁能源为支点，重构能源体系格局[5-7]。然而，中国可再生能源风、光、水电建设虽取得显著进展，但其投资与实施过程中仍面临效率瓶颈。资金层面，项目融资过度依赖银行贷款与政策性补贴，市场化融资工具应用不足，地方财政补贴滞后导致企业资金链承压。同时，可再生能源的利用效率和消纳问题日益凸显，弃

风弃光甚至弃核现象严重，形成隐性资源浪费[8-11]。为进一步深化投融资体制改革，促进能源行业发展，中国政府出台了一系列政策文件，要求强化资本市场建设与金融服务，引导社会资本进入能源行业，加大对可再生及清洁能源扶持，提出创新投融资方式，加强气候信息披露举措，以推进碳减排进程[12]。

## 2 文献综述

### 2.1 国内研究现状

在“双碳”目标背景下，电力基础设施的投资和管理优化逐渐成为了学者关注的热点问题。在电力投资综合研究方面，张玉鸿（2024）从投资规模和结构维度深入分析了中国电力投资的主要特征，揭示了电力投资结构优化和电力生产率提高对于电力工业高质量发展的重要性[13]。陈西（2023）的研究则聚焦于“双碳”目标下发电企业的绿色竞争力评估。通过建立指标评价体系，量化了发电企业绿色发展水平，揭示了不同发电企业在绿色转型过程中的优势和不足[14]。在电力基础设施投资管理方面，张翔场（2021）的研究通过光伏发电领域的EPC模式，探讨了投资风险管理，为投资者提供了有效的风险控制手段[15]。高银皓（2024）与马骁（2021）聚焦于火电企业的战略绩效与成本管理优化，深入分析了低碳经济如何影响火电企业的成本结构，并探讨了优化路径[16-17]。在可再生能源投资决策方面，谭子恺（2024）构建了二级电力供应链模型，发现售电企业投资可再生能源意愿更强，补贴和绿证交易政策能提升投资水平，且存在政策效果差异及影响因素，为后续研究提供了政策实施与投资决策方面的参考[18]。在电力工程安全生产风险管理方面，王羽（2019）的研究针对电力工程公司存在安全风险问题，构建生产风险评价指标体系和综合

评估模型，明确了关键和高危风险因素，确定公司整体生产风险等级，解决了风险点零散、识别低效、评估主观以及防范手段笼统的问题，并提出针对性防范措施，为公司及同类型企业安全生产管理提供有效支持[19]。在电力企业绿色债券融资效益研究方面，王啸（2024）的研究以龙源电力为案例，分析其绿色债券融资背景、动因，从经济、环境、社会维度剖析融资效益并指出存在的问题，为电力企业绿色债券融资及行业绿色转型提供了参考 [20]。

## 2.2 国外研究现状

在全球范围内，随着净零排放目标的推进，能源基础设施的优化和可持续发展是各国学者研究的重点。相关研究在不同地区对电力基础设施、可再生能源等领域的投资、改革和政策进行了深入探讨。Svendmark 等人（2021）分析了挪威北部地区发展氢能源中心的关键因素。研究指出，氢气价格、风能资源的开发及基础设施投资是推动该地区氢能源产业发展的核心要素[21]。Song 等人（2020）的研究评估了能源基础设施投资对亚洲主要发展中国家可再生能源发电的影响。研究表明，能源基础设施投资对加速可再生能源的部署至关重要，且合理的投资策略能够显著提高能源系统的可持续性[22]。Owusu-Manu 等人（2020）以加纳电力部门为例，研究了电力基础设施改革对电力生产和私人投资的影响。研究回顾了加纳电力部门的改革历程，评估了改革措施如何促进电力生产增长并吸引私人投资[23]。

## 2.3 文献评述

综上所述，国内外关于电力基础设施投资和优化的研究呈现出多样化发展趋势，这些研究为中国电力基础设施建设提供了有效借鉴，推动了能源系统转型与可持续发展的进程。然而，当前研究还没有针对电力基础设施投资开展详细的分析，其投资特征仍处于研究空白。在此背景下，本研究基于《“十三五期间”投产的电力工程项目造价情况》的官方统计数据，计算了全国 2016 年-2020 年电力基础设施建设（火力发电工程、水力发电工程、风力发电工程、光伏发电工程）的单位投资成本，并从时空演化趋势、重点投入部门、决概算差异等多个维度开展结果分析。

## 3 研究方法

对于清洁电力（水电、风电、光电）和火电工程项目，分别定义单位装机容量投资（ $CI_{c,i}$ ）来衡量每单位发电容量对应的投资，计算方法如公式 1 所示：

$$CI_{c,i} = \frac{TC_i}{C_i}$$

其中， $TC_i$  表示第  $i$  类电力工程（如火电、水电等）的总投资， $C_i$  表示第  $i$  类电力工程的总发电容量。例如，对于火电工程， $TC$  为火电项目的决算总费用（包含建筑工程费、设备购置费等各项费用）， $C$  为火电项目的装机容量；对于水电工程， $TC$  是水电项目的总投资， $C$  为其装机容量。

考虑不同因素（地形、设备类型）对投资的影响，计算加权平均单位投资。以不同地形对水电工程投资影响为例，计算加权平均单位容量投资（ $CI_{AEV,C,v}$ ），计算方法如公式 2 所示：

$$CI_{AEV,C,v} = \sum_{k=1}^n w_k \times CI_{c,k} \quad (1)$$

其中， $n$  表示影响因素的数量， $w_k$  表示第  $k$  个影响因素的权重， $CI_{c,k}$  表示在第  $k$  个影响因素下的单位容量投资。假设影响水电工程投资的因素有地形（山地、平原等）、设备技术水平等， $w_{\text{山地}}$  为山地地形因素的权重， $CI_{\text{山地}}$  为在山地地形下的单位容量投资，通过对各因素影响下的单位容量投资加权平均，得到综合考虑多种因素后的加权平均单位容量投资。

此外，为了更准确地衡量不同装机容量下的投资，引入工程规模（单机容量）摊销的概念。设某类电力工程有  $m$  种不同单机容量的机组，第  $j$  种单机容量为  $C_{s,j}$ ，对应的总投资为  $TC_{s,j}$ ，则该类电力工程按单机容量摊销后的单位容量投资（ $CI_{S,i}$ ）计算公式 3：

$$CI_{S,i} = \frac{\sum_{j=1}^m TC_{s,j}}{\sum_{j=1}^m C_{s,j}} \quad (2)$$

例如，对于火电工程，有 3 种不同单机容量的机组，单机容量分别为  $C_{s,1}$ 、 $C_{s,2}$ 、 $C_{s,3}$ ，对应的总投资分别为  $TC_{s,1}$ 、 $TC_{s,2}$ 、 $TC_{s,3}$ ，则火电工程按单机容量摊销后的单位容量投资如公式 4 所示：

$$CI_{S,火电} = \frac{TC_{s,1} + TC_{s,2} + TC_{s,3}}{C_{s,1} + C_{s,2} + C_{s,3}} \quad (3)$$

## 4 研究结果

### 4.1 不同类型电力基础设施投资比较

图 1 显示, 各类电力基础设施的单位投资存在显著差异。其中, 水电工程的单位投资最高, 为 9866 元/kW; 火电工程的单位投资最低, 仅为 3720 元/kW; 风电工程和光电工程的投资水平介于两者之间, 单位投资金额依次为 7503 元/kW 和 6044 元/kW。这表明可再生能源项目的整体单位投资高于传统火电, 而水电的建设成本则尤为突出。这种投资差异主要受技术特性、政策导向和市场环境等因素的影响。首先, 从技术角度来看, 火电工程的主要成本集中在燃料供应, 如煤炭等, 而电厂的建设相对简单, 受益于成熟的产业链及较为稳定的设备成本, 因此单位投资较低。而风电和光伏工程则需要建设风力涡轮机、光伏组件等核心设备, 施工安装工程复杂, 材料成本和安装费用较高。水电工程则需要修建庞大的水坝、引水系统、地下厂房等, 涉及大量土建施工, 工程量极大。此外, 由于可再生能源技术尚未完全成熟, 部分核心设备仍依赖进口或高成本制造, 使得单位投资较高。例如, 风电项目需要高质量的风机塔架和精密叶片, 而光伏项目则依赖于硅材料、稀有金属等昂贵原材料。

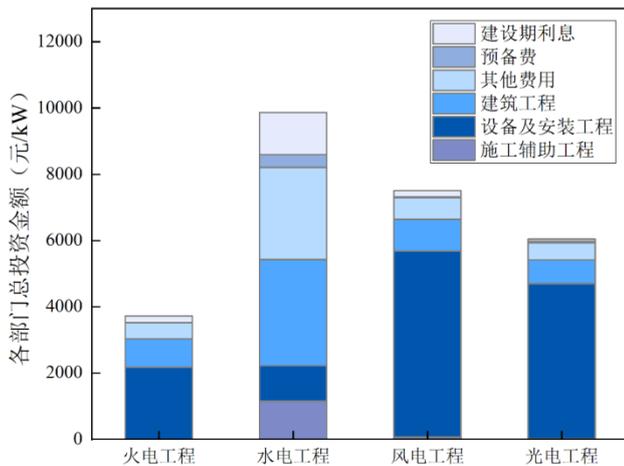


图 1 2016-2020 年各类电力基础设施部门单位投资金额

进一步分析各电力基础设施中的部门投资构成可以发现, “设备及安装工程”是整个施工过程中投资占比最高的部分, 尤其是在风电、光电、火电工程中, 占据主导地位。而在水电工程中, “建筑工程”的投资比例最高。风电项目的“设备及安装工程”投资高达 5621 元/kW, 占其总投资的约 75%, 光伏项目的“设备及安

工程”投资为 4681 元/kW, 占比约 78%。相较之下, 水电项目的“建筑工程”投资高达 3204 元/kW, 占其总投资的近 32%, 高于其他类别的电力设施。“设备及安装工程”的投资占比高, 主要是由于电力基础设施建设属于典型的资本密集型产业, 其成本主要来源于大型机电设备的采购与安装。建筑工程在水电项目中的占比最高, 原因在于水电站的建设需要大规模土建施工, 如水坝建设、引水工程、地下厂房等, 工程施工周期长, 基础设施投入大, 因此建筑工程成为主要的投资组成部分。

### 4.2 电力基础设施投资空间特征

火电工程在“十三五”期间的建设主要集中在华北、华东和华中中等经济发达地区, 以满足这些地区对电力的高需求。如图 2 所示, 2016 年-2020 年间全国火电工程平均投资为 3633 元/kW, 东北地区的火电投资最高达到 4312 元/kW 远超其他地区, 华中地区投资最低为 3263 元/kW, 除此之外, 华中、华东、南方、西北地区的投资均低于平均值。这一差异主要源于东北地区作为传统重工业基地, 工业生产对能源的需求量较大, 较高的依赖度推高了火电项目的投资。而华中地区由于可再生能源发展较快, 加之整体能源结构较为多元, 火电投资相对较低。水电工程的建设投资分布与中国主要流域的地理格局高度契合, 主要集中在西北、华中及南方地区。这些区域往往地处江河干支流沿线, 具备充沛的水能资源, 同时地形落差较大, 为水电开发提供了良好的自然条件。水电能源工程建设的主要投资在华中地区最高, 为 10882 元/kW, 最低的西北地区投资仅为 9282 元/kW, 与最高的华中地区相差 1600 元/kW。这种成本差异主要由工程建设的复杂程度决定。华中地区河流水系复杂, 水电项目多处于高水头落差区域, 建设过程中需克服较大的地质挑战, 同时涉及大规模基础设施配套、移民安置及生态治理, 导致投资上升。相比之下, 西北部分地区的水电开发条件相对成熟, 施工环境更稳定, 因此投资较低。风电工程在“十三五”期间的建设主要集中在风能资源丰富适合大规模风电开发的东北、华北和西北地区。南方地区风电单位投资最高, 达到 8006 元/kW, 而西北地区相对较低, 为 6876 元/kW。南方地区的风电开发以海上风电为主, 涉及海上基础设施建设、远距离输电以及高耐久性设备材料, 整体投资显著高于陆上风电。此外, 海上环境对风电设备的防腐和运维要求较高, 进

一步推高了投资。光伏工程的投资建设主要集中在西北和华北地区，这些地区日照资源丰富，适合大规模光伏发电。从投资来看，东北地区的光伏投资较高，为 7147 元/kW，而南方地区最低，仅为 4865 元/kW。东北地区光照资源较好，但冬季积雪覆盖时间较长，

影响发电效率，需要额外的设备维护和储能系统投入，导致投资上升。而南方部分地区光照资源相对一般，市场需求较小，整体建设规模和投入较低，因此投资较低。

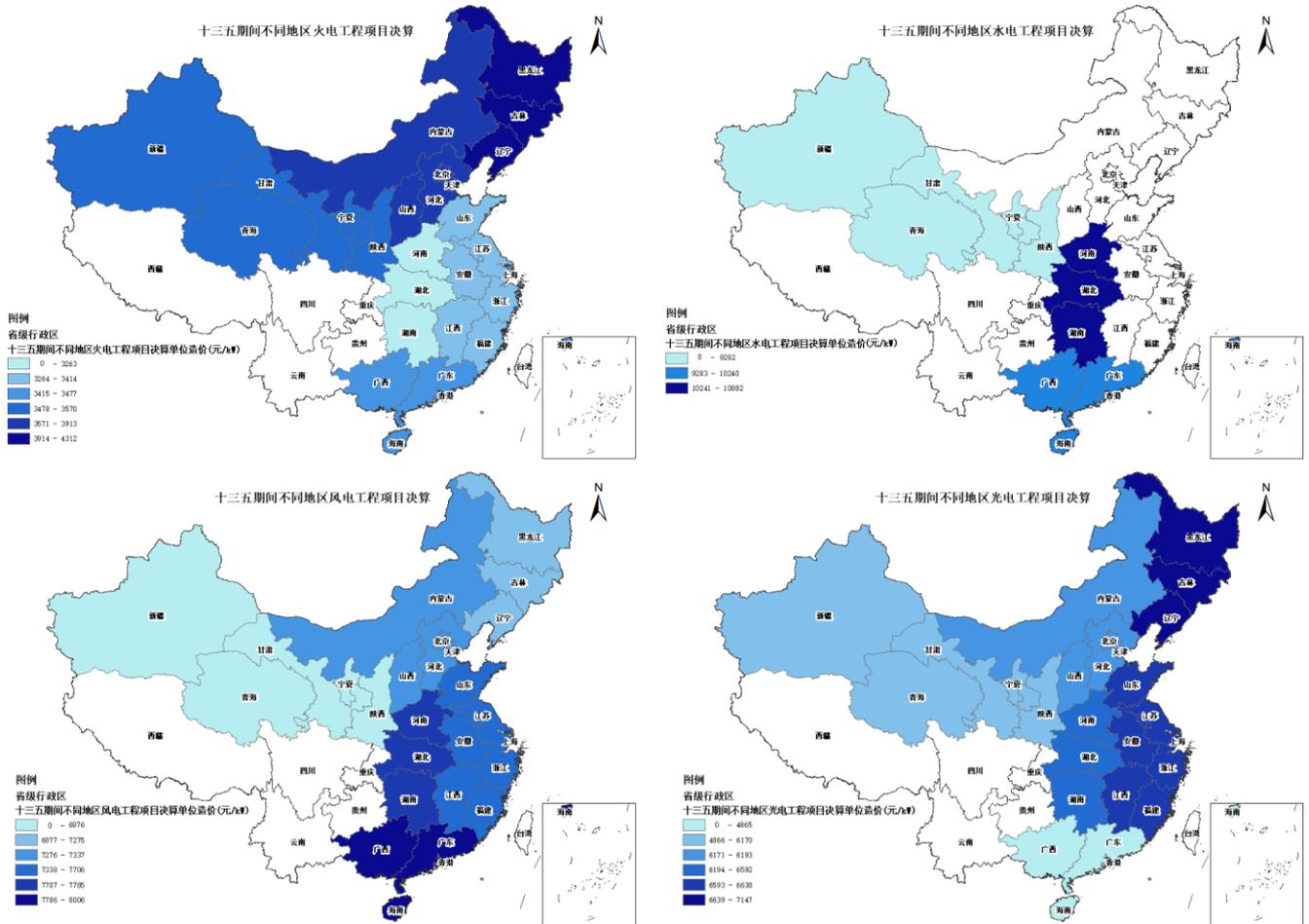


图 2 2016-2020 年各类电力基础设施单位投资空间分布

### 4.3 电力基础设施投资时间演化趋势

总体来看，图 3 中的“十三五”期间中国电力基础设施的投资变化趋势呈现显著分化。水电、风电和火电的成本在波动中略有上升，而光电成本则显著下降。具体而言，光电投资从 2016 年的 7907 元/kW 持续下降至 2020 年的 3804 元/kW，降幅高达 51.94%，光电成本的显著下降，主要得益于技术突破、政策支持、市场优化的强大推动。从中国光伏产业提交的国际专利申请数量来看，其技术创新能力持续攀升，技术实力正加速迈向国际领先行列[24]。光伏技术的进步显著提升了光电的发电效率和生产工艺，成为成本下降的重要因素[25]。

这些技术突破有效提高了光伏组件的能效比和生命周期，同时降低了生产过程中的能耗和材料浪费。在“十三五”期间，光伏产业迎来了政策红利[26]，政府推动了光伏电池效率的提升和产业链的技术创新，进一步加速了成本的下降。与此相对，水电成本受到环保要求日益严格和建设难度增加的影响，从 2016 年的 9515 元/kW 缓慢上升至 2020 年的 11157 元/kW；风电成本从 2016 年的 7316 元/kW 小幅攀升至 2020 年的 7719 元/kW；火电成本则从 2016 年的 3602 元/kW 波动升至 2020 年的 3997 元/kW，增幅约为 10.96%。

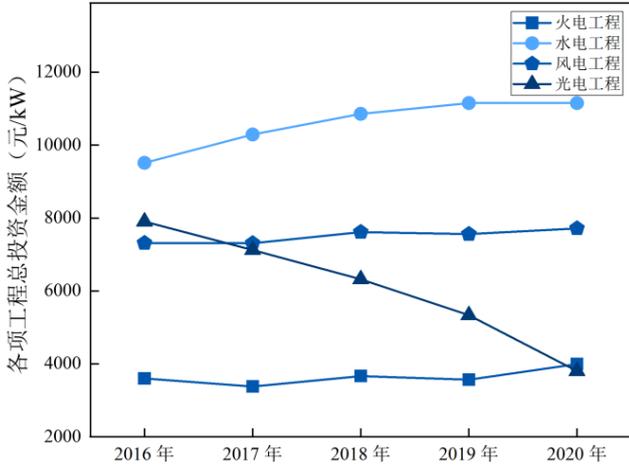


图 3 2016-2020 年各类电力基础设施单位投资变动

### 4.4 电力基础设施投资概决算比较

图 4 显示，火电、风电、光电工程整体呈现概算高于决算的情况，且多数部门决概算差异较小，成本

控制表现较好，而水电工程的差异较大，尤其在部分费用项上决概算差异在 10% 以上。具体来看，水电工程的概算与决算差异较大，主要体现在在设备及安装工程费和建设期利息两个方面。设备及安装工程费的概算为 3204 元/kW，决算为 2781 元/kW，两者差异约为 25.1%。建设期利息的概算为 1687 元/kW，而决算为 1270 元/kW，二者差异近 25%。这说明前期规划时对水电项目的投资预估偏高，或者在实施过程中由于政策调整、融资结构优化等因素，导致最终成本低于预期。同时水电工程还存在特殊情况，部分部门决算高于概算，即建筑工程费概算 3099 元/kW、决算 3204 元/kW，其他费用概算 2417 元/kW、决算 2781 元/kW，显示前期规划存在不合理之处，或概算编制未能精准预估实际支出。这种较大幅度的变化可能意味着水电项目的投资决策在前期需要更精准的测算，以减少过高概算导致的资源错配。

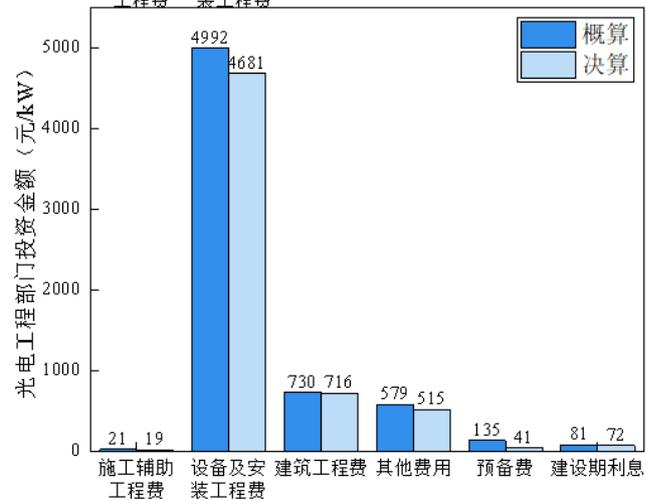
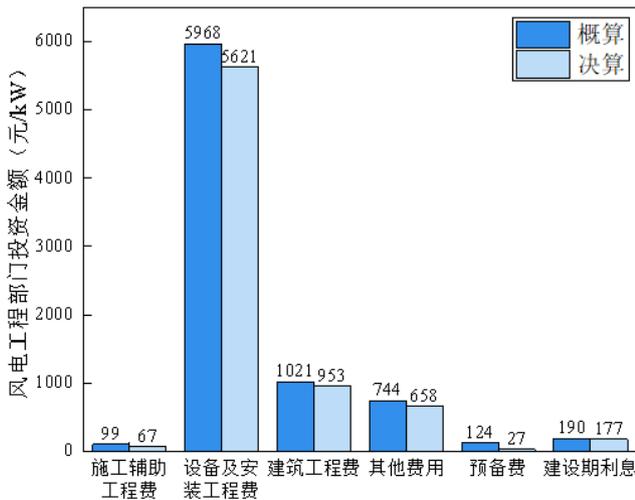
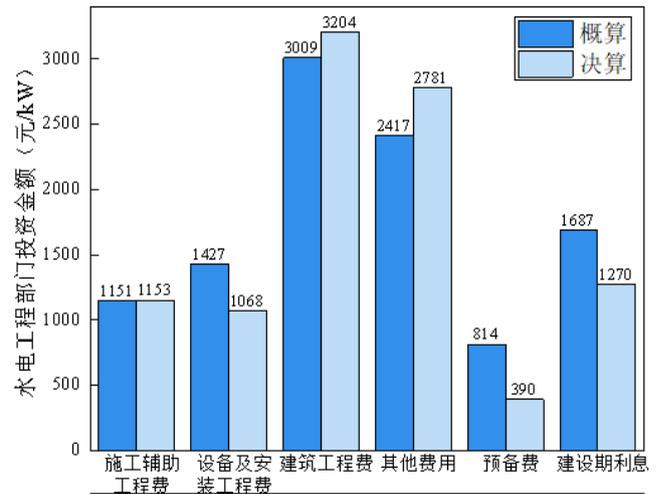
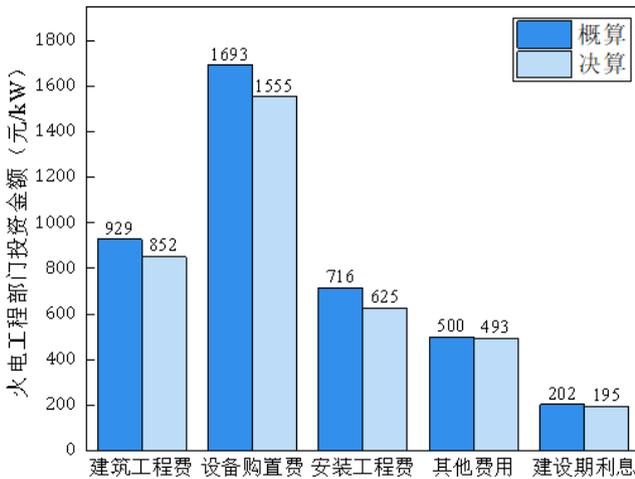


图 4 2016-2020 年各类电力基础设施部门间概决算金额对比

风电工程的概算和决算的整体差异较小，大多数费用项的决算都略低于概算。投入最高的设备及安装工程费的概算为 5968 元/kW，决算为 5621 元/kW，相差约 5.8%，而其他费用、预备费和建设期利息等的概算与决算的差异均不超过 10%。这表明风电项目的投资控制较为稳健，实际执行与规划相对匹配，预算编制的合理性较强。与风电工程部门投入结构相似的光伏工程其概算与决算数据也相对接近。设备及安装工程费的概算为 4992 元/kW，决算为 4681 元/kW，差异约为 6.2%。其他费用、预备费和建设期利息的决概算差异均小于 10%。这说明光伏项目的投资预算和执行较为匹配，整体控制良好，超支或资金浪费的情况较少。

#### 4.5 不同规模电力基础设施投资分析

如图 5 所示，从火电工程的规模与投资之间的关

系来看，装机容量越大，单位投资越低。300MW 以下的机组以小型背压机组为主，其单位投资远高于大型燃煤机组，反映出显著的规模经济效益，机组规模的扩大能够降低单位投资，主要体现在固定成本的分摊、设备采购的规模效应以及能效的提升。然而，300MW 以下机组的高投资与其应用场景和技术特征密切相关。约 65% 的 300MW 以下项目为背压式供热机组，广泛分布于北方供暖区域及工业园区。这类机组需同时满足发电与供热需求，其热力系统需要额外增设蒸汽抽汽管道与热网加热器等设备，导致主设备投资增加约 25%。尽管小型机组的单位投资高，但其在区域供热、电网调峰、工业用热等方面仍具备不可替代的作用。因此，在未来火电项目的投资决策中，应综合考虑机组规模、投资以及特定应用场景的需求。对于 300MW 以下的供热机组，应结合区域供暖政策、能源结构调整方向，优化热电联产模式，提升运行效率。

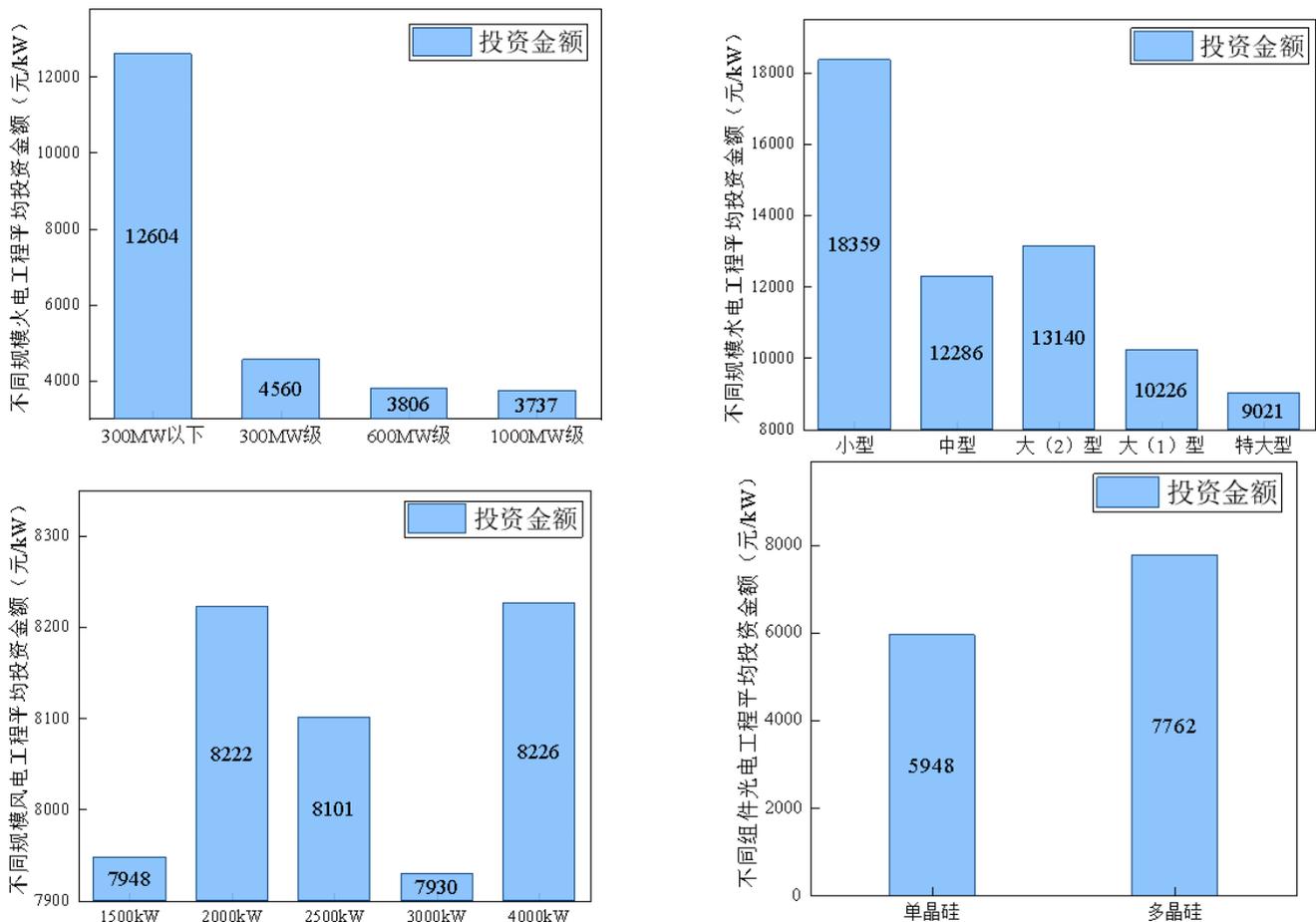


图 5 2016-2020 年不同规模与组件电力基础设施投资

水电站的建设普遍遵循规模经济效益规律,即装机规模越大,单位投资越低。特大型水电站(>3000MW)的单位投资最低,为 9021 元/kW,而小型水电站(<50MW)的单位投资最高,达到 18359 元/kW。这一趋势表明,随着装机规模的扩大,固定成本得以分摊,施工与设备采购效率提高,工程管理成本相对降低,从而实现更优的投资回报。然而,中型水电站(50MW-300MW)的单位投资出现偏离,为 12286 元/kW,低于大(2)型水电站,这与其工程设计、施工方式及选址特征密切相关。中国中型水电站主要分布在西南地区以及部分中部和东南沿海山区。这些地区地形复杂,河流落差较大,水能资源丰富,但受限于地形条件,难以建设大规模水库和特大型水电站。因此,在未来水电开发中,除继续推动特大型水电站(>3000MW)建设以获取长期经济效益外,还应充分利用中型水电站(50MW-300MW)的投资优势,在适宜区域优先布局,以提升整体投资效率。

与火电和水电工程不同,当风电机组规模扩大时,单位投资并未呈现下降趋势,规模经济效益未得到体现。2000kW 和 4000kW 机组的单位投资分别为 8222 元/kW 和 8226 元/kW,高于 1500kW 机组(7948 元/kW)以及 3000kW 机组(7930 元/kW),呈现出显著的波动性。风电机组布局分散,深受地形、风速以及传输距离等多种因素的影响。部分大容量机组安置在风能资源丰富但基础设施薄弱的区域,如中国西北和东北的部分地区,当地交通、输电线路等配套建设成本高昂,大幅拉高整体投资。

## 5 结论与政策建议

本研究通过对中国电力基础设施投资的系统分析,得出以下主要结论:首先,不同类型电力基础设施的单位投资存在显著差异,水电投资最高,火电最低。投资在不同地区的差异受自然资源禀赋、电力需求以及政策扶持力度等多重因素影响。在时间演化趋势方面,光伏投资自 2016 年至 2020 年下降超过 50%,而水电和风电投资基本稳定,火电投资则因煤炭价格波动和环保要求提高而有所上升。在概决算对比中,水电工程的概算与决算偏差最为显著,尤其在设备及安装工程费和建设期利息方面决算金额普遍低于概算。最后,火电和水电项目展现出较强的规模经济效应,即装机容量越大,单位投资越低,而风电项目未表现出明显的规模经济规律。基于上述结论,本研究提出

以下政策建议:

在经济政策方面,依托规模经济效应降低单位投资,是提升电力行业经济效益的关键路径。应布局大规模火电工程,依托碳捕集与封存技术实现清洁转型,优先建设特大型水电站,同时针对西南地区水能资源丰富但地形复杂的特点,适度发展中型水电站作为“西电东送”战略的重要补充。其次,加速完善市场化融资体系。针对当前电力基础设施融资过度依赖政府财政资金的问题,应大力推广绿色债券、碳中和债券以及能源产业基金,推广 PPP 模式,明确政府与社会资本在项目中的权责分配,建立风险共担机制。此外,通过动态调整财政补贴与税收优惠政策,引导社会资本向高潜力可再生能源技术领域倾斜,如海上风电、分布式光伏等初期投资高但长期效益显著的项目。同时,建立区域投资效益评估体系,将单位碳排放减少量作为关键指标,优先支持边际减排成本低的项目。

在技术创新方面,针对关键设备进口依赖度高的问题,亟需集中攻关核心技术,提升核心技术自主可控能力。设立国家级研发创新中心,重点聚焦大容量风机叶片、高效钙钛矿电池等“卡脖子”技术,整合高校、科研机构与企业的研发资源,建立技术共享平台,加速技术成果转化。同时,建立设备全生命周期成本评估体系,鼓励企业采用高效节能设备。此外,针对资源利用效率低下与资源浪费现象,需结合数字技术发展,采用智能化施工管理,引入建筑信息模型(BIM)技术和物联网(IoT)设备,对施工全流程进行数字化监控与管理,降低材料损耗率;构建“源网荷储”一体化智慧能源管理平台,利用 AI 算法优化风光出力预测精度,降低弃风弃光率。

在政策制定层面,相关部门需完善协同治理机制,细化不同阶段的能源投资目标与重点任务;建立透明信息披露机制,定期发布能源投资的经济、社会与环境效益数据,增强政策透明度,构建多层次监管体系,形成上下协同、责任明确的监管模式,完善电力基础设施建设风险管理政策体系。此外,能源投资中还需要关注地区发展不平衡问题优化区域投资布局,应建立区域间电力投资补偿机制,促进区域协调发展。对于可再生能源项目可能对生态环境造成潜在影响,需在建设中平衡经济效益与生态保护,实施生态补偿机制;对能源投资中可能产生的移民搬迁问题,提供全面的补偿机制与职业培训支持,促进受影响人群融入新经济环境。

## 参考文献

- [1] 甘中天. 双碳背景下考虑需求响应的电力系统多目标调度优化 [D]. 华北电力大学(北京), 2022.  
<https://doi.org/10.27140/d.cnki.ghbbu.2022.000569>
- [2] 潘瑶, 王翔宇, 薛轶. 中、美两国体育场馆践行绿色行为的比较研究 [J]. 体育科技文献通报, 2024, 32(05): 122-124+274.  
<https://doi.org/10.19379/j.cnki.issn.1005-0256.2024.05.033>
- [3] 乌日图. 中国发展必须走能源资源节约型道路——对“十二五”期间节能减排工作的一些思考 [J]. 中国人大, 2011, (14): 23-26.
- [4] 林珊, 于法稳, 刘月清. 马克思主义实践观下“双碳”目标的哲学基础、生态蕴意与实践推进 [J]. 重庆社会科学, 2023, (12): 142-155.  
<https://doi.org/10.19631/j.cnki.css.2023.012.010>
- [5] 国家发展改革委、国家能源局关于印发能源发展“十三五”规划的通知 [J]. 煤气与热力, 2017, 37(04): 1-23.  
<https://doi.org/10.13608/j.cnki.1000-4416.2017.04.001>
- [6] YUAN X, MA R, ZUO J, et al. Towards a sustainable society: the status and future of energy performance contracting in China [J/OL]. Journal of cleaner production, 2016, 112: 1608-1618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.057>
- [7] ZHANG D, WANG J, LIN Y, et al. Present situation and future prospect of renewable energy in China [J/OL]. Renewable & sustainable energy reviews, 2017, 76: 865-871.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.023>
- [8] 李宏仲, 付国, 范明天, 等. 非水可再生能源发电量消纳及指标分配的分析与探讨 [J]. 分布式能源, 2019, 4(05): 50-57. <https://doi.org/10.16513/j.2096-2185.DE.191071>
- [9] 曲睿馨. 促进可再生能源消纳的电力市场机制与出清研究 [D]. 东北电力大学, 2022.  
<https://doi.org/10.27008/d.cnki.gdbdc.2022.000369>
- [10] 史戈茵. 电力市场化改革背景下可再生能源电力消纳义务研究 [D]. 西南政法大学, 2023.  
<https://doi.org/10.27422/d.cnki.gxzf.2023.001184>
- [11] 邢耀宏. 弃风弃光储能调度优化方法研究 [D]. 吉林大学, 2021. <https://doi.org/10.27162/d.cnki.gjlin.2021.003947>
- [12] 张同乐. 碳达峰约束下能源投资对碳排放的影响研究 [D]. 齐鲁工业大学, 2023.  
<https://doi.org/10.27278/d.cnki.gsdqc.2023.000790>
- [13] 张玉鸿, 焦杰, 隆竹寒, 等. 我国电力投资变化特征及其驱动因素研究 [J]. 价格理论与实践, 2024(08): 46-52.  
<https://doi.org/10.19851/j.cnki.CN11-1010/F.2024.08.404>
- [14] 陈西. “双碳”背景下发电企业绿色竞争力评价研究 [D]. 陕西科技大学, 2023.  
<https://doi.org/10.27290/d.cnki.gxbqc.2023.000122>
- [15] 张翔场. EPC 模式下光伏发电工程建设投资风险管理研究 [D]. 华北电力大学(北京), 2021.  
<https://doi.org/10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.001034>
- [16] 高银皓. 低碳经济背景下火电企业成本管理的优化路径 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(11): 231-233.  
<https://doi.org/10.16525/j.cnki.14-1362/n.2024.11.076>
- [17] 马骁. 基于低碳经济的火电企业战略绩效评价研究 [D]. 西安理工大学, 2021.  
<https://doi.org/10.27398/d.cnki.gxalu.2021.001841>
- [18] 谭子恺. 不同环境政策下电力供应链可再生能源投资决策研究 [D]. 江南大学, 2024.  
<https://doi.org/10.27169/d.cnki.gwqgu.2024.002053>
- [19] 王羽. M 电力工程生产风险评估研究 [D]. 大连海事大学, 2019. <https://doi.org/10.26989/d.cnki.gdlhu.2019.000030>
- [20] 王啸. 电力企业绿色债券融资效益案例研究 [D]. 北方工业大学, 2024.  
<https://doi.org/10.26926/d.cnki.gbfgu.2024.000493>
- [21] SVENDSMARK E, STRAUS J, CRESPO DEL GRANADO P. Developing hydrogen energy hubs: The role of H2 prices, wind power and infrastructure investments in Northern Norway [J/OL]. Applied energy, 2024, 376: 124130.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124130>
- [22] SONG Y, SHAHZAD U, PARAMATI S R. Impact of energy infrastructure investments on renewable electricity generation in major Asian developing economies [J/OL]. Australian economic papers, 2023, 62(1): 1-23.  
<https://doi.org/10.1111/1467-8454.12282>
- [23] OWUSU-MANU D, PÄRN E A, KUTIN-MENSAH E K, et al. Power Infrastructure Sector Reforms, Power Generation, and Private Investments: Case Study from Ghana's Power Sector [J/OL]. Journal of infrastructure systems, 2018, 24(3).  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)JIS.1943-555X.0000423](https://doi.org/10.1061/(ASCE)JIS.1943-555X.0000423)
- [24] DOMINGUEZ LACASA I, SHUBBAK M H. Drifting towards innovation: The co-evolution of patent networks, policy, and institutions in China's solar photovoltaics industry [J/OL]. Energy research & social science, 2018, 38: 87-101.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.01.012>
- [25] 马慧卿, 杨风, 杨丹丹. 对光伏发电系统效率提升的研究 [J]. 电子世界, 2014(10): 2.  
<https://doi.org/CNKI:SUN:ELEW.0.2014-10-039>
- [26] 赵岩. 政府补贴对光伏产业发展的影响研究 [D]. 中国石油大学(北京), 2019.  
<https://doi.org/10.27643/d.cnki.gsybu.2019.000666>