

引文: 武艺. 新型能源体系目标下中国气电发展趋势及应对策略[J]. 油气储运, 2025, 44(2): 135–144.

WU Yi. Development trends and countermeasures for China's gas-fired power sector in the context of building new energy systems[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2025, 44(2): 135–144.

新型能源体系目标下中国气电发展趋势及应对策略

武艺

中国石油天然气销售公司

摘要: 【目的】天然气发电(简称“气电”)具有启停灵活、爬坡速度快、调节范围广、碳排放水平低等特点,是电力系统调峰调频最重要的优质电源之一。但在构建新型能源体系目标下,气电业务高质量发展面临诸多问题与挑战。【方法】通过对中国气电产业发展现状进行调研与统计分析,发现气电是构建新型能源体系目标中不可替代的调节性、支撑性电源,但气电与新能源协同发展存在瓶颈:风能、太阳能等新能源发电具有间歇性、逆调峰性、波动性、随机性等特点,在保供用电高峰时段,高度依赖燃气发电机组进行深度调峰,为核心发电设备的安全性、环保性、经济性带来较大挑战。此外,气电产业自身也存在明显短板,包括能源保供、经济效益、生产运行调度、发展路径尚需优化以及对期权特性认识不足等。【结果】为稳步增强气电产业供应能力,提出高质量发展气电产业的建议:①坚持气电与新能源协同发展,完善气电顶层设计,出台政策引导实施细则加快落地;②天然气供应企业与燃气发电企业共同合作开发“气电+新能源”项目,签订中长期购销协议,实现气电业务的可持续发展;③加大电力与天然气市场化改革力度,探索建立气电联动机制,确保民生供气、供电平稳畅通。【结论】气电产业发展的驱动因素已由气源驱动转变为环保性政策、电力供需形势、气源保障、经济性等多因素的共同作用,今后应当发挥全产业链发展优势,加强顶层设计、注重统筹兼顾、持续深度融合,为构建新型能源体系助力。(图 5, 参 20)

关键词: 新型能源体系; 天然气发电; 新能源; 保供; 新质生产力; 高质量发展

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2025)02-0135-10

DOI: [10.6047/j.issn.1000-8241.2025.02.002](https://doi.org/10.6047/j.issn.1000-8241.2025.02.002)

Development trends and countermeasures for China's gas-fired power sector in the context of building new energy systems

WU Yi

Petrochina Natural Gas Marketing Company

Abstract: [Objective] Natural gas power generation (hereinafter referred to as “gas-fired power”) is characterized by its flexible start-stop capabilities, high ramp rates, wide regulation ranges, and low carbon emissions. It is regarded as one of the most important high-quality power sources for peak shaving and frequency control in power systems. However, in the effort to establish new energy systems, the gas-fired power sector faces various challenges and issues that impede its path toward achieving high-quality development. [Methods] By investigating and statistically analyzing the current status of China's gas-fired power industry, it was found that gas-fired power serves as an irreplaceable source of regulatory and supportive energy necessary for achieving the goal of establishing new energy systems. However, several bottlenecks were identified in the coordinated development of gas-fired power alongside new energy sources. Given the characteristics of intermittency, inverse peak shaving, fluctuations, and randomness associated with power generation from renewable sources, such as wind and solar energy, there is a heavy reliance on natural gas generator sets to enable deep peak shaving for supply assurance during peak periods. This dependency poses significant challenges to the safety, environmental protection, and economic efficiency of essential power generation equipment. Additionally, this study underscored notable shortcomings within the gas-fired power industry, particularly concerning energy supply assurance, economic efficiency, and production scheduling. There also remains a pressing need to optimize the development pathway and deepen the understanding of option features. [Results] The following suggestions, focused on

high-quality development, are proposed to steadily enhance the supply capacity of the gas-fired power industry. (1) Adhere to the coordinated development of gas-fired power and new energy sources, improve the top-level design of gas-fired power, and introduce policies to guide the implementation of detailed rules. (2) Encourage collaboration between natural gas supply enterprises and natural gas power generation companies to jointly develop “gas-fired power + new energy” projects through medium- and long-term sales agreements, ensuring the sustainable development of gas-fired power supply. (3) Intensify the market-oriented reform of power and natural gas supply and explore the establishment of a gas-electricity linkage mechanism, to ensure a stable and smooth gas and power supply for people’s livelihood.

[Conclusion] The driving factors behind the development of the gas-fired power industry have shifted from primarily relying on gas sources to a combination of multiple considerations, including environmental protection policies, electricity supply and demand dynamics, gas source reliability, and economic efficiency. It is recommended to strengthen the top-level design, emphasize comprehensive planning that takes all factors into account, and maintain a focus on deep integration, to maximize the developmental advantages of the entire industrial chain, ultimately boosting the establishment of new energy systems. (5 Figures, 20 References)

Key words: new energy system, natural gas power generation, new energy source, supply assurance, new quality productive forces, high-quality development

党的二十大与 2024 年中央经济工作会议先后提出“加快规划建设新型能源体系”及“加快建设新型能源体系”，为新时代能源发展指明了前进方向。在“双碳”目标的要求下，未来新型能源系统将是一种以清洁、低碳、安全、高效为主要特征的能源系统，以风能、太阳能、生物质能、地热能、核能等零碳与低碳能源为主，以传统化石能源为辅，并依靠先进科技与工业体系打造的能源系统。建成新型能源体系是中国能源转型的长远目标，是适应全球能源体系转型的战略举措。对于推动中国今后一个时期能源领域高质量发展，尤其是加快形成天然气发电（简称“气电”）领域新质生产力具有重要意义。与其他化石燃料发电相比，气电具有高效、清洁、环保等特点，将成为“构建新型电力系统的关键支撑电源”。然而，当前气电产业存在诸多难题，其主要包括：天然气资源保障性、相关基础设施适应性较差，气电在新型能源体系中的定位尚不明晰，过剩的 LNG 接收站气化能力有待提升，气电业务现行交易市场机制不完善，气电燃料成本难疏导，发电成本与供电价格倒挂等。为此，首先从政策推动、低碳环保、灵活运行、调配高效以及支撑新能源发展等方面，探讨气电业务发展在构建新型能源体系中的作用。然后，从发电装机布局、气电运行情况、气电政策支持等方面，全面剖析中国气电发展现状及趋势。最后，从构建新型能源体系所面临的问题、气电业务自身存在的瓶颈、政策支持、发展路径以及业务期权价值特性等多个方面深度挖掘分析，以期为推动中国气电产业健康、稳定及高质量发展提供参考。

1 气电在构建新型能源体系中的作用

构建新型能源体系最重要的特征是能源更加安全化、低碳化、清洁化、电气化及资源的高效配置利用，气电产业在构建新型能源体系过程中具有核心作用。

1.1 气电发展政策推动强劲有力

国家发改委印发的《天然气利用管理办法》（2024）第 21 号令^[1]（以下简称《办法》）明确提出，天然气是优质高效、绿色清洁的低碳能源。天然气灵活高效的特性搭配新能源协同发展，可为加快规划建设新型能源体系、实现“双碳”目标提供有力支撑。《办法》提出，应以“规范天然气利用，优化消费结构，提高利用效率，促进节约使用，保障能源安全”为目标，推动天然气在新型能源体系建设中发挥更大作用，其中的核心思路是天然气的利用要与可再生能源融合发展。同时，《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”可再生能源规划》等多项政策性文件也分别提出，应因地制宜建设天然气调峰电站，推动气电与风、光等可再生能源融合发展，增强电源协调优化运行与电网优化调度能力。鼓励因地制宜发展天然气分布式能源，持续推进化石能源与可再生能源多能互补、协同发展^[2]。

1.2 气电低碳环保优势突出

天然气作为一种清洁能源，其燃烧产生的废气主要成分是 CO₂、水，与煤炭、石油等其他传统能源相比，天然气的污染物排放较少。因此，燃气电厂在发电过程中所体现的优势在于其环保性、低污染性。将燃气电厂与超低排放燃煤电厂污染物排放进行对比表明，

燃气电厂排放的 SO_2 、 NO_x 等污染物浓度远低于燃煤电厂^[3]。目前，超低排放燃煤电厂 SO_2 、 NO_x 排放标准分别为 35 mg/m^3 、 50 mg/m^3 ，而燃气电厂 SO_2 、 NO_x 排放标准分别仅为 20 mg/m^3 、 30 mg/m^3 。当前，欧美国家可将燃气电厂的 NO_2 排放浓度控制在 $6 \sim 10 \text{ mg/m}^3$ ，中国部分燃气电厂正在研发新型低氮燃烧器或实施脱硝改造工艺，可将 NO_2 排放浓度降至 15 mg/m^3 以下^[3]。

1.3 气电运行灵活资源调配高效

燃气发电机组的优势不仅在于其环保性、低碳性，还在于其启停灵活、响应速度快、调节范围广、可靠性高等特点。燃气轮机短时间内的迅速启动，可为紧急场合提供及时、必要、稳定的电力供应^[4]。燃气发电机组采用透平双层缸结构，机组缸壁薄，内外缸温差小，能满足快速启动、迅速变负荷等要求。提高燃气轮机发电能力在总装机容量中的占比，将会极大改善电网的运行状况，可为电网提供更加灵活的备用电源，增强调峰灵活性。据不完全统计，天然气联合循环发电机组的可靠性超过 99%、运行效率可达 85%~95%，易于快速启动^[3]。这不仅有利于改善电网的安全性，也为冬季电网调峰、提高新能源消纳比例等发挥重要作用^[4]。

1.4 气电为新能源发展提供重要支撑

非化石能源将成为未来新型能源体系供给主体之一，为能源加快清洁低碳转型、促进新型能源体系建设做出重要贡献^[5]。气电则可用于冬夏峰谷互济、南北峰谷互调，尤其是在西部地区可与风光水能互补，推动新能源产业进程加速发展。从长远来看，燃气发电机组还将进一步优化燃烧技术，减少污染物排放，提高能源利用效率。“气电+CCUS”配合生物质天然气、城镇燃气管网掺氢、燃气轮机掺氢等新质生产力技术，将承担中国能源中长期供应安全与应急调峰保障，为实现“双碳”目标提供重要支撑^[6]。

2 中国气电发展现状及趋势

2.1 装机及布局

根据中国石油规划总院发布的《中国油气与新能源市场发展报告(2024年)》^[6]，近年来中国天然气发电处于重要发展机遇期，装机规模呈逐年稳定上升趋势。根据 2006—2023 年中国气电装机容量及占全国总装机容量比例^[7](图 1)可见，截至 2023 年，中国气电行业总装机规模约 $12\,600 \times 10^4 \text{ kW}$ ，近 10 年年均增速达 11%，

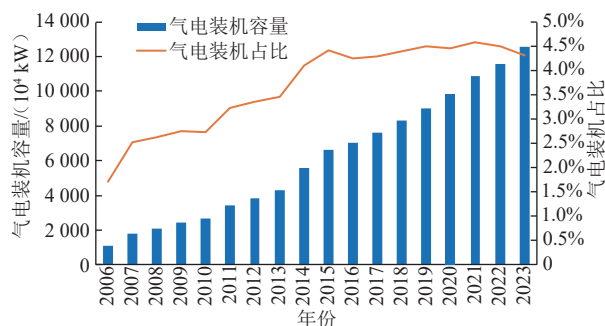


图 1 2006—2023 年中国气电装机容量及占全国总装机容量比例统计图

Fig. 1 Statistical chart of installed capacities of gas-fired power and corresponding proportions in the total installed capacities of China from 2006 to 2023

但占全国总装机容量比例较低(约 4.3%)，远低于世界平均水平(约 25%)、发达国家平均水平(约 35%)。

根据 2023 年中国部分省(市)气电装机容量统计结果(图 2)可见，中国气电产业主要分布在经济发展好、人口密集的长三角、珠三角及京津地区^[6]。其中，广东、江苏、浙江、北京、上海等地区气电装机较多，约占全国装机容量的 80%。中国经济最发达的广东、江苏、浙江 3 个省，其气电装机总量约 $7\,400 \times 10^4 \text{ kW}$ ，占全国气电装机容量的近 60%。广东省经济体量大、用电增长快，气电装机容量遥遥领先，约为江苏省气电装机容量的 2 倍，新增电源也远多于江浙地区。根据各地用能结构不同，广东、浙江、安徽等省份天然气调峰发电机组占比较多，达 70%~80%；京津地区由于冬季供暖需求大，全部采用热电联产机组；江苏省工业供热负荷较多，70% 以上也采用热电联产机组。可见，气电布局与各地区经济发展水平、电力需求增长、环保压力、碳排放政策等密切相关^[7]。

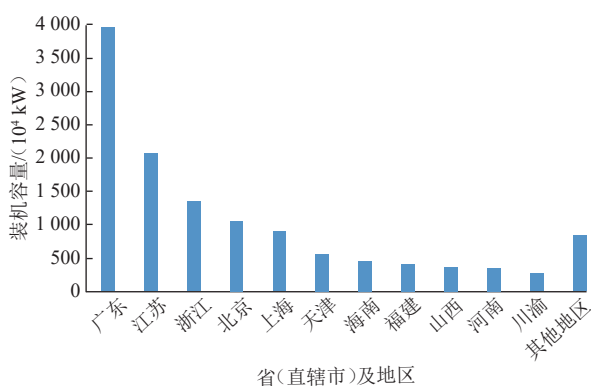


图 2 2023 年中国部分省(市)气电装机容量统计图

Fig. 2 Statistical chart of gas-fired power installed capacities in selected provinces (municipalities) of China in 2023

2.2 气电运行情况

近 10 年来，随着气电装机容量增加，中国天然气发

电量保持稳定增长^[8]。截至 2023 年,天然气发电量已达 $3\,016 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 年均增速约 10.2%, 发电利用小时数保持在 2 500~3 000 h。目前,中国天然气发电量占总发电量的比例由 2.1% 小幅升至 3.2%, 但仍远低于世界平均水平(23%), 也低于美国(约 37%)、欧盟(约 27%)、日本(约 36.8%)、韩国(约 27%)、德国(约 13%) 等经济发达国家及地区。近两年来,随着风电、光伏快速发展,煤电供应较充裕,气价相对较高,燃气轮机发电平均利用小时数降幅明显在 2 500 h 以下,发电量波动增大,2022 年燃气机组发电量甚至首次出现了负增长^[8]。

2.3 气电产业政府层面支持力度

当前,中国经济回升向好、长期向好的基本趋势未变,将带动包括天然气发电在内的清洁能源需求刚性增长。在构建新型能源体系及“先立后破”政策导向下,气电低碳属性更加凸显,其应用领域、市场空间也将进一步打开。

2.3.1 国家层面

国家发改委、国家能源局于 2021 年 7 月发布《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模》(发改运行(2021)1 138 号)^[9], 提到促进可再生能源发展的关键在于消纳,而保障可再生能源消纳的关键在于电网接入、调峰及储能,支持气电作为构建新型电力系统的重要调节电源。国务院的《2030 年前碳达峰行动方案》、国家发改委的《“十四五”现代能源体系规划》、国家发改委与国家能源局的《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》(发改能源(2022)206 号)^[9]等文件也提出,要因地制宜建设天然气“双调峰”电站,既满足电力运行调峰需求又对天然气消费季节差具有调节作用,推动气电与可再生能源融合发展、联合运行。《办法》也明确提出,优先发展热电联产、调峰气电及分布式类项目。其中,天然气调峰电站项目要求气源落实且具有经济可持续性;天然气分布式能源项目要求综合能源利用效率达到 70% 以上;带补燃的太阳能热发电也列为优先发展类项目。

2.3.2 地方政府层面

在《“十四五”能源发展规划》中,提出中国多个省(市)要因地制宜发展天然气发电^[10]。其中,调峰气电需求大的东南沿海、西部气源地积极性较高,也是未来气电布局发展的重要地区。根据中国部分省(市)“十四·五”规划气电装机容量目标(图 3)可见,广东省制定了全国最高的气电发展目标,风光、气电成为该省“十

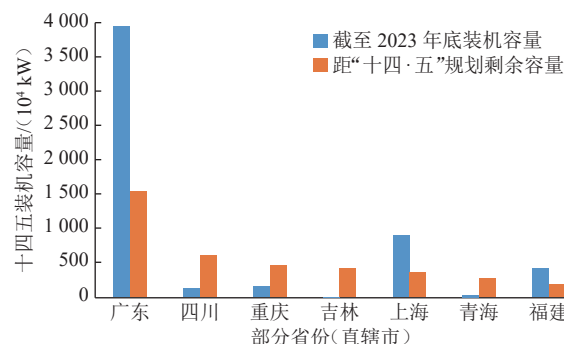


图 3 中国部分省(市)“十四·五”规划气电装机容量目标图
Fig. 3 Target diagram of gas-fired power installed capacities in selected provinces (municipalities) of China during the “14th five-year plan” period

四·五”期间新增电源项目的主力军。预计“十四·五”期间,广东省新增天然气发电装机容量约 $3\,600 \times 10^4 \text{ kW}$, 其总量有望超过 $6\,000 \times 10^4 \text{ kW}$, 占全国气电装机总量的 40% 以上。此外,四川、重庆、吉林、上海等省(市)也规划了较多的燃气发电机组项目。如四川省将在用电负荷中心、气源地附近布局一批燃气发电项目,2025 年,该省气电装机容量将达到 $2\,300 \times 10^4 \text{ kW}$ 左右;重庆市结合气源供应、供电保障、冷热负荷及调峰需求,逐步布局天然气发电项目,对指标落后、服役期满的煤电机组转为燃气发电机组的可行性进行研究,预测将新增气电装机容量约 $500 \times 10^4 \text{ kW}$ 。从长远角度分析,气电是构建新型能源体系目标中不可替代的调节性、支撑性电源,对于保障电力供需平衡、天然气稳定供应发挥着重要作用。预计“十五·五”期间,中国将迎来能源低碳转型更为关键的阶段,气电作为天然气消费的重要领域也将迎来更长周期的发展空间。

3 面临的主要问题及挑战

3.1 构建新型能源体系所面临的问题

新能源在天然气领域应用前景极为广阔,全球对环境保护、气候变化日益重视,中国能源保供也需要安全、可靠、可持续性的优质资源,由此带动了新能源产业项目下能源使用需求的高速增长。然而,新能源与天然气在能源保供方面的互相支持作用尚需增强。新能源发电在调峰范围、爬坡、启停速度上与气电均存在差异。在气电利用的高峰时段,仍高度依赖燃气发电机组进行深度调峰,对机组的安全性、环保性、经济性带来了一定负面影响。新能源发电在实际生产运行过程中也面临风险与挑战,与其他传统化石能源相比

更具间歇性、逆调峰性、波动性、随机性等特点^[11-14]。

3.1.1 间歇性

新能源在当前电力系统中所占比例持续增大,在采暖用气高峰期特别是强降温、雨雪寒潮等极端天气条件下,新能源出力会出现明显下滑。光伏、风电等新能源出力的不确定性与负荷波动相叠加,使得电力系统安全运行风险增大。如2019年8月英国伦敦市、2020年8月美国加利福尼亚州,均因极端天气造成新

能源渗透下的电网发生大规模脱网,进而导致重大停电事故^[15]。此时的解决措施仍是利用燃气发电厂顶峰发电,为民生用气提供可靠的能源供给,这将会导致天然气产业链供需矛盾陡然增大。在中国,冬季天然气供应也易出现“气荒”,以中国东部某发电大省为例,在2023年极端寒潮期间,发电用气量快速增长,3天增长了 $700 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图4),其与城市燃气居民采暖用气的增长叠加,给天然气管网平稳运行带来严峻挑战^[12]。

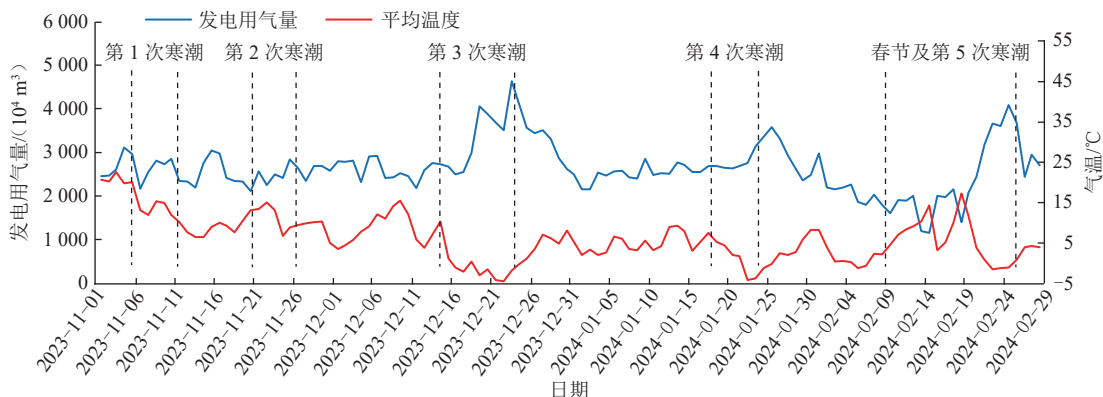


图4 2023年11月—2024年2月中国东部某省发电用气随气温变化图

Fig. 4 Variations in gas supply for power generation with temperature in a province in Eastern China from November 2023 to February 2024

3.1.2 逆调峰性

极热无风、极昼无光等可以充分反映新能源发电所带来的不确定性风险。对于风力发电而言,中国各行各业在不同时段用电会出现高峰期与低谷期,一般情况下,白天用电需求大,而夜晚用电需求小。但部分地区却是清晨风力小、风速慢,晚上风力大、风速快,深夜负荷最低时段往往是风力发电出力的高峰时刻,与用电需求的规律相反。对于光伏发电而言,其发电的最大值与负荷中心的早高峰时段相近,但对晚高峰用电贡献却极少。为此,新能源发电在接入电网后,面临极端环境条件,需要配备灵活性强的电源与天然气调峰电厂以保障气网、电网运行的平稳有序。

3.1.3 波动性与随机性

新能源出力存在波动性、随机性,考虑到经济性与新能源消纳因素,各地方政府将水电、煤电作为基荷电源,当新能源发电出力时,地方政府易优先消纳新能源。由此,燃气发电厂被迫承担新能源所带来的波动性、随机性风险,同时承担水电、煤电及电网异常时的应急电源供应,使燃气电厂最终成为平抑各类能源波动的“调节器”与“稳压器”。以中国东部某省2024年春节期间(2月9日、2月17日)气电-光伏-风电分时出力情况(图5)为例,此时全网电力负荷已降至全年最低水平,为保证电网平稳运行且尽可能保障新能源消纳,提前安排全省燃煤机组按照最低开机负

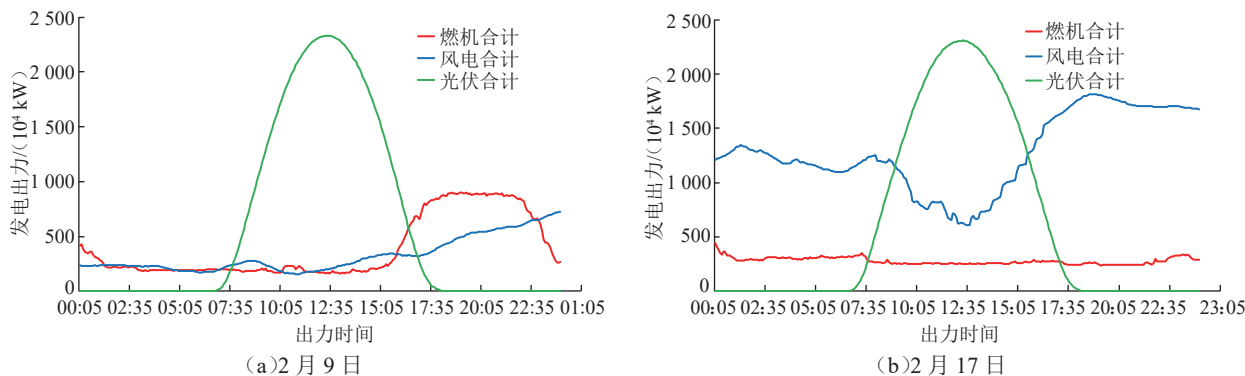


图5 2024年春节期间中国东部某省气电-光伏-风电分时出力曲线

Fig. 5 Time-varying outputs of gas-fired power, PV power, and wind power in a province in Eastern China during the Spring Festival in 2024

荷方式运行。中午光伏发电较大,导致电网在晚间高峰期调节能力不足,需要灵活性高的燃气发电机组支撑,而顶峰需求很大程度上需依据风电出力情况而定,恰恰风电出力存在随机性、波动性,导致燃气发电机组顶峰运行工况也存在较大的波动^[13]。该省2024年2月9日晚峰风电出力仅约 500×10^4 kW,晚峰燃气发电机组最大顶峰出力达 902×10^4 kW,临时顶峰天然气用量约 750×10^4 m³。2月17日晚峰风电出力达到约 1800×10^4 kW,晚峰燃气发电机组无顶峰需求。风电、光伏是低碳电源,但因其出力波动、随机特性,无法成为可靠的支撑性电源。气电适合为风电、光伏调峰,其稳定的独立顶峰、长周期调节能力是重要的支撑性电源。

3.2 气电产业自身存在的瓶颈

当前,中国天然气正处于快速发展起步阶段。天然气发电是提升天然气消费峰值的重要支撑,也是天然气达峰后仍维持一定消费规模的关键^[14]。然而,类似于其他传统能源体系,天然气发电产业存在经济学理论“不可能三角”现象,即同时实现能源保供、经济效益以及清洁低碳3个目标难度较大。

3.2.1 能源保供方面

燃气发电厂的定位是为天然气产业链保供平稳运行及应急调峰提供必要支持,如西气东输一线运行初期,沿线布局了大量的燃气发电厂,为天然气消费侧的季节、月度不均衡性调峰起到了积极作用。随着电力产业链保供矛盾逐渐凸显,伴随新能源的迅猛发展,燃气发电厂已从为天然气产业链调峰转变为天然气产业链电网调峰,双网同频叠加给各自产业链带来的矛盾进一步加剧。中国天然气消费、电力需求的季节性特征尤为明显,冬、夏两季用气量大,同时用电也处于高峰时段。春、秋两季用气量偏小,发电、供气总体有保障但电力负荷相对较低,这种季节性的不平衡导致部分地区、部分时段气电供需存在矛盾,经常出现“有气时无电力需求,但需要发电时又缺气”的现象。因此,电力稳定供应是全力确保民生迎峰度夏、冬季保供的重中之重。

3.2.2 经济效益方面

在当前运营机制环境下,与煤电相比,气电的综合上网电价不具备优势。气电上网电价尚未完全体现其灵活、低碳的多元价值,稳定的收益预期保障难度不断增大。气电在价格竞争力方面明显低于煤电,较煤电的上网电价高出0.140~0.553元/(kW·h)^[7]。同时,中国燃气发电技术起步晚,导致技术效率低、

维修成本高。燃气轮机是天然气发电的核心设备之一,在重型燃气轮机设计、制造及试验等方面的尖端技术基本由国外垄断,重要组件仍需依赖国外进口,这无疑增加了中国燃气发电设备物资采购成本。燃气发电设备维检修高度依赖设备供应商,维修周期及费用难以控制,导致中国燃气发电企业经济效益不佳,运营成本陡增,生产经营面临巨大挑战。此外,燃气发电机组所需天然气燃料对外依存度高,预估中国进口天然气采购量占国内天然气商品量的40%左右。进口天然气成本价格受国际油气价格波动的影响而变化较大,也导致燃气发电机组燃料采购成本变化大,高气价给燃气电厂造成较大的生产经营压力。总之,气电固定成本低、变动成本高的特性,导致气电综合成本远高于煤电、核电及新能源发电,是制约天然气发电健康有序发展的关键因素^[15]。

3.2.3 清洁低碳方面

与煤电相比,气电在灵活性、环保性、清洁性等方面具有明显优势。燃气发电机组的碳排放水平仅为煤电机组的50%,这使得气电在实现“双碳”目标的过程中,具有重要的过渡支持性作用。气电减排优势显著,有助于中国积极履行碳减排的承诺。气电环保优势明显,是“打赢蓝天保卫战”的重要抓手。虽然天然气相对于煤炭、石油等传统化石能源排放的污染物少,但仍会排放出一定量的CO₂。未来随着新能源发展驶入快车道,结合“双碳”目标协同并进,未来气电发展也面临碳排放约束的压力。

3.2.4 生产运行调度方面

当前,基础设施运营企业对生产运行计划性要求日趋严苛,需要天然气供应企业在保供期间结合合同规定每天设置日均运行上限。以中国东南沿海某省为例,该地区电力交易运行主要体现在电力现货市场。由于燃气电厂用户进行电力现货市场报价时无法控制开机数量与发电量,前一晚的交易结果发布后才能获悉次日的实际用气需求,造成申报气量与实际用气量偏差较大。同时,每天气量使用时间(8:00—20:00)与电力现货交易时间(0:00—24:00)不匹配,造成当天气量发生变更,无法保证辖区内发电用户所用气量的变更需求。

可见,气电产业可能无法在能源保供、经济效益等多方面做到统筹兼顾或维持绝对平衡,但可以其清洁低碳特性为前提,以能源安全保供为首要任务,不断提出降本增效新举措,实现气电产业链经济效益的最大化。

3.2.5 对气电业务的期权特性认识不足

气电业务具有启停灵活、随用随供随启机、响应速度快、调节范围广、可靠性高等特点，其为维持整个电力系统平衡进行的调峰实质上是一种期权。这对于用电企业、电力系统而言，更多体现为选择权价值。然而，在当前的气电业务发展过程中，期权特征的特性并未在业内得到足够的重视及充分运用，选择权价值也未真正被赋值。针对当前的情况，新能源出力的不稳定性、波动性将对电力系统灵活调节能力提出更高要求。从远期来看，风电、光伏等新能源逐渐将转为国内供电主体，气电在调峰运行、消纳新能源等方面的作用将日渐凸显。任何调峰的手段都是一种期权的概念，气电“灵敏响应”的市场定价则体现为一种期权价值。发电企业除了满足基础负荷外，剩下的调峰负荷应有一定的溢价。这既是一种期权费，也是一种保险费。气电企业买卖期权可以用于对冲风险，同时可减少由于市场不确定、天然气资源量紧缺及资源价格大幅上涨所带来的损失，还可以在一定程度上保护气电企业免受市场价格波动的影响，进一步增加投资组合的稳定性。拥有期权的气电企业其经营将具有高度的灵活性，持有者可以根据市场情况做出决策，选择行使权利或放弃权利。这种灵活性使气电企业在保障能源稳定供应及稳定市场价格方面起到重要作用。期权赋予气电企业在未来某一特定时间以特定价格买入或卖出标的商品的权利（而非义务），这种特性使气电企业可以根据市场预期灵活调整策略。

3.3 靶向政策支持及发展路径尚需优化

根据《办法》相关规定，天然气热电联产项目、天然气调峰电站项目、天然气分布式能源项目已纳入天然气利用优先发展类项目。然而，从各级政府层面、天然气供应企业、燃气发电企业及基础设施运营企业等全产业链、全过程角度分析发现，各方对气电的发展定位认识尚不统一，对天然气发电发展蓝图规划存在差异，甚至对到底是否高速发展气电产业存在质疑，这在一定程度上制约了气电产业未来的发展空间。燃气发电企业作为天然气利用的可中断客户之一，其用气需求若无法全额保障，将严重影响燃气发电企业对下游用电用户的合同履约与供电承诺，对燃气发电企业经营效益与长远发展产生影响，具体体现在以下3个方面。

1) 国家相继发布的《“十四五”现代能源体系规划》《办法》等明确支持发展天然气调峰电站，并提出进一

步完善上网电价市场化改革等指导政策及意见，但尚缺少对气源保障、用气价格、调峰价效、两部制电价、气电联合运行等更为具体的实施细则。政府与企业之间也还需不断加强沟通协作，推动国家层面出台更为扎实有效的气电帮扶政策，并推动其落实落地。中国气电能够达到目前约 $12\,600 \times 10^4 \text{ kW}$ 的装机容量，国家、地方政府起到了重要的推动、支持及引领作用。但随着气电产业规模逐步扩大，各级政府财政支持能力有限，气电价格即使尝试建立联动机制，气电发展的利润空间、利用小时数均呈现逐渐收窄的态势。

2) 在各级地方政府层面，电力保供已成为政治责任使命担当，地方政府及电网通过燃气发电企业将顶峰发电与保供责任向天然气供应企业转移。按照国家发改委《天然气管网设施运行调度与应急保供管理办法（试行）》（发改运行规〔2022〕443号）要求，为完成构建上一年度供气峰值的15%销售侧可中断能力，通过气价折让等方式锁定了一批气电用户的可中断能力。近年来，国家高度重视电力保供，将气电的燃料气供应纳入保供范围，但这与天然气产业链调峰需求相矛盾，实操层面执行难度极大。如2023年冬季的寒潮雨雪天气期间，天然气产业链供需维持紧平衡，同时近10个省级电网的电力供需形势偏紧。部分省级电网启动需求侧响应，地方政府及电网强行调动燃气发电企业临时顶峰，同时通过国家相关部委协调增加燃气发电厂燃料气供应，要求电厂用气不可压减，保障电力供应安全，给天然气产业链运行带来了安全风险。

3) 在天然气供应与燃气发电企业层面，气电在电力领域核心功能价值尚未广泛论证，造成部分地方政府对气电产业发展路径的意见不一致，发展思路尚不清晰，政策引导也不明确。电力行业对气电的印象仍停留在天然气价格高昂、气量供给整体不足的阶段，认为气电调峰项目与抽水蓄能、电化学储能等竞争优势不明显。为应对较高的天然气原料气供应成本，多地政府也采取了“两部制”电价、直接给予财政补贴等方式来加以疏导。但随着燃机装机容量不断提升，价格疏导的压力随之扩大，一定程度上限制了天然气发电规模的增量扩销。一旦出现天然气价格高涨，政府补贴无法覆盖气电超额成本，电力企业经营将会出现困难。部分尚未建设电力辅助服务市场的省份，不具有“两部制”电价，燃气发电企业无法通过容量费、调峰调频等服务手段实现气电调峰价值^[16]。

3.4 基础设施运营企业面临的风险

近年来,中国天然气行业迅猛发展,天然气消费持续快速增长,其在中国能源体系中的重要性地位显著提高。同时,中国天然气基础设施加快建设,储气能力显著提升,基础设施可利用能力趋向更加富余^[17]。为顺应中国天然气市场化改革进程,促进天然气市场公平开放,有序提升基础设施使用效率,国内主要基础设施运营企业陆续推出多种天然气市场化产品,如管网通、峰谷通、一站通及气液通等创新产品,还包括LNG仓储、LNG站内交易等增值服务。中国主要基础设施运营企业推出的创新产品覆盖了国内LNG、管道气市场化资源交易内容,对推进国内天然气市场化进程做出了积极贡献。然而,仍需关注以下可能面临的风险:①当基础设施运营企业推出的管输容量分配市场化机制与国家天然气保供步调出现不一致的情况时,需警惕对天然气保供、新能源市场有序消纳所产生的直接影响;②当前气电与新能源融合发展的合理有效路径尚待进一步探索,过快地追求天然气市场化公平开放,易对气电与新能源发展进程造成失衡风险;③燃料成本偏高极易受国际油气价格波动影响,气电市场的经济性、竞争力及可持续发展将面临风险挑战;④气电行业未来面临的碳排放约束压力尚未完全解决,业界对于是否有必要、高速发展气电产业的争论还未停止,尚无统一结论;⑤中国天然气对外依存度较高,价格波动日益剧烈、市场供需环境变化多端及气电保供调峰压力的持续上升,均会对气电产业投资者、能源供应决策者的信心造成影响^[18]。

4 发展对策

气电在新型电力系统中发挥着重要作用,对于推动能源生产与消费革命、构建清洁低碳的能源体系具有重要意义^[19],结合气电产业发展面临的问题与挑战,提出以下发展建议。

4.1 突出顶层设计

建议国家层面继续完善气电与新能源发展的顶层设计,推动相应政策及实施细则的落实落地。进一步明晰气电发展远期规划、业务蓝图、发展定位及发展路径,以确保气电在新型电力系统中的重要作用得以充分发挥^[17]。加大电力与天然气市场化的改革力度,更加体现清洁低碳以及调峰、顶峰、调频、备用等多重价值,提

高燃气发电企业经济效益,健全电碳市场交易机制,优化气电协同市场机制,深化气电上网电价市场化改革,与天然气供应、燃气发电企业建立定期沟通协调机制,指导相关企业参与气电发展规划编制^[18]。探索新能源就近供电、聚合交易、就地消纳的“绿电聚合供应”模式,确保新能源高质量发展与高水平消纳,为气电业务提供更多的市场需求与发展空间。

4.2 优化执行操作

全面服务国家战略,深度融入新型能源体系建设,加快由单一天然气产业链布局向多能融合互促转变。天然气供应企业应与燃气发电企业积极合作,开发“气电+新能源”项目,加快形成气电与新能源产业新质生产力,推动风能、光能、气能、氢能、地热、生物质能、储能等多能综合供应项目开发落地。选择在气源有保障、气源可直供、气价可承受、市场化运作程度高、调峰需求大、机组效率高、电网接入条件好、燃气发电企业合作意愿强的地区,发展一批热电联产及调峰气电项目,并积极控股参股气电与新能源项目^[19]。优化天然气供应企业与燃气发电企业之间的长期、年度天然气购销合同。根据天然气发电用气特点,优化调峰电厂、热电联产、分布式综合能源的日调峰系数,加强迎峰度夏、冬季保供期间气电供应保障能力,确保紧急关头气源、电能均“保得上”“发得满”“供得足”。积极向国家及地方政府申请发电用气价格补贴或优惠政策,推进燃气发电产业快速发展,以此提升行业的竞争力。建议天然气供应企业与燃气发电企业探索建立气电联动机制、气电运行协调机制,并积极参与电力市场现货交易,充分发挥气电“灵敏响应”市场定价的作用,充分利用套期保值、期权期货等金融衍生工具,平抑市场调峰导致资源价格波动的风险,共同优化气电计划、调度报批流程,并统筹调节冬夏供用气、电结构,全面规划气电各自领域的调峰需求,从而实现气电产业的扩销增效与可持续发展^[20]。

4.3 保障设施平稳

天然气供应企业、燃气发电企业应与基础设施运营企业加强衔接,有序提升天然气顶峰应急运行能力,提前锁定LNG接收站窗口、管道管容,保障资源供应、气电运行平稳畅通。基础设施运营企业应充分利用天然气发电启停灵活、响应速度快、调节范围广、可靠性高等特点,在保供电、保供热、调峰运行等方面为新能源高比例消纳、电力系统安全稳定运行提供保障。建

议基础设施运营企业持续提升基础设施输转运行的弹性、效率及韧性，提速互保互供、互联互通工程，有步骤推进市场化公平开放，确保管容、接收站窗口剩余能力分配机制、公平开放政策与当前气电保供重任、新能源融合发展进程的同频共振。加大对放弃与违约使用国家重要基础设施企业的惩罚力度，在优先确保民生供气、供电运行平稳畅通的基础上，不断推进气电与新能源高质量发展持续向前^[20]。

5 结束语

在构建新型能源体系目标下，天然气在新型电力系统中的调峰与应急支撑作用更加凸显，并促进可再生能源不断向前发展，与新能源融合是未来发展的重点方向，核心抓手是推进气电产业发展。随着电力需求不断增长及新能源的加速发展，新能源出力的不稳定性将对电力系统灵活调节能力提出更高要求。全国各个区域气电业务功能定位、发展趋势、政策性补贴等各有侧重，还需持续加强相关方面研究。气电融合发展需在产品链、价值链及生态链多层次探索发展路径。要大力发展气电，天然气基础设施必须增强其灵活调整能力，将其与过剩的 LNG 接收站外输能力相结合。今后新能源与气电调峰必须同步发展，并体现气电在电力系统的期权价值，推动天然气与新能源的不断融合发展。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.《天然气利用管理办法》2024 年第 21 号令[EB/OL]. (2024-06-19)[2024-11-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/fzggwl/202406/t20240619_1387036.html. National Development and Reform Commission. Management measures for natural gas utilization (order No. 21 of 2024)[EB/OL]. (2024-06-19)[2024-11-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/fzggwl/202406/t20240619_1387036.html.
- [2] 周淑慧, 郝迎鹏, 沈鑫, 梁严, 王军. 对天然气在新型能源体系中地位和作用的认知[J]. 国际石油经济, 2024, 32(1): 2-16. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2024.01.002. ZHOU S H, HAO Y P, SHEN X, LIANG Y, WANG J. The position and role of natural gas in the new energy system[J]. International Petroleum Economics, 2024, 32(1): 2-16.
- [3] 樊慧, 段天宇, 朱博骐, 陈双营. 燃气电厂与超低排放燃煤电厂环境及生态效应对比[J]. 天然气工业, 2020, 40(7): 146-153. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2020.07.018. FAN H, DUAN T Y, ZHU B Q, CHEN S Y. Comparison of environmental and ecological effects between gas-fired and ultra-low emission coal-fired power generation plants[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(7): 146-153.
- [4] 李玲. 天然气发电大有可为[N]. 中国能源报, 2024-06-03(12). LI L. Natural gas power generation has great potential[N]. China Energy News, 2024-06-03(12).
- [5] 郭忠贵. 天然气知识与实用技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012: 1-23. GUO Z G. Natural gas knowledge and practical technology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 1-23.
- [6] 中国石油规划总院. 中国油气与新能源市场发展报告(2024)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2024: 5. China Petroleum Planning Institute. Report on the development of China's oil and gas and new energy markets-2024[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2024: 5.
- [7] IEA. World energy outlook 2023[R]. Paris: IEA, 2023: 1-3.
- [8] 陈蕊, 朱博骐, 段天宇. 天然气发电在我国能源转型中的作用及发展建议[J]. 天然气工业, 2020, 40(7): 120-128. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2020.07.015. CHEN R, ZHU B Q, DUAN T Y. Role of natural gas power generation in China's energy transformation and suggestions on its development[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(7): 120-128.
- [9] 刘朝全, 姜学峰. 2019 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2020: 11-52. LIU C Q, JIANG X F. Oil and gas industry development of domestic[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020: 11-52.
- [10] 李可愚. 两部门: 鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模[N]. 每日经济新闻, 2021-08-11(1). LI K Y. Two departments: encourage renewable energy generation enterprises to build or purchase peak shaving capacity to increase grid connection scale[N]. National Business Daily, 2021-08-11(1).
- [11] 蒋懿.《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》的解读[J]. 大众用电, 2022, 37(4): 7-10. JIANG Y. Interpretation of the opinions on improving the system, mechanism, and policy measures for energy green and low carbon transformation[J]. Popular Utilization of Electricity, 2022, 37(4): 7-10.

- [12] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 国家能源局. 电力发展“十三五”规划(2016—2020 年)[EB/OL]. (2016-12-22)[2024-05-12]. <http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/2016-12/22/5151549/files/696e98c57ecd49c289968ae2d77ed583.pdf>.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration. 13th Five Year Plan for electric power development(2016–2020)[EB/OL]. (2016-12-22)[2024-05-12]. <http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/2016-12/22/5151549/files/696e98c57ecd49c289968ae2d77ed583.pdf>.
- [13] 唐红君, 吴志均, 李洋, 梁英波, 关春晓. 天然气在新能源为主体的新型电力系统中的重要作用与对策建议[C]. 南宁: 第 33 届全国天然气学术年会, 2023: 360–364.
TANG H J, WU Z J, LI Y, LIANG Y B, GUAN C X. The important role and countermeasures of natural gas in the new power system with new energy as the main body[C]. Nanning: The 33rd National Natural Gas Academic Annual Conference, 2023: 360–364.
- [14] 《新时代的中国能源发展》白皮书: 我国提前实现碳排放强度下降目标[J]. 资源节约与环保, 2021(1): 2–3.
White paper on China's Energy Development in the New Era-China achieves the goal of reducing carbon emission intensity ahead of time[J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2021(1): 2–3.
- [15] 单彤文. 天然气发电在中国能源转型期的定位与发展路径建议[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 205–214. DOI: [10.11935/j.issn.1673-1506.2021.02.025](https://doi.org/10.11935/j.issn.1673-1506.2021.02.025).
SHAN T W. Positioning and development path suggestions of natural gas power generation in China's energy transition period[J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(2): 205–214.
- [16] 邹才能, 林敏捷, 马锋, 刘翰林, 杨智, 张国生, 等. 碳中和目标下中国天然气工业进展、挑战及对策[J]. 石油勘探与开发, 2024, 51(2): 418–435. DOI: [10.11698/PED.20230690](https://doi.org/10.11698/PED.20230690).
ZOU C N, LIN M J, MA F, LIU H L, YANG Z, ZHANG G S, et al. Development, challenges and strategies of natural gas industry under carbon neutral target in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2024, 51(2): 418–435.
- [17] 马新华, 张国生, 唐红君, 梁英波. 天然气在构建清洁低碳能源体系中的地位与作用[J]. 石油科技论坛, 2022, 41(1): 18–28. DOI: [10.3969/j.issn.1002-302x.2022.01.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-302x.2022.01.003).
MA X H, ZHANG G S, TANG H J, LIANG Y B. Natural gas position and role in construction of clean low-carbon energy system[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2022, 41(1): 18–28.
- [18] 石云, 潘继平, 王恺, 赵思行. “双碳”背景下天然气与新能源融合发展路径及策略[J]. 油气与新能源, 2023, 35(4): 1–6. DOI: [10.3969/j.issn.2097-0021.2023.04.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-0021.2023.04.001).
SHI Y, PAN J P, WANG K, ZHAO S X. The paths and strategies of integrated development of natural gas and new energy in the context of “double carbon”[J]. Petroleum and New Energy, 2023, 35(4): 1–6.
- [19] 张建平, 王富平, 梅琦, 蒋龙, 马英恺. 天然气与新能源融合发展路径研究[J]. 国际石油经济, 2022, 30(1): 51–58, 100. DOI: [10.3969/j.issn.1004-7298.2022.01.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-7298.2022.01.016).
ZHANG J P, WANG F P, MEI Q, JIANG L, MA Y K. Research on the path of integrated development of natural gas and new energy[J]. International Petroleum Economics, 2022, 30(1): 51–58, 100.
- [20] 王震, 李楠, 潘继平. 油气与新能源融合发展的模式与路径[J]. 天然气与石油, 2024, 42(1): 1–7. DOI: [10.3969/j.issn.1006-5539.2024.01.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-5539.2024.01.001).
WANG Z, LI N, PAN J P. Modes and pathway for integrated development of oil & gas and new energy[J]. Natural Gas and Oil, 2024, 42(1): 1–7.

(编辑: 李在蓉)

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司天然气销售分公司资源采购部科技信息项目“天然气资源池优化技术研究与应用”, 2022-XSKJ-01。

作者简介: 武艺, 男, 1980 年生, 高级会计师, 2023 年硕士毕业于新加坡国立大学公共行政管理专业, 现主要从事油气贸易、金融及天然气产业链的研究工作。地址: 北京市东城区东直门北大街 9 号, 100007。电话: 010-59985120。Email: wu-yi@petrochina.com.cn

• Received: 2024-11-01

• Revised: 2024-11-13

• Online: 2024-11-24

