



Center for Education,
Innovation and
Sustainable Development

上海科技大学教育、创新和可持续发展研究中心

Tech Note | 技术系列

总 No.1 期/2026 年 2 月

兼顾能源安全与双碳目标 加快发展中国自主燃气轮机产业正当其时

执行摘要

全球燃气轮机市场正在经历一场深刻的结构性逆转。这不再是十年前那个由于可再生能源挤压而导致产能过剩的买方市场，而是一个由“能源安全（Security）”与“人工智能（AI）”双重驱动的、极为紧缺的卖方市场。这一转变的核心特征是供应链的极度紧张与交货周期的显著拉长，标志着燃气轮机从“过渡能源设备”成为未来的基础设施。

在全球能源格局剧烈震荡的当下，中国正处于一场前所未有的能源转型之中。这场转型的核心在于解决“能源不可能三角”——即在确保能源安全（Reliability）、实现环境可持续性（Sustainability）以及维持经济可承受性（Affordability）之间寻找动态平衡。在此背景下，燃气轮机在中国能源结构中的角色正在发生质的飞跃：从传统的基荷电源转变为支撑高比例可再生能源并网的“灵活性调节中枢”。这种角色的转变依赖于电力市场改革的深化。此外，随着氢能技术的融合，燃气轮机正逐步具备成为长时储能（Long-Duration Energy Storage）

关键节点和核心基础设施的潜力。

我们不仅关注市场规模的扩张，更希望深入探究技术自主化与国际供应链之间的张力。中国燃气轮机产业已成功跨越了纯粹依赖进口的“跟随”阶段，进入了一个更具能动性的“混合驱动”新阶段：即以合资合作保障当下系统稳定的“基本盘”，同时以自主创新开辟未来增长与主导权的“新赛道”。

然而，分析显示，尽管中国在重型燃机国产化方面取得了标志性突破——例如中国航发（AECC）自主研发的 110 兆瓦级重型燃气轮机“太行 110”已投入商业运行，以及明阳智能推出的 30 兆瓦级纯氢燃气轮机“木星一号”展示了零碳燃烧的潜力——但整个行业仍处于爬坡过坎的关键期。特别是在高温合金材料、单晶叶片精密铸造以及数字化控制系统等“卡脖子”环节，本土产业链仍面临巨大的技术与良率挑战。

为了最大限度地发挥燃气轮机产业在实现“双碳”目标与保障能源安全的双重战略价值，并培育中国下一个深具竞争力的自主产业，特提出以下建议：

战略层面：运用财政补贴等工具支持自主知识产权燃气轮机通过迅速形成规模和技术（良率）飞轮，培养壮大产业。

政策层面：加速在全国范围内推广容量市场和辅助服务市场，将广东、浙江的试点经验标准化、制度化，并探索建立适应燃气轮机“快速响应、长时备用”特点的差异化定价机制。

研发层面：整合分散的科研资金与力量，集中攻关高温超级合金材料和先进精密铸造工艺，核心目标是跨越“良率死亡谷”，实现高性能热端部件的低成本、高可靠量产。

部署层面：在内蒙古、新疆等风光资源富集区，布局国家级“风光制氢-储运-氢燃机发电”一体化先导示范区。初期推动高比例掺氢燃烧

商业化，逐步向纯氢发电迈进。

国际合作层面：对“合资合作”与“自主创新”实施“分类指导，动态优化”的战略。在利用合资企业保障当前电力系统稳定需求的同时，全力支持自主品牌利用全球供应链紧张的“时间窗口”，以更具性价比和快速交付的优势，主攻“南南国家”市场及国内特定场景。

若战略协同得当、执行有力，燃气轮机将彻底摆脱其“过渡性资产”的狭义定位。它不仅是当前高比例可再生能源电网中不可或缺的“稳定锚”，更将进化为连接“绿电”、“绿氢”与“可靠电网”的关键物理枢纽和核心基础设施。在这一远景下，燃气轮机产业将有望成为中国下一个快速成长的自主可控产业，以实现能源安全、产业升级与碳中和目标作为战略支点，为构建具有韧性、清洁且自主可控的现代能源体系提供不可或缺的工程基石与系统支撑。

第一章 战略和 AI 语境：重新定义燃气轮机

近期，全球燃气轮机市场经历了前所未有的爆发式增长，迎来了一场由多重因素叠加驱动的历史性机遇：

- **能源安全优先成为全球共识：**全球多国能源政策出现“右转”，在保障能源供应安全的战略导向下，燃气轮机作为清洁高效的化石能源利用设备，成为能源结构优化的重要选择。
- **AI 革命催生新的电力需求：**数据中心、新型工业园区等新兴场景快速崛起，对高可靠性、高质量电力的需求激增。AI 产业的“电力饥渴”正在重构能源基础设施投资逻辑。
- **中东“油转气”战略持续推进：**中东地区能源转型战略直接拉动了油气开采与输送环节的燃气轮机需求，为市场增长提供了强劲动力。

1.1 全球市场：供需错配下的“卖方市场”回归与 AI 驱动的超级周期

全球燃气轮机市场正在经历一场深刻的结构性逆转。这不再是十年前那个由于可再生能源挤压而导致产能过剩的买方市场，而是一个由“能源安全 (Security)”与“人工智能 (AI)”双重焦虑驱动的、极为紧缺的卖方市场。这一转变的核心特征是供应链的极度紧张与交货周期的显著拉长，标志着燃气轮机从“过渡能源设备”成为未来的核心基础设施。

1.1.1 供需失衡：积压订单与“产能售罄”的信号

根据各大 OEM（原始设备制造商）财报数据，全球顶级燃气轮机制造商的积压订单 (Backlog) 已达到历史峰值。这种积压并非源于单一区域的需求，而是北美数据中心爆发、中东工业化进程以及欧洲能源安全战略的叠加结果。各大厂商的财务表现不仅反映了行业的复苏，更揭示了供应链的极限压力。

- **GE Vernova (GEV) 的“产能锁定”现象与超级周期：**

作为行业领军者，GE Vernova 在 2024 年完成分拆上市后，其燃气发电业务（Gas Power）表现出了惊人的强劲势头。根据其 2024 年第四季度及全年财报，公司全年的燃气发电及服务订单总额达到 218 亿美元，有机增长率高达 28%。2025 年公司全年订单总额达 593 亿美元，同比增长 34%，其中燃气发电及服务订单保持高速增长；2025 年底燃气轮机积压订单已突破 83GW 目标，达到 100GW，2028 年及之前可调配产能基本售罄，交付排期稳固延伸至 2029-2030 年。2025 年燃气轮机订单量达 30GW，较 2024 年的 20GW 大幅提升。2026 年初公司上调中长期财务展望，预计 2028 年底订单积压将达约 2000 亿美元，燃气发电服务业务将成为长期盈利增长点。

- **西门子能源 (Siemens Energy) 的结构性复苏与数据中心红利：**

西门子能源在经历风电业务的阵痛后，其燃气服务板块（Gas Services）成为利润的压舱石。2026 财年第一季度（2025 年 10-12 月），公司净利润达 7.46 亿欧元，同比激增 196%，订单总额突破 176 亿欧元，整体积压订单创下 1460 亿欧元历史新高；燃气服务板块订单额达 87.51 亿欧元，同比增长超 81%，单季度斩获燃气轮机订单 102 台，创季度历史新高。截至 2025 年底，燃气轮机专属积压订单达 600 亿欧元，2025 财年燃机总销量 194 台，为 2024 财年的两倍。公司明确燃机交付周期已排至 2029-2030 年，2028 年产能几乎售罄，定价主动权持续巩固，燃气服务业务利润率指引持续上调，预计 2030 财年 EBITA 率将达 24%。

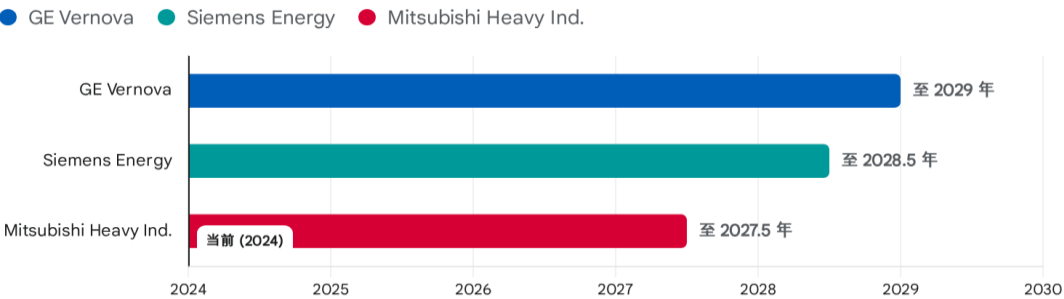
- **三菱重工 (MHI) 的产能倍增计划与亚洲统治力：**

作为全球重型燃机（特别是 J 级/JAC 级）的市场份额领导者，三菱重工激进扩产应对需求爆发。三菱重工明确指出，AI 数据中心的建设速度“远超预期”，迫使其供应链必须进行极限压力测试。2025 财年前三季度（4-12 月），公司燃气-蒸汽联合循环（GTCC）订单额达 19643 亿日元，同比增长 67.41%，签订大型燃气轮机 31 台，

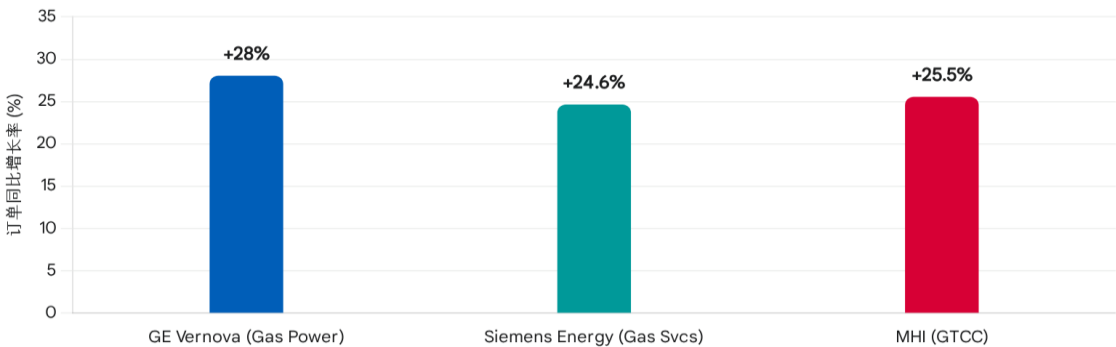
较上年同期增加 15 台，在手大型燃机订单达 75 台，较 2024 年同期的 40 台近乎翻倍；订单主要来自北美（数据中心驱动）与亚洲市场，两大区域贡献超 80% 订单量，2025 年全年能源部门订单预期上调至 3.6 万亿日元，业绩增速领跑三巨头。面对订单激增，公司将原计划 30% 的产能提升目标，上调为未来两年内燃气轮机产能翻倍，原计划 2026 年三季度达成的 20GW 年产能目标，已提前至 2026 年上半年实现，同时计划 2028 年将年产能进一步提升至 24GW。

全球三大燃机巨头积压订单与交付周期压力测试 (2024-2025)

产能“售罄”时间表 (交付周期延长)



2024/2025 燃机业务订单同比增长率 (%)



2024-2025 年，GE Vernova、西门子能源与三菱重工的积压订单均创历史新高，导致重型燃机交付周期从常规的 18-24 个月延长至 4-5 年，目前产能普遍排期至 2029 年以后。

数据来源: [GE Vernova Annual Report](#), [Utility Dive \(GE\)](#), [Siemens Energy Q1 2025](#), [MHI Financial Results](#)

1.1.2 “电力速度（Speed-to-Power）”：AI 重塑的价值评估体系

华尔街投行在多份深度报告中，一致提出了一个新的估值逻辑：在 AI 竞赛中，算力的瓶颈已不再是芯片（GPU），而是电力。这种认知的转变直接导致了燃气轮机资产价值的重估。

- **数据中心的能耗跃迁与缺口预警：** 高盛的研究预测，全球数据中心电力需求将从 2023 年的水平增长 165%，到 2030 年达到惊人的规模。这一增长不仅来自数据中心数量的增加，更来自单机柜功率密度的提升。摩根士丹利则发出了更为严峻的警告，指出美国数据中心开发商在 2027-2028 年将面临严重的电力短缺，缺口可能高达 20%。这意味着如果不采取非常规手段，大约 44GW 的电力需求将无法得到满足，相当于 3300 万户家庭的用电量。
- **燃气轮机的“救火”角色与表后发电：** 在这一背景下，燃气轮机——特别是航改型（Aeroderivative）和快速启动的重型燃机——成为了唯一能够匹配数据中心建设速度（18-24 个月）的基荷电源。相比于核电（建设周期 7-10 年）和受限于电网接入及间歇性问题的风光储，燃气轮机提供了“表后发电（Behind-the-Meter）”的可能性。许多超大规模数据中心（Hyperscalers）开始寻求建立自带电厂的“孤岛模式”或微网模式，以绕过拥堵的公共电网互连队列。例如，Bloom Energy 的燃料电池和 GE 的航改燃机被大量部署在数据中心现场，作为主用或备用电源。
- **估值逻辑的改变：** 过去，燃气轮机的价值评估主要基于“热效率”和“度电成本（LCOE）”；而在 AI 时代，其价值被重构为“交付速度”和“可靠性（99.999%）”。在 AI 训练模型动辄耗资数亿美元的背景下，电力中断的成本是无法承受的。因此，数据中心运营商愿意为能够快速上线、稳定运行的燃机设备支付高额溢价。这解释了为何尽管天然气价格波动，燃机订单却依然在 2025 年出现了反直觉的激增。

1.2 双重博弈下的物理基石：从“惯量危机”到战略资产

1.2.1 中国机会：新型电力系统的“惯量空心化”物理危机

中国构建新型电力系统的核心物理挑战，在于风电、光伏等波动性电源大规模替代传统煤电后，电网正面临“惯量空心化”的风险。电力系统的稳定运行依赖于其转动惯量——即系统中所有同步旋转机组（传统上主要是煤电机组）巨大旋转质量所储存的动能，它能自发抵抗频率突变，为自动控制提供关键缓冲时间。随着“双碳”目标下煤电角色的缩减，这一物理基石正在被削弱。而电化学储能、光伏逆变器等技术本质上无法提供这种同步惯量。因此，寻找并部署新的同步惯量提供者，已成为中国能源转型必须解决的、关乎电网物理安全的根本性问题。

在此背景下，燃气轮机（尤其是重型联合循环机组）的物理优势被重新发现并提升至战略高度：它与电网同步旋转，能直接提供稳定系统频率所需的优质惯量；其快速启停与宽幅调峰能力，可精准匹配新能源的波动；相较于储能，它在应对长达数天甚至数周的“极寒无风”等极端天气时，具备无法替代的持续供电能力与经济性。因此，燃气轮机已从过去的调峰备用选项，转变为未来高比例可再生能源电网中不可或缺的“稳定锚”与“压舱石”。

燃气轮机在新型电力系统中的价值，已从“发电主体”转变为“灵活性保障与系统保险”。其经济可行性不再单纯取决于发电小时数，而在于电力市场机制能否准确识别并支付其提供的系统安全保障价值。容量电价机制，标志着对燃气轮机价值的认知飞跃。该机制为燃机电厂提供的可用容量（MW）支付固定费用，是对其“备而不用”的备用价值的货币化肯定。同时，广东、浙江等省探索的“气电价格联动”机制，则将燃料成本波动风险部分疏导，稳定了经营预期。这些改革是燃气发电项目获得基础经济性的政策基石。

1.2.2 全球共识：多重需求下的战略资产价值重估

中国的“惯量危机”是一个突出样本，而燃气轮机的战略价值正在全球范围内被重新评估，其驱动力呈现多元分化：

- **发达经济体的“安全回摆”与“电力饥渴”**：以美国为例，其《通胀削减法案》等政策旨在推动制造业回流。更紧迫的是，人工智能与数据中心产业的爆发式增长，正引发对高密度、高可靠性、高质量电力的巨量需求。由于电网扩容与新型核电建设周期漫长，启动迅速、部署灵活且能提供稳定基荷的燃气轮机，成为填补短期至中期电力缺口、保障关键数字基础设施运行的现实首选。
- **“全球南方”的“增长饥渴”与能源自主**：众多新兴市场与发展中国家（如东南亚、中亚、中东国家）的核心诉求是快速获得可负担、可部署的发电能力，以支撑经济增长与工业化。在这些地区，燃气轮机是替代低效燃油/煤电、为新建园区与城市提供即时、自主电力保障的关键基础设施。其燃料多样性（管道气、LNG、未来氢/氨）也为降低单一能源进口依赖、增强战略弹性提供了选项。

尽管应用场景各异——中国应对“系统灵活性短缺”，美国满足“算力电力饥渴”，“全球南方国家”解决“基础增长饥渴”——但全球主要经济体都不约而同地提升了燃气轮机的战略估值。其根本原因在于，燃气轮机因其三重核心能力，成为各国在不确定性时代保障能源主权的“公约数”式战略资产：

1. **系统稳定基石**：提供同步惯量与快速调频，是保障任何形式电网（高度数字化或快速扩张中）物理稳定性的不可替代技术。
2. **部署敏捷工具**：相对较短的建设周期与模块化特点，能快速响应突增的电力需求或紧急备用需求，具有显著的时间价值。
3. **燃料过渡载体**：兼容从天然气到氢/氨的燃料路径，使当前的重资产

投资能够平滑对接未来零碳能源体系，避免资产搁浅，具备长期投资价值。

因此，燃气轮机的全球角色，正从一种单纯的“过渡性发电技术”，演变为各国应对各自能源安全核心关切的“战略性保障资产”。对中国而言，发展自主燃机产业，已超越解决国内调峰问题的技术课题，更是参与全球高端制造竞争、捍卫能源主权、并对外输出综合能源解决方案的国家战略必需。

1.3 从“过渡桥梁”到“核心基础设施”：资产价值的根本性跃迁

长期以来，天然气被视为通往零碳未来的“过渡燃料”（Bridge Fuel）。然而，产业界的最新实践正在修正这一线性认知。随着掺氢燃烧乃至纯氢燃烧技术的突破，燃气轮机基础设施不再面临必然被淘汰的命运，而是有望进化为“终极目的地”技术设施。

现有的天然气管网、储气设施和燃机电厂，可通过技术改造，平滑演进为未来“氢能经济”的核心输配与再电气化节点。这一“氢能就绪”特性，彻底颠覆了其生命周期评估。它不再是面临中期淘汰风险的过渡资产，而是连接当下化石能源体系与未来零碳氢能体系的关键物理接口和战略沉淀资本。这一特性为当前的投资决策提供了关键的“未来期权”价值。其角色正从单一的发电设备，向“绿电-绿氢-储能-再发电”一体化智慧能源系统的枢纽进化。随着电转气技术的成熟，燃气轮机将与大规模风光制氢基地深度耦合，在电力富余时消纳绿电制氢，在电力短缺时燃烧绿氢发电，从而实质性地承担起跨季节、大规模的长时储能功能，解决可再生能源消纳的“最后一公里”问题。

这一演进路径，精准回应了全球对既有基础设施投资保值与能源系统平稳转型的双重关切。中国的产业实践，不仅服务于自身能源安全与双碳目标，也为全球，特别是“全球南方”，提供了一个兼具现实可行性、经济性与战略前瞻性的能源解决方案样本。

第二章 中国市场格局与经济性分析：在约束中扩张

2.1 市场规模与增长轨迹

在全球市场爆发的大背景下，中国燃气轮机市场呈现出独特的增长逻辑。与全球市场的全面增长不同，中国市场的扩张主要源于结构性的灵活性短缺，而非全社会电力总量短缺。

2.1.1 市场规模与增长动力

2024 年全球燃气轮机市场规模约 300 亿美元（纯设备口径）；若包含后市场服务，整体市场规模突破 680 亿美元，其中服务市场作为核心利润池，规模达 450 亿美元左右。2025 年全球燃机新签订单迎来爆发式增长，全年新增订单达 100GW，同比激增 75%，创十年新高；设备端市场规模稳步提升至 340 亿美元，同比增长 13.3%。中长期增长预期：预计 2031 年全球市场规模（设备口径）将上调至 550 亿美元，综合年增长率维持 7.2%；2026-2035 年全球年新增装机将稳定在 100GW 以上，较 2022 年增长超 64%，行业高景气周期持续拉长。

中国作为全球燃气轮机核心增量市场，2024 年市场规模估值区间维持 15.6 亿美元-44.3 亿美元（设备口径，统计差异源于 EPC 工程服务是否纳入）；按人民币口径，2024 年中国燃机全口径市场（设备+服务）达 750 亿元，同比增长 13%。2025 年中国燃机全口径市场规模攀升至 850 亿元，设备端市场规模突破 50 亿美元，增速领跑全球。乐观情景下，2035 年中国燃机全口径市场规模有望上探 1100 亿元（折合 155 亿美元左右），较此前预测大幅上调，核心驱动力来自能源转型提速、数据中心配套建设加速。

中国天然气发电装机稳步推进既定目标，行业增长格局清晰，区域集聚特征愈发显著。截至 2025 年底，中国已顺利实现 1.5 亿千瓦（150GW）天然气发电装机目标，超额完成“十四五”规划任务，较

2020 年增长 15%。行业共识进一步明确，2030 年天然气发电装机将稳妥达成 2 亿千瓦（200GW）目标，部分机构预测有望突破 2.1 亿千瓦，在新型电力系统中调峰电源占比将超 30%。装机扩张仍高度集中于广东、江苏、浙江、山东等沿海经济发达省份，上述省份合计装机占全国比重超 70%。

2.1.2 细分市场结构的深化演进

中国燃气轮机市场的细分结构正在进一步深化：

1. **公用事业级发电（重型燃机）**：这一板块继续占据市场主导地位，但技术竞争已从 F 级向更先进的 H 级、J 级升级。例如，上海电气与安萨尔多合作研发的 GT36-S5 H 级机组，单机功率达到 538 兆瓦；东方电气与三菱合作制造的 M701J 级燃气轮机，联合循环效率达到 64%。300MW 以上的高端燃机市场，国产设备的渗透率仍不足 10%，这既是挑战，也是巨大的增长空间。
2. **工业与分布式能源**：这一领域的增长动力正从传统的石油化工向更多元场景拓展：
 - **AI 数据中心**成为新增长极，其“潮汐式”用电特点与燃气轮机的快速响应特性高度契合
 - **海上油气平台**与船舶动力需求上升，如国产 CGT30 型燃机完成海上测试后进入批量生产
 - **工业园区综合能源服务模式**日益成熟，冷热电三联供系统能效可达 80%以上

2.2 中国产业的竞合新局：从技术引进到自主出海

2.2.1 合资合作的深度演进

中国燃气轮机产业的技术积累始于与全球巨头的合作，现已形成三

大稳固的合资阵营：

- GE Vernova & 哈尔滨电气：2019 年成立合资公司，致力于重型燃机本土化制造。采用本土制造 9HA.01 燃机的安吉电厂投产。
- 西门子能源 & 上海电气：这对历史悠久的合作伙伴通过深度合作，填补了中国在高温叶片和低排放燃烧器方面的多项空白。
- 三菱动力 & 东方电气：超过 20 年的合作中，东方电气不仅组装三菱燃机，更成为其全球供应链的核心供应商，国产化率已达 65%。

特别值得注意的是上海电气对安萨尔多（Ansaldo）的战略投资。2014 年，上海电气抓住机会拿下安萨尔多 40% 股权，通过这一“换道超车”，中国首次真正掌握了一整套重型燃气轮机技术体系。

2.2.2 自主创新的全面突破

在合资合作之外，中国自主燃机研发取得了系列里程碑式突破：

- **重型燃机自主化**：中国航发“太行 110”（AGT-110）实现商业交付运行；2024 年 2 月，300 兆瓦 F 级重型燃气轮机首台样机在上海临港总装下线，这是我国自主研发的最大功率、最高技术等级重型燃机。
- **中型燃机系列化**：东方电气实现从 50 兆瓦到 15 兆瓦 F 级燃机的自主研发，2024 年 11 月 G15 燃机点火成功，三大核心部件完全国产化。
- **前沿技术布局**：明阳智能推出“木星一号”30 兆瓦级纯氢燃气轮机，在零碳燃烧技术这一未来赛道上展现了中国企业的前瞻性。

2.2.3 从进口依赖到整机出口的跨越

尽管中国燃气轮机产业取得长足进步，但高端市场仍存在显著差距。仅 2025 年 1-11 月，中国“涡轮喷气发动机”进口量就达到 674 台（根据中国海关总署进出口数据统计），若加上地面发电和机械驱动燃机，进口依赖程度更高。

然而，转折正在发生。2025 年，东方电气实现自研 F 级重型燃机整机 G50 出口“零的突破”，成功出口到哈萨克斯坦，东南亚和中东也有项目正在签约。这标志着中国燃机产业开始从“技术引进”向“自主出海”跨越。

2.3 政策经济学：从“电量”到“容量”的定价革命

燃气轮机在中国电力系统中的生存逻辑，正在经历一场由政策驱动的根本性变革。过去，燃机电厂主要依赖发电量（kWh）获利，但在高气价和新能源挤压下，这种模式难以为继。2024-2025 年，随着国家级容量电价政策的落地以及各省细则的出台，燃气轮机的商业模式正式转向“容量+电量”的双部制结构。这一变革承认了燃气轮机作为系统“稳定器”的价值，而不仅仅是电能生产者。

2.3.1 容量电价（Capacity Payment）：为“安全感”付费

国家发改委在 2023 年底发布的《关于建立煤电容量电价机制的通知》确立了通过容量电价回收部分固定成本的原则。进入 2024 年，各省根据自身电源结构和财政能力，落地了差异化的气电容量电价政策。

广东模式：明确的固定补偿与同权化。广东省在 2024 年率先明确了气电容量电价机制。根据广东省发改委的文件，气电容量电价标准被设定为 100 元/千瓦/年（含税），这一标准与煤电持平。对于一台典型的 400MW 级燃机机组而言，这意味着每年可获得约 4000 万元的固定收入，无论其是否发电。这笔收入足以覆盖大部分固定运维成本（O&M）

和部分财务费用，极大地降低了燃机电厂的经营风险。广东模式的核心逻辑是“同工同酬”，即认可燃机在顶峰能力上与煤电具有同等价值，从而鼓励企业投资灵活性电源。

浙江模式：差异化的补偿梯队与输配电价融合。浙江省则采取了更为精细化的补偿策略。2024 年的政策显示，浙江将燃气机组的容量电费纳入输配电价回收，并建立了更为严格的考核机制。对于纳入省级规划的独立新型储能项目，浙江给予了更高的补偿标准（2024 年为 200 元/千瓦/年，随后逐年递减）。虽然储能的补偿标准更高，但燃机凭借其长时运行能力（Long-Duration）在极端天气（如台风、极寒）下的不可替代性，依然获得了稳定的政策支持。浙江模式的特点在于强调“谁受益、谁付费”，将容量成本传导至工商业用户。

江苏模式：市场化的博弈与两部制电价。江苏省作为电力负荷大省，其 2024 年的电力交易方案明确了公用煤电和气电的容量电价按照 100 元/千瓦执行，并将其折算为度电成本（约 2.2 分/千瓦时）分摊给工商业用户。江苏的特点在于其庞大的工商业用户群体，使得这笔费用的传导相对顺畅。同时，江苏实行的工业两部制电价（基本电价+电度电价）为容量费用的传导提供了成熟的计费基础。此外，江苏还积极探索需求响应（Demand Response）的容量支付，鼓励用户侧参与调节，进一步丰富了灵活性资源的变现渠道。

2.3.2 气电价格联动（Gas-Electricity Linkage）：疏导成本的“减压阀”

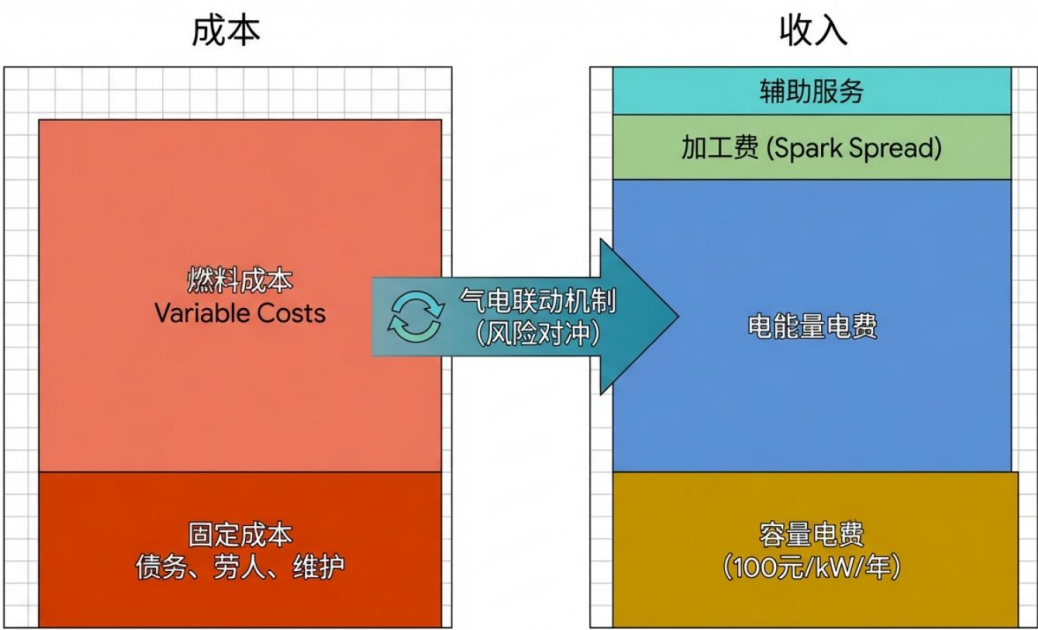
为了解决天然气价格波动导致的发电亏损问题，沿海省份在 2024-2025 年普遍强化了气电价格联动机制。这一机制旨在打破“气价高涨、电价封顶”的死结，使燃机电厂的燃料成本能够及时传导。

广东的动态调整：2024 年，深圳市和广州市均发布了天然气销售价格与采购成本的联动通知。例如，深圳市确立了 2.4061 元/立方米的

基期采购成本，并允许销售价格在基准价基础上上浮 20%。这意味着，当国际 LNG 价格上涨时，燃机电厂的上网电价可以相应上调，从而维持合理的加工费（Spark Spread）。广东的机制更偏向于“顺价”，即通过终端销售价格的浮动来消化上游气价的波动。

浙江的公式化联动：浙江省在 2024 年进一步完善了天然气上下游价格联动机制，明确了基于 JCC（日本原油鸡尾酒价格）和国内管道气价格权重的联动公式。研究表明，浙江的联动机制在降低气电企业对低价气源依赖度方面效果显著。通过公式化的自动调整，浙江使得即便在气价高企时，燃机电厂仍能保持微利或盈亏平衡，避免了过去“发一度亏一度”的窘境。

中国气电“两部制”营收模型图解 (以400MW机组为例)



该图解展示了2024年政策环境下，一台典型的400MW燃机电厂如何通过“容量电费（100元/kW/年）”覆盖固定成本，并通过“气电联动机制”将燃料成本波动传导至电价，从而锁定合理的加工费（Spark Spread）。

第三章 技术前沿：重型化与低碳化的双重竞速

中国燃气轮机产业的技术叙事正沿着两条平行的赛道加速：一条是追赶世界先进水平的重型燃机国产化赛道，另一条是探索未来能源形态的零碳燃烧赛道。

3.1 重型燃机的自主化突破与谱系完善

以“太行 110”（AGT-110）为代表的完全自主重型燃气轮机的商业化运行，标志着中国打通了高端重型燃机从设计、制造到商业应用的全流程。然而，其战略意义不只在于单点突破，更在于它带动了自主重型燃机技术谱系的快速完善。

关键技术进展与战略完善：

- **功率谱系向上突破：**2024 年 2 月，我国自主研发的 300 兆瓦 F 级重型燃气轮机首台样机在上海临港总装下线。这台自主研发的最大功率、最高技术等级的重型燃机，是国家重型燃气轮机重大专项的核心成果，其目标直指 300MW 以上高端主流市场。
- **产品序列向下延伸：**东方电气在 2024 年 11 月成功点火自主研发 F 级 15MW 重型燃气轮机 G15，实现了三大核心部件完全国产化。这标志着自主燃机产品线正从中型向重型完整覆盖。
- **国产化率持续提升：**通过东方电气与三菱合作制造的 M701J 级燃气轮机等项目，国产化率已达到 65%，并在实践中持续攀升。

这些进展表明，中国重型燃机的自主化已从“点的突破”进入“线的完善”和“面的提升”阶段，为参与全球市场竞争奠定了产品基础。

3.2 应用场景的多元化拓展与技术适配

燃机技术不仅追求单机功率和效率，其场景适应性与定制化能力同

样关键。中国产业正从单一的发电领域，向更广阔的海上、工业驱动等场景拓展，并催生了针对性的技术突破。

关键多元化方向：

- **海上平台与船舶动力：**2025 年 7 月，我国自主研发的 CGT30 型燃气轮机在完成累计超过 5000 小时的严苛海上测试后，正式批量生产并进入装舰阶段。这解决了远离大陆电网的海上钻井平台、特种船舶对高功率密度、高可靠性动力的迫切需求，是国产燃机在特殊应用领域的重大胜利。
- **工业驱动与分布式能源：**随着工业园区综合能源服务模式的成熟，对 30-60 兆瓦级中型燃机的需求持续释放。这些机组不仅用于发电，更直接驱动大型机械（如压缩机、泵），其技术核心在于变工况下的高效稳定运行以及与工艺流程的深度耦合。

多元化拓展意味着，中国燃机产业正从“提供标准化发电设备”向“提供定制化动力解决方案”升级，技术竞争力得到全方位锤炼。

3.3 零碳燃机的工程化验证与前瞻布局

如果说重型化是“补课”，多元化是“拓展”，那么在零碳技术探索方面，明阳智能的“木星一号”30 兆瓦级纯氢燃气轮机是一项具有前瞻性的示范工程。它验证了纯氢燃烧在工程上的可行性，为远期大规模消纳可再生能源制取的绿氢提供了一种潜在的技术路径。然而，其商业化推广并非解决近期可再生能源消纳的“最后一公里”问题，而是面向 2030 年及以后的氢能经济生态系统。

纯氢燃烧的技术挑战：

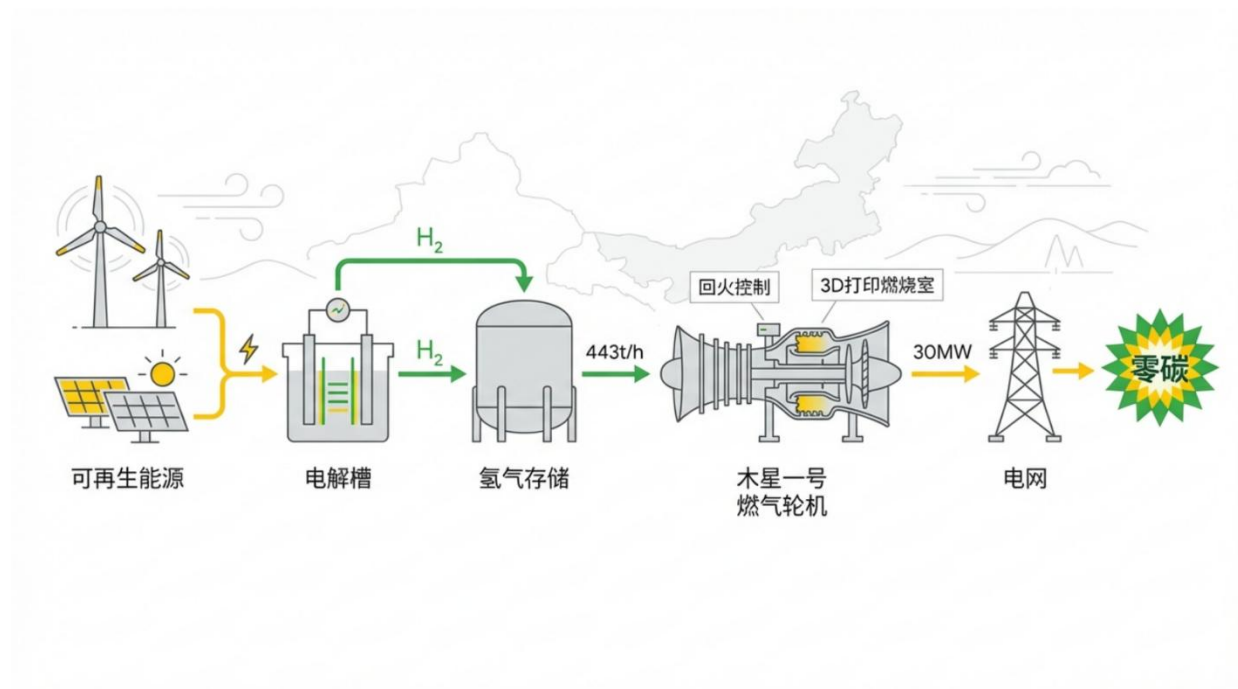
在燃气轮机中燃烧 100% 的氢气并非易事，面临三大物理挑战：

1. **火焰传播速度极快：**氢气的燃烧速度是天然气的数倍，极易导致“回火”（Flashback），即火焰逆流烧毁燃烧器喷嘴。
2. **热声振荡（Thermoacoustic Instability）：**氢气燃烧释放的能

量密度极高且波动剧烈，容易引发燃烧室内的压力震荡（“嗡鸣”），严重时可震碎燃烧室衬套。

3. **氮氧化物 (NO_x) 排放：** 氢气火焰温度极高，容易生成大量热力型 NO_x，与环保目标背道而驰。

Anatomy of a Breakthrough: Mingyang 'Jupiter 1' Hydrogen Cycle



The diagram illustrates the closed-loop energy system: Excess wind/solar power produces Green Hydrogen via electrolysis. This is stored and then combusted in the Jupiter 1 turbine during peak demand, providing dispatchable zero-carbon electricity.

明阳智能的“木星一号”的技术突破与工程实践：

- **攻克核心燃烧难题：**“木星一号”通过 3D 打印一体化燃烧室喷嘴等创新，实际验证了解决氢气燃烧回火、振荡与 NO_x 控制等世界级难题的可行性。这为未来大规模“绿氢-发电”提供了关键的技术原型和工程信心。
- **揭示系统集成挑战：**该机组每小时消耗约 2.7 吨氢气，其巨大吞吐量将产业链挑战从燃烧室延伸至上游的绿色制氢、大规模储运和氢

电协同调度。这要求产业必须从“设备研发”转向“系统生态构建”。

- **明确商业化路径：**纯氢燃机近期尚难成为解决可再生能源消纳的“最后一公里”方案，其意义在于为 2030 年及以后的氢能经济储备技术和验证路径。当前更现实的路径是掺氢燃烧，即通过在天然气中逐步提高氢气比例，平滑过渡至零碳未来。

第四章 产业链安全：从“整机制造”到“生态自主”的攻坚战

中国燃气轮机产业在整机制造上取得的突破有目共睹，但产业安全不仅取决于能否“造出来”，更取决于能否以有竞争力的成本“稳定造好”，并建立自主可持续的产业生态。当前，产业链的深层瓶颈已从“有无”问题，转向“质量、成本与数据”的竞争。

4.1 热端部件的“制造良率”与“成本控制”瓶颈

高温透平叶片等热端部件的制造，是材料科学和精密制造的集大成者。中国虽已实现从“0到1”的突破，但迈向“1到100”的规模化、低成本制造，仍面临“良率之殇”的严峻挑战。

国产化现状与核心瓶颈：

- **工艺数据库与经验鸿沟：**西方 OEM 巨头（如 GE、西门子）拥有数十年积累的海量工艺参数和缺陷数据库，能精确控制单晶叶片的定向凝固过程。相比之下，中国企业的工艺数据积累薄弱，在生产大尺寸、复杂空心冷却结构的叶片时，废品率（Scrap Rate）显著较高。这不仅推高单片成本，更制约产能的快速爬升和交付稳定性。
- **成本竞争力的关键：**在市场化竞争中，热端部件的成本直接决定整机成本。若良率无法提升，国产燃机将在全生命周期成本上始终处于劣势。因此，提升良率是国产燃机能否实现市场驱动、可持续发展的生死线。
- **战略安全与市场逻辑的平衡：**从国家能源安全战略出发，实现自主可控的价值可部分抵消成本劣势。但这只能为技术迭代赢得有限时间。长期来看，必须在保障供应链安全与赢得市场竞争之间找到平衡点，而答案就在于攻克量产工艺。

4.2 控制系统的“数据生态”与“智能升级”挑战

燃气轮机的“大脑”——控制系统，其自主化难度不亚于硬件。现代控制算法深度依赖海量运行数据进行优化和机器学习训练，这构成了新的、更隐形的“数据护城河”。

深层挑战与突破方向：

- **从“代码自主”到“算法智能”：**开发不依赖西方知识产权的控制软件是第一步，但构建能够实现预测性维护、效率寻优、寿命管理的智能控制系统，需要基于数十万运行小时的数据进行训练和迭代。这正是国际巨头通过全球数十万台机组运行建立起的核心壁垒。
- **构建自主数据闭环：**突破此瓶颈的关键，在于加速自主机型的规模化商业应用。只有让更多国产燃机在多样化的真实场景中长时间稳定运行，才能积累独有的运行数据，反哺控制系统算法的进化，形成“应用-数据-算法优化-更好应用”的正向循环。
- **“后市场”服务的数字化根基：**先进的数字孪生、远程诊断等增值服务，均以控制系统数据为核心。掌控数据生态，才能在未来利润丰厚的“后市场”服务中占据主动，摆脱对原厂服务的依赖。

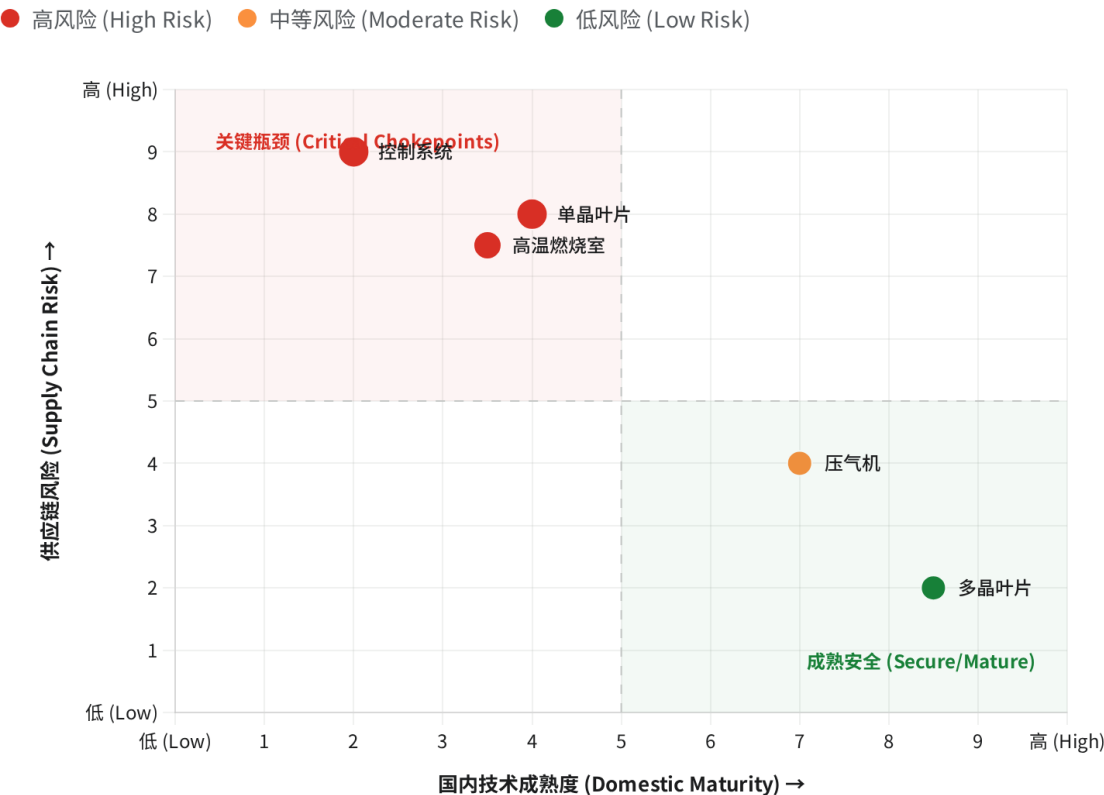
4.3 产业生态的“应用牵引”与“服务短板”

整机的成功交付仅是起点，建立贯穿全生命周期的自主产业生态，才是实现最终自主可控的闭环。

- **规模化应用是试金石：**国产燃机，特别是自主机型，迫切需要规模化、长时间的运行业绩来证明其可靠性、经济性和可维护性。这是获得国内业主充分信任、进而叩开国际市场的“信用货币”。
- **自主“后市场”服务生态缺失：**包括大修、备件供应、远程支持在内的全套服务能力，是燃气轮机商业价值的核心部分。目前，国内

尚未形成强大、独立的第三方服务网络，这使业主在选用国产燃机时仍有后顾之忧。构建自主服务生态，是产业必须补上的关键一课。

中国燃气轮机供应链：脆弱性与国产化矩阵 (2025)



该矩阵将“热端”部件（单晶叶片、高温燃烧室）和控制系统识别为最高风险领域，这些领域结合了高进口依赖度和较低的国内技术成熟度。

数据来源: [Market Research Future](#), [CSET](#), [Intel Market Research](#), [TurbineBlade.net](#), [HyNickelAlloy](#)

第五章 战略建议：迈向自主和全球竞争的产业升维

为了最大限度地发挥燃气轮机产业在实现“双碳”目标与保障能源安全的双重战略价值，并培育形成极具竞争力的产业，特提出以下针对性建议：

5.1 战略层面：运用政策工具，培育下一个快速成长的自主产业

- **建议：** 运用财政补贴等工具支持自主知识产权燃气轮机通过迅速形成规模和技术（良率）飞轮，培养壮大产业。
- **逻辑：** 抓住全球燃气轮机在 AI 超级周期下供不应求的时间窗口，通过研发补贴，在技术上跨越“热端部件制造”的良率与成本鸿沟；通过市场准入（鼓励）和产业政策（财政补贴）迅速通过规模扩大市场反馈，迭代技术的工艺，形成飞轮。并最终完成“天然气燃烧”到“氢能枢纽”的产业链价值跃迁。

5.2 政策层面：制度化“灵活性”市场，明确燃气轮机的系统价值

- **建议：** 加速在全国范围内推广容量市场和辅助服务市场，将广东、浙江的试点经验标准化、制度化，并探索建立适应燃气轮机“快速响应、长时备用”特点的差异化定价机制。
- **逻辑：** 从根本上改变对燃气电厂的考核与回报逻辑。其核心价值在于提供系统稳定所需的“容量”与“灵活性”，而非单纯的发电量。如果没有明确的经济信号和收益机制作为托底，社会资本将不敢投资燃气调峰电站，电网在新能源高占比下面临的惯量缺失与长时调峰风险将无法对冲。应将燃气轮机视为新型电力系统不可或缺的“系统保险”。

5.3 研发层面：聚焦热端，实施“铸造攻关”

- **建议：** 整合分散的科研资金与力量，集中攻关高温超级合金材料和先进精密铸造工艺，核心目标是跨越“良率死亡谷”，实现高性能

热端部件的低成本、高可靠量产。

- **逻辑：** 这是产业链上最大的“阿喀琉斯之踵”和成本瓶颈。目前国内研发力量相对分散，难以撼动国际巨头数十年积累的工艺数据壁垒。应借鉴重大科技工程的组织模式，集中力量攻克以单晶叶片为代表的精密制造工艺，这是国产燃机能否从“能用”走向“好用且有竞争力”的关键。

5.4 部署层面：打造“零碳融合”先导示范区，抢占未来标准高地

- **建议：** 在内蒙古、新疆等风光资源富集区，布局国家级“风光制氢-储运-氢燃机发电”一体化先导示范区。初期推动高比例掺氢燃烧商业化，逐步向纯氢发电迈进。
- **逻辑：** 此举一石三鸟：一是为西部新能源提供“制氢储能再发电”的全新本地化解决方案，缓解外送压力；二是为氢能燃机技术提供大规模、全链条的“真实场景试验场”，加速技术成熟；三是在全球氢能燃机标准尚未定型之际，通过中国的大规模实践，形成技术规范与系统标准，抢占未来产业规则话语权。

5.5 国际合作层面：统筹“双轨”生态，把握全球时间窗口

- **建议：** 对“合资合作”与“自主创新”实施“分类指导，动态优化”的战略。在利用合资企业保障当前电力系统稳定需求的同时，全力支持自主品牌利用全球供应链紧张的“时间窗口”，以更具性价比和快速交付的优势，主攻“全球南方”市场及国内特定场景。
- **逻辑：** 在全球燃机产能排期至2028年以后的背景下，供应链安全与市场准入本身已成为战略资源。完全的脱钩既不现实也无必要。务实策略在于：以合资保障当下能源安全基线，以自主开拓未来增长空间与战略主动权，最终实现从“市场换技术”到“技术拓市场”的升维。

结语

中国燃气轮机产业正处在一个由全球能源安全博弈、国内电力系统转型与零碳科技革命三重力量共同塑造的历史性窗口期。它已成功跨越了纯粹依赖进口的“跟随”阶段，进入了一个更具能动性的“混合驱动”新阶段：即以合资合作保障当下系统稳定的“基本盘”，同时以自主创新开辟未来增长与主导权的“新赛道”。

未来五到十年的战略抉择与执行效能，将决定中国是成为全球燃气轮机市场的重要参与者，还是规则塑造者。这一进程面临双重决定性考验：在技术上，能否跨越“热端部件制造”的良率与成本鸿沟，决定了国产燃机能否从“技术突破”迈向“市场决胜”，赢得生存与发展的竞争资格；在方向上，能否完成从“天然气燃烧”到“氢能枢纽”的产业链价值跃迁，决定了中国产业是锁定于过渡路径，还是能够主导下一代零碳能源系统的核心节点。

若战略协同得当、执行有力，燃气轮机将彻底摆脱其“过渡性资产”的狭义定位。它不仅是当前高比例可再生能源电网中不可或缺的“稳定锚”，更将进化为连接“绿电”、“绿氢”与“可靠电网”的关键物理枢纽和基础设施。在这一远景下，燃气轮机产业可望成为快速成长的自主可控产业，同时实现能源安全、产业升级与碳中和目标的战略支点，为构建具有韧性、清洁且自主可控的现代能源体系，提供不可或缺的工程基石与系统支撑。

联系我们: CEISD@Shanghaitech.edu.cn