

天然气燃机联合循环发电系统经济性探讨

李长乐

华电湖北发电有限公司武昌热电分公司 湖北武汉 430061

摘要: 天然气燃机联合循环 (NGCC) 发电系统凭借高效率、低排放以及灵活性的显著特点,已然成为现代电力系统不可或缺的重要组成部分。本文将从投资成本、运行维护费用、燃料价格敏感性以及政策补贴等多个维度,对其经济性展开深入分析,并与煤电和可再生能源的经济效益进行全面对比。研究发现,虽然 NGCC 的初始投资相对较高,但其较低的碳排放水平和快速启停能力,使其在电力市场中具备独特的竞争优势。最后,本文提出一系列优化建议,旨在为能源政策的制定以及投资决策提供有价值的参考。

关键词: 天然气燃机联合循环; 经济性; 投资成本; 运行维护; 燃料价格

随着全球能源需求增长与环保意识提升,寻求高效清洁发电方式成为能源领域关键。天然气燃机联合循环 (NGCC) 发电系统因性能优势在现代电力系统中愈发重要:它综合燃气轮机与蒸汽轮机优势,实现能源梯级利用,大幅提升发电效率;较传统燃煤发电污染物排放更少,环境友好;还能快速响应电力负荷变化,在调峰中发挥重要作用。而发电系统广泛应用需考量经济性,唯有具备经济可行性与竞争力,才能保障可持续发展。因此,本文将全面深入探讨 NGCC 发电系统的经济性,为能源行业决策者、投资者及从业者提供有价值的参考依据。

1 NGCC 发电系统概述

1.1 工作原理与系统构成

NGCC 发电系统融合燃气轮机、蒸汽轮机、余热锅炉及辅助设备实现能源高效转化。其工作流程中,天然气在燃气轮机燃烧室燃烧,产生高温高压燃气推动叶片旋转发电,排出的 500–600℃ 高温烟气进入余热锅炉,将热量传递给水产生蒸汽,蒸汽驱动蒸汽轮机带动发电机二次发电。这种燃气–蒸汽联合循环模式通过能源梯级利用,显著提升发电效率。

1.2 核心技术优势

NGCC 发电系统具备高效率、低排放与高灵活性三大核心优势。在效率层面,先进机组发电效率可达 60% 甚至更高,远超传统蒸汽发电系统;环保方面,作为清洁化石能源,天然气燃烧产生的二氧化硫近乎零排放,氮氧化物与颗粒物排放远低于燃煤电厂,二氧化碳排放量也相对较低;灵活性上,燃气轮机可在几分钟到十几分钟内快速启动并满负荷运行,

蒸汽轮机在系统优化下启动速度也大幅提升,使其成为电力调峰的理想选择。

1.3 全球与国内发展态势

近年来,NGCC 发电系统在全球范围内加速发展。美国、日本、德国等发达国家基于能源效率与环保需求,持续提升其装机容量占比,美国天然气发电中 NGCC 机组占据主导地位。亚洲地区,中国、印度、韩国等国家随着经济发展与清洁能源需求增长,大力推进相关项目建设。在中国,伴随能源结构调整与节能减排政策推进,新建众多大型 NGCC 项目,技术研发与设备国产化取得进展,但与发达国家相比,装机容量占比仍有较大提升空间,未来发展前景广阔。

2 NGCC 发电系统经济性分析

2.1 初始投资成本构成与特点

NGCC 发电系统的初始投资成本涵盖设备采购、建设安装及其他相关费用,整体处于较高水平,单位千瓦投资通常在 4000–6000 元人民币。设备采购成本占比最大,达项目总投资的 50%–60%,其中核心设备燃气轮机因机组容量、技术水平和品牌差异,价格波动显著,30 万千瓦先进燃气轮机采购成本可达数亿元,蒸汽轮机、余热锅炉等辅助设备费用也不容小觑。建设安装成本受项目规模、建设地点及施工条件制约,城市或土地资源紧张区域的土地购置费用,以及复杂地质与施工环境,都会大幅推高成本。此外前期可研、勘察设计费用,运营流动资金,建设融资成本等虽占比相对较小,却也对项目经济性产生影响。不过,随着技术进步与设备国产化推进,投资成本存在下降趋势。

2.2 运行维护成本核心要素

运行维护费用是 NGCC 发电系统持续运营的关键支出，主要由燃料、设备维护、人工及其他费用构成。燃料成本占运行成本 50%–70%，受地缘政治、供需关系、气候变化等因素影响，天然气价格波动剧烈，部分地区供应紧张时价格暴涨，直接增加发电企业成本，且发电效率与燃料成本呈负相关。设备维护成本涉及日常维护、定期检修和零部件更换，燃气轮机和蒸汽轮机等关键设备因运行环境严苛，维护要求高，核心部件易磨损腐蚀，其成本随设备使用年限增长而上升。人工成本包括操作人员、技术人员和管理人员薪资福利，受地区经济与劳动力市场影响。水电费、设备保险费、办公费等其他费用虽占比小，但长期积累也会影响企业经济效益。

2.3 燃料价格敏感性分析

由于燃料成本在 NGCC 发电系统运行成本中占比极高，因此燃料价格的变化对其经济性具有至关重要的影响。通过建立燃料价格敏感性分析模型，可以直观地了解燃料价格波动对发电成本和上网电价的影响程度。以一个典型 NGCC 发电项目为例，假设该项目的发电效率为 55%，天然气价格为每立方米 3 元时，发电成本为每千瓦时 0.5 元。当天然气价格上涨 10%，达到每立方米 3.3 元时，在其他条件不变的情况下，发电成本将上升至每千瓦时 0.53 元左右，上网电价也需要相应提高才能保证发电企业的盈利水平。通过进一步的计算和分析可以发现，天然气价格每变动 1%，发电成本的变动幅度约为 0.6%–0.8%，上网电价的变动幅度约为 0.5%–0.7%。这表明，NGCC 发电系统的上网电价对天然气价格的变化十分敏感，天然气价格的波动将直接影响发电企业的经济效益。

2.4 政策补贴对经济性的影响

许多国家和地区为鼓励清洁能源发展，对 NGCC 发电系统出台电价补贴、税收优惠、投资补贴等政策。这些补贴改善了其经济性，提升了市场竞争力：电价补贴让企业以高于市场均价售电增加收入；税收优惠减轻企业负担、降低运营成本；投资补贴在项目初期提供资金支持、缓解投资压力。但补贴力度和持续性受能源政策、财政状况等因素影响，若调整或取消，可能对企业经济效益产生不利影响。

3 与其他发电方式的经济效益对比

3.1 与煤电的对比

3.1.1 成本对比

从投资成本来看，传统燃煤发电项目的单位千瓦投资成本一般在 3000–4000 元人民币左右，略低于 NGCC 发电项目。但燃煤发电系统的设备维护成本相对较高，尤其是在环保要求日益严格的情况下，为了满足污染物排放标准，燃煤电厂需要投入大量资金用于环保设备的建设和运行维护。从燃料成本来看，煤炭价格虽然也存在波动，但总体上相对稳定，且价格相对较低。在相同发电效率下，燃煤发电的燃料成本一般低于 NGCC 发电。然而，随着环保标准的不断提高，燃煤发电企业需要承担更多的环保成本，如脱硫、脱硝、除尘等设备的运行费用以及因污染物排放而可能面临的罚款等，这些成本的增加在一定程度上抵消了其燃料成本的优势。

3.1.2 环境成本对比

煤电在运行过程中会排放大量的污染物，如 SO_2 、 NO_x 、颗粒物以及 CO_2 等，对环境造成严重的污染。为了应对环境污染问题，社会需要承担巨大的环境治理成本，如大气污染治理、生态修复等费用。这些环境成本虽然并没有直接反映在煤电企业的生产成本中，但从社会整体角度来看，是煤电生产的外部成本。相比之下，NGCC 发电系统由于其低排放的特点，环境成本相对较低。随着全球对环境保护的重视程度不断提高，环境成本在发电方式选择中的权重也日益增加，这使得 NGCC 发电系统在与煤电的竞争中具有一定的优势。

3.1.3 市场竞争力对比

在电力市场中，煤电由于其成本相对较低，在过去一直占据主导地位。然而，随着能源结构调整和环保要求的提高，煤电的市场份额逐渐受到挤压。NGCC 发电系统凭借其高效率、低排放以及灵活性等优势，在电力市场中的竞争力逐渐增强。特别是在一些对电力供应稳定性和环保要求较高的地区，NGCC 发电系统更受青睐。同时随着天然气供应的逐渐充足和价格的合理波动，以及政策对清洁能源的支持，NGCC 发电系统有望在未来的电力市场中占据更大的份额。

3.2 与可再生能源发电的对比

3.2.1 投资与运营成本对比

可再生能源发电主要包括太阳能发电、风力发电等。从

投资成本来看,太阳能光伏发电和风力发电的单位千瓦投资成本近年来虽然有所下降,但仍然相对较高,一般在 5000–8000 元人民币左右,高于 NGCC 发电项目。在运营成本方面,可再生能源发电的燃料成本几乎为零,但设备维护成本相对较高,且由于其发电的间歇性和不稳定性,需要配备储能设备或其他调节手段,这进一步增加了运营成本。相比之下,NGCC 发电系统的运营成本虽然受到天然气价格波动的影响,但在发电稳定性方面具有明显优势。

3.2.2 发电稳定性对比

太阳能光伏发电和风力发电受自然条件影响较大,发电具有间歇性和不稳定性,给电力系统的调度和稳定运行带来很大挑战。NGCC 发电系统根据市场需求,快速调整发电量,实现稳定的电力供应,在电力系统中起到“稳定器”的作用。

3.2.3 互补性分析

尽管 NGCC 发电系统与可再生能源发电在一些方面存在差异,但它们也具有一定的互补性。例如,在可再生能源发电充足时,NGCC 发电系统可以降低发电量,起到调节作用;而在可再生能源发电不足时,NGCC 发电系统可以快速增加发电量,保障电力供应的稳定性。通过将 NGCC 发电系统与可再生能源发电系统进行合理搭配,可以提高整个电力系统的能源利用效率和稳定性,实现能源的可持续发展。

4 优化建议

4.1 技术创新与设备国产化

加大在 NGCC 发电技术研发方面的投入,鼓励科研机构和企业开展产学研合作,突破关键技术瓶颈,提高发电效率和设备可靠性。例如,研发新型的燃气轮机材料,提高燃气轮机的耐高温、高压性能,进一步提高发电效率。同时加快推进设备国产化进程,降低设备采购成本。通过提高国内企业在燃气轮机、蒸汽轮机等关键设备制造方面的技术水平,减少对进口设备的依赖,降低设备采购过程中的中间环节费用,从而有效降低项目的投资成本。

4.2 优化运行管理策略

建立科学运行管理体系,依据天然气价格波动和电力市场需求调整发电计划与设备参数以降成本,如低价气时增发发电量、电力低谷期安排检修维护,避免不必要启停以降低设备磨损和维护成本。同时加强设备实时监测与故障预警,借助先进监测技术及时发现隐患并提前维护,减少突发故障

影响,提升设备可用率与运行效率。

4.3 拓展天然气供应渠道与价格风险管理

积极拓展天然气供应渠道,与多个气源供应商建立长期稳定的合作关系,降低因单一气源供应中断或价格波动带来的风险。例如除了国内常规天然气供应外,还可以加大对液化天然气(LNG)的进口力度,以及参与页岩气等非常规天然气的开发利用。同时利用金融工具进行天然气价格风险管理,如通过天然气期货、期权等衍生品市场,锁定一定时期的天然气采购价格,降低价格波动对发电成本的影响。

4.4 政策支持与长效机制建立

政府应继续加大对 NGCC 发电系统的政策支持力度并保持政策的稳定性和连续性。在电价补贴方面根据天然气价格波动和发电企业实际成本合理调整补贴标准以确保企业获得合理收益;在税收优惠政策方面进一步完善相关政策,如加大对设备研发和技术改造等的税收减免力度;同时建立健全长效机制鼓励企业在节能减排和技术创新等方面持续投入以推动 NGCC 发电行业可持续发展。

5 结论

综上,天然气燃机联合循环(NGCC)发电系统在现代电力系统中地位重要且发展前景广阔。虽初始投资成本相对较高,运行成本受天然气价格影响较大,但凭借高效率、低排放和灵活性优势,在与煤电及可再生能源发电对比中具独特竞争力。通过技术创新与国产化、优化运行管理、拓展气源及价格管控、政策支持等措施,其经济性有望进一步提升,这不仅助力能源结构优化、节能减排,为政策制定和投资决策提供依据,推动能源行业可持续发展,更在未来能源格局中发挥重要作用,为保障能源安全、推动绿色发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 席亚宾,李卫华,王栋,等.多轴联合循环机组 GE 燃机进气加热控制方法研究[J].自动化与仪器仪表,2024,(03):135–139.
- [2] 陆念慈.面向灵活运行的燃气–蒸汽联合循环机组控制及能量管理方法研究[D].东南大学,2023.
- [3] 时锦程.110MWF 级燃机联合循环机组建模及运行优化仿真研究[D].华北电力大学,2023.
- [4] 曾瑜.S109FA 联合循环机组的变工况性能研究[D].华北电力大学(北京),2023.