

内部资料

注意保存

天然气发电与分布式能源

2020 年 03 月

总第 91 期



【政策法规及解读】

- 我国燃气轮机核心技术将逐步实现国产化
- 直供：天然气市场化改革的现实选择
- 广东天然气发电发展趋势
- 上海发改委关于阶段性降低本市非居民用户天然气价格支持企业复工复产复市的通知

【项目动态】

- 全球燃气轮机市场趋于稳定 2019 年已增长到 39 吉瓦
- 国内首个双套 H 级燃机机组 1 号主变倒送一次成功
- 国家能源集团广东公司与清远市合作推进清远石角天然气分布式能源站项目
- 美国国家科学院提出先进燃气轮机十大优先研究领域
- 中国能建广东火电签订粤电花都 2 台 400 兆瓦级燃气-蒸汽热电联产项目主体建筑安装工程合同
- 国内单机容量最大冷热电三联供项目天然气供气管线正式通气
- 华能东莞热电项目天然气正式通气
- 中国能建安徽电建一公司中标哈密 9E 燃机 EPC 项目
- 孟加拉国古拉绍电站项目联合循环汽轮机组首次冲转成功

【天然气动态】

✧ 天然气供应动态

- 普光气田产气量恢复到疫情前水平
- 黑龙江哈尔滨天然气应急储备项目明年投用
- 俄罗斯天然气项目或被推迟！中俄天然气东线将暂停对华供气

-
- 中亚天然气管道输气超 3000 亿立方米

✧ 天然气消费动态

- 2020 年 02 月份天然气运行简况
- 云南 2020 年天然气消费量力争达 28 亿立方米

✧ 天然气管道建设

- 中石油管道局中俄东线中段建设“火力全开”
- 甘肃平凉市天然气支线管道 6 月底前可建成通气

✧ 中国天然气月度生产、消费和进口量走势图

【技术点滴】

- 联合循环机组建模及环境参数对其性能的影响

【政策法规及解读】

我国燃气轮机核心技术将逐步实现国产化

集新技术、新材料、新工艺于一身的燃气轮机与航空发动机，被誉为“装备制造业皇冠上的明珠”，各发达国家也将其列为保障国家安全、能源安全和保持国际竞争力的战略产业。为加快推进燃气轮机产业创新发展，国家发展改革委和国家能源局联合印发《依托能源工程推进燃气轮机创新发展的若干意见》，并组织了第一批燃气轮机创新发展示范项目。

在3月6日国家能源局举办的一季度网上新闻发布会上，有关负责人表示，第一批燃气轮机创新发展示范项目力争在2022年前完成技术装备攻关和项目建设。依托该批次示范项目，我国燃气轮机产业长期以来依赖进口的关键核心技术将逐步实现国产化。

聚焦核心技​​术开展示范应用

燃气轮机广泛应用于燃气发电调峰、油气勘探开采、分布式能源和天然气长输管线增压等领域，是关系到电力和油气生产、供应安全以及清洁低碳、安全高效能源体系建设的重要装备。

“长期以来，我国燃气轮机产业一直没有形成完整的产业链，燃气轮机核心技术、备品备件和维修服务等依赖进口，燃气轮机产业难以实现自主发展，已经成为影响我国能源安全和制造业高质量发展的重要因素之一。”国家能源局有关负责人坦言。

2019 年 9 月，国家能源局印发《国家能源局关于将华能南通电厂燃气轮机发电项目等 24 个项目列入第一批燃气轮机创新发展示范项目的复函》，明确就 22 个燃气轮机型号和 2 个运维服务项目开展示范，涵盖哈电集团、东方电气、上海电气、中国航发、中国船舶等国内主要燃气轮机研制单位的重型燃气轮机和系列中小微型燃气轮机。

示范项目聚焦长期制约我国燃气轮机产业发展的热部件等关键核心技术装备，围绕能源产业发展亟需的燃气调峰、分布式能源、海洋和非常规油气开发，兼顾航空发动机的能源改型应用，开展重型燃气轮机调峰发电、中小型燃气轮机分布式能源、海洋平台用燃气轮机以及燃气轮机运维服务技术的示范应用。

上述负责人透露，示范项目力争在 2022 年前完成技术装备攻关和项目建设，依托本批示范项目，我国燃气轮机产业长期以来依赖进口的关键核心技术将逐步实现国产化。同时，重型燃气轮机透平、燃烧室等高温部件制造技术将取得突破，F 级燃气轮机国产化率预期可望达到 90%，首次引进技术的 H 级燃气轮机国产化率预期可望达到 50%；中小型燃气轮机将基本实现自主化制造。

多措并举推动示范项目落实

燃气轮机的创新发展，既面临着一系列新技术、新材料、新工艺的问题，也需要项目业主与燃气轮机制造厂和关键部件研制单位等加强统筹协调、形成合力。

为推动示范项目落实，国家能源局近期组织召开了加强燃气轮机创新发展示范项目组织实施工作会议，研究示范项目进展和存在的问题，讨论进一步加强项目组织实施的有关意见建议。

上述负责人表示，针对示范项目组织实施过程中存在的突出问题，首先要有效发挥行业力量，加强技术指导和支撑。下一步，国家能源局将组织电力规划设计总院、中国机械工业联合会、国家能源分布式能源技术研发（实验）中心、国家能源燃气轮机技术研发（试验）中心等单位和有关行业专家，根据技术攻关和示范项目建设需要，及时组织开展调研，加强技术咨询和评估论证等，为示范项目顺利实施提供技术支撑和保障。

其次，要加强组织衔接，形成工作合力。国家能源局将组织协调有关地方发改委、能源局加强政策指导，按照有关规定加快推进项目前期工作和项目核准，并支持各地方结合实际情况研究制定配套支持政策。督促和协调示范项目业主与燃气轮机研制单位加强衔接、各负其责，细化技术攻关任务清单和执行计划，并明确相关保障措施等。

“还要争取相关支持政策。国家能源局会积极与有关部门和企业衔接，研究争取和落实燃气轮机关键技术攻关和示范相关支持政策和资源。”上述负责人表示，同时要建立工作机制，跟踪了解示范项目进展和存在的问题，及时组织协调和解决；对于取得阶段性成果的示范项目，及时验收总结和推广成功经验。

直供：天然气市场化改革的现实选择

来源：中国能源报 卢延国（国家能源局山东监管办党组成员）

天然气直供和城燃企业之间不是零和博弈，而是可以变成一场多赢的合作。长久以来施行的交叉补贴利弊并存，既难以清晰测算，又造成社会福利净流失。取消交叉补贴是天然气体制改革的必然结果。同时，城燃企业的盈利模式、发展模式也在转型重塑。日前发布的《中央定价目录》已释放出强烈而丰富的天然气价格全面市场化信息，应多措并举、坚定不移推进天然气直供。

直供促进天然气市场实现帕累托最优

3月16日，国家发改委发布《中央定价目录》（下称《目录》）。这个将于今年5月1日起施行的《目录》不仅取消了天然气门站价政府定价，还减少了天然气产业里的其他政府定价项目。与此同时，随着去年底国家管网公司的成立，“放开两头、管住中间”的思路正在铺开，天然气价格市场化改革的信号强烈而明晰，包括城燃企业在内的天然气行业必须做好天然气价格全面市场化的准备，厚积厚发的天然气体制改革必将给我国的天然气产业带来深刻改变。从这个层面上说，作为上游企业和下游客户直接交易的天然气直供，其意义已超越降价本身，市场化改革的方向才是直供真正的价值所在。

何为“天然气直供”？就是用户直接向上游天然气供应商购买天然气用于生产或消费，不再转售。就字面意思来说，“天然气直供”最早见于2012年3月国家发改委下发的《关于规范城市管道

天然气和省内天然气运输价格管理的指导意见（征求意见稿）》提出：“鼓励上游生产企业对城市燃气公司和大用户直供”。其实，就实践层面，天然气直供出现的更早。亦即 2004 年西气东输天然气管线投运之初，国家就在其沿线规划了 10 个燃气发电厂，成为国内首批天然气“直供用户”。近年来，随着天然气市场规模的扩大，天然气直供的话题再度升温。2017 年 6 月，国家发改委、国家能源局等 13 部委出台《加快推进天然气利用的意见》（以下简称《意见》），明确“建立用户自主选择资源和供气路径的机制”，用户可自主选择资源方以及供气路径，减少中间环节，降低用气成本。在天然气市场化改革的大背景下，降低天然气产业链各环节的成本无疑是扩大天然气利用、降低实体经济用气成本的重要途径。

为响应国家直供政策，从省级政府到地市层面多地相继出台了一系列实施办法。下游用户因上游企业提供直供天然气而大幅降低用气成本的报道屡见不鲜。如，去年底开始，中石油山东销售公司对淄博金晶玻璃有限公司实施直供，企业用气成本每方降低 8.9%，年预计可降低用气成本 5700 余万元。明确、有效的降价，凸显了天然气相对于其他替代能源的经济性，天然气直供成为企业用户继直购电之后新的市场期待和推进天然气价格市场化的新动力。“东边日出西边雨”。在天然气直供释放市场红利的同时，直供与国家相关政策冲突、侵犯城燃企业利益的呼声同样不绝于耳。概括起来主要是两点：一是直供政策与城燃企业特许经营权相冲突；二是直供政策剥离了大用户，减少了交叉补贴，造成新的经营困难。

是耶非耶？

原建设部有关规定明确：城燃企业的特许经营权是指在特许经营期限内独家在特许经营区域范围内运营、维护市政管道燃气设施、以管道输送形式向用户供应燃气，提供相关管道燃气设施的抢修抢险业务等并收取费用的权利；享有特许经营权范围内的管道燃气业务独家经营的权利，拥有特许经营权范围内的管道燃气的投资、发展权利。不难看出，特许经营权的核心特点是：一定区域，一定时限，独家享有投资权、建设权、经营权，排他性、唯一性、垄断性。自然，在特许经营范围内，实行直供的确与特许经营权相冲突。在特许经营范围之外实行直供的情况基本不存在，特许经营范围的界定已是“普天之下莫非王土”，所谓新增工业园区则更是凤毛麟角。

天然气直供与特许经营权有冲突是事实，那么直供是不是就一定损害城燃企业的利益呢？让我们来看经济学上常见的两个孪生概念：帕累托最优和帕累托改进。前者是指资源分配的一种理想状态，即假定固有的一群人和可分配的资源，从一种分配状态到另一种状态的变化中，在没有使任何人境况变坏的前提下，也不可能再使某些人的处境变好。后者是指假定固有的一群人和可分配的资源，如果从一种分配状态到另一种状态的变化中，在没有使任何人境况变坏的前提下，使得至少一个人变得更好。帕累托最优就是不可能再有更多的帕累托改进的余地，是资源分配中的“理想王国”，帕累托改进是达到帕累托最优的路径和方法。的确，政府特许经营

权具有唯一性、排他性，静态地看，直供确实是瓜分了城燃企业的“蛋糕”，减少了经济收益。可如果是通过直供把蛋糕做大了再分呢？或者是增加了分奶酪的机会呢？在电力体制改革中，大用户直购电得以顺利推进的一个很重要原因就是实现了包括电网企业在内的多赢的局面，不是简单的“分蛋糕”而是“做大蛋糕”，依靠增量改进等渐进式的办法，实现甚至增大各市场主体的欲望满足。分析直供诉求，不能满足新增用量者有之，城燃企业管道覆盖不到（在特许经营区域内）者亦有之，在现有政策下，直供能够满足用户的需要，则上游企业、下游用户都获得了更好的境况，城燃企业境况亦没有变坏，倘若在直供过程中，城燃企业提供了管输服务或者参股建设了新的管道而增加收益，其自身的境况自然会变得更好。岂不是典型的帕累托改进案例？实践证明，天然气直供可以是促进天然气市场实现帕累托最优的一种路径，直供用户和城燃企业之间不是零和博弈，而是可以变成一场多赢的合作。改革政府特许经营权制度不是简单地对制度进行废止，而是坚持目标导向，充分考量城燃企业和直供的关系，稳步推进。再者，特许经营权制度是近 20 年前政府为发展城市燃气而推出的一项举措，在发展城市燃气、加快城市燃气设施建设的过程中，起到了积极作用。但随着天然气体制改革的推进和城市化水平的提高，已不能满足各类用户释放出的用气需求。如果说特许经营权制度初期是政府给予城燃企业的一种保障性制度安排的话，那么今天已经成为城燃企业经营发展的路径依赖，而且这一制度本身就有规定期限，是一种过渡性安排，

特别是在全面深化改革的新形势下，这一制度已成为建立天然气价格市场化机制的桎梏，必须进行改革。

改革必然涉及利益调整。天然气直供不过就是天然气产业链不同环节企业之间利益的一次调整和再分配。推进特许经营制度改革，一是建立过渡期制度，并做好与特许经营协议规定期限的衔接，过渡期内城燃企业享有燃气基础设施的投资权、建设权、经营权。二是培育新的市场主体和经营业态。支持其他社会资本进入城燃市场，增强市场活力。三是实行兜底政策，对城燃企业因特许经营权制度改革产生的搁浅成本兜底，逐步通过市场化手段进行分担。对民生用气兜底，确保居民用气安全稳定，让改革的力度与社会的可承受度相适应。

取消交叉补贴是天然气体制改革必然结果

交叉补贴本来是一种常见的营销行为，但因为是由政府的管制所导致，于是垄断行业的交叉补贴成为一个经济性、社会性兼具的问题。并非天然气行业独有，电力行业同样存在，更不是我国的特色，在许多行业的发展初期，世界各国大都存在过交叉补贴。何谓交叉补贴？简言之就是同一种商品因定价不同造成的一部分用户对另外一部分用户的补贴。交叉补贴对城燃企业来说是指工商业对居民用户的补贴，即城燃企业用非居民用户气价格来补贴居民用气的价格。表面上看是城燃企业用非居民用户气价来补贴居民用气，实质上是政府在对居民用气进行补贴。

天然气的交叉补贴成因很简单。即居民用气点分散、终端多、单位用气量低，运行成本高于工商业用户，但销售价格却低，而在我国现行的天然气价格体制中，为保障民生用气和社会稳定，居民用气价格一直受到政府管制，无法反映实际成本，造成价格倒挂，只能用非居民用户气价来补贴居民用气的价格。

从表面上看，交叉补贴保护了弱势群体，体现了公平。但实际上用气量大的居民（常常是拥有财富较多的）却获得了更多的补贴，难言公平。同时，居民少缴气费、工商业多缴等额气费，乍看是财富转移问题，实质上却是社会福利的净流失，因为由此造成的社会损失远远大于收益，既不公平也没有效率。在这个过程中，政府保障民生用气的初心并没有如期实现，甚至民众并不清楚政府对气价进行了补贴（这是暗补的通病），对部分该补贴居民的“最惠”变成了对所有居民的“普惠”。对城燃企业来说，交叉补贴并没有带来直接的经济利益，相反，由于交叉补贴的存在，在向上游购气时，因为获批复居民气量不足以满足下游居民用气需求，城燃企业只能把高于居民气量价格的非居民指标用于居民气量销售，导致城燃企业交叉补贴扩大（这一现象在采暖季相对明显）。这个过程，利弊并存，没有完全的赢家。

交叉补贴让城燃企业站在了一个超越企业本身的制高点上，因而也就成了向政府讨价还价的貌似永远适合的理由。城燃企业的理由有其合理性。一则居民供气成本高，尤其是在巡检、维修、抢险、调峰等方面投入的成本远远大于工商业用户，二则和国外相比，国

内居民用气价格普遍不及国外一半，除了国内一二线城市，大多数城市燃气企业都没有达到盈亏平衡点。在“为政府承担民生用气保障”，甚至“补贴居民用气造成的亏损”之类的说词面前，政府似乎必须为城燃企业的交叉补贴进行“补贴”。

交叉补贴既难以清晰测算，又造成社会福利的净流失。实事求是地说，因为城燃企业承担了本该是政府承担的民生用气保障责任，所以监管措施上，政府常常有意无意地表现出科尔奈所谓的“父爱主义”的倾向，致使监管缺失。例如长期被诟病的城市燃气每户的“工程安装费”问题，我国的城市燃气管网总长度早已从“十五”末的 17.7 万公里提高到“十二五”末的 60 多万公里，到今年底更会有巨量的增加。与城燃管网密度提高、用户数量增加、单位运维成本降低相对应的，应该是城燃企业管网建设费用的大幅度摊薄，但由于“工程安装费”的定价权在地方政府，面对“为政府承担民生用气保障”的城燃企业，这笔费用的降低，便是难乎其难。当前远超实际成本的全国平均高达 2670 元/户的安装费用已是岿然不动。既然交叉补贴关系企业盈亏，那么交叉补贴的数字是多少，规模有多大？而这些数字却难以得知。从根本上说，交叉补贴是一种“肉烂在锅里”的非计划非市场的糊涂账，而要形成市场化的价格机制，必须厘清交叉补贴的规模与数量，既然算不清，也无法算清，最好的办法就是逐步取消。如果说直供促进天然气价格市场化机制的形成，无疑交叉补贴便是一种阻碍。随着天然气体制改革的推进，取消城燃企业特许经营权和价格上的交叉补贴是改革的必然结果。

事实上，交叉补贴在城燃企业利润中的份额普遍下降。2019 年我国全社会天然气的表观消费量 3067 亿立方米，居民用气占比仅为 13%。有统计表明，随着天然气价格改革的推进，全国多数地区天然气居民用气价格基本实现了与工业用气价格的并轨，气价总体水平降低。以山东两地市 2019 年数据为例。上游气源方在山东地区夏季平均供气价格为 2.2 元左右，居民用气价格为 2.02 元/立方米；冬季平均供气价格在 2.4 元左右，居民用气价格为 2.02 元/立方米。济南一档居民用气 3.3 元/立方米，二档气 3.8 元/立方米，三档气 4.8 元/立方米。青岛一档居民用气 3.25 元/立方米，二档气 3.83 元/立方米，三档气 4.7 元/立方米。门站价和终端销售价的价差固然无法全部覆盖成本，但至少可以看到价格的倒挂已远不像城燃企业反映的那样突出，交叉补贴在城燃企业利润中的份额下降较大。交叉补贴在发展城市燃气、加快城市燃气设施建设的过程中，起到了积极作用。但从长远看，交叉补贴掩盖了天然气的商品属性，消弭了市场信号，抑制了企业的竞争活力，加剧了企业的政策依赖，已成为推进天然气体制改革特别是价格市场化改革的阻碍，减少乃至取消交叉补贴将是改革的一个必然结果。曾有机构测算，随着居民生活水平的提高，即便是将居民用气全部市场化，用气支出占城镇居民人均可支配收入的提高幅度也完全在可承受范围。若如此，交叉补贴便可不复存在，工商业用气价格自然下降，全社会气价水平整体降低。

最近公布的《目录》，已释放出强烈而丰富的天然气价格全面市场化信息。随着“具备竞争条件省份天然气的门站价格由市场形成”，城燃行业将不可避免地迎来新一轮整合。借鉴电改中输配电价形成机制，测算厘清交叉补贴；避免交叉补贴规模增大，降低工商业气价负担，不应再降低居民气价；调整阶梯气价一级气量，提高居民气价水平；通过提高居民最低生活保障、变暗补为明补等方式，建立完善保障天然气普遍服务制度，确保低收入人群的基本生活应用气。凡此种种，与交叉补贴取消相伴生的注定是城燃企业盈利模式、发展模式的转型重塑。

坚定不移推进天然气直供

当前，我国已经进入全面深化改革的历史时期。深水区的改革，需要做好“摸着石头过河”与顶层设计的结合，更需要增强工作的系统性、整体性、协同性。气价改革牵一发而动全身，把推进天然气直供作为加快天然气价格市场化形成机制的重要环节，从一隅之试验，求全局之题解。这既是认识论的一个过程，也是实践论的最后归宿。把在一时一地、一行业一领域所获得的经验，再付诸更广的实践，实现更大的价值，发挥顶层设计的决定性作用，彰显顶层设计的全局意义。

首先，要秉持渐进式改革的理念，做到“小步快跑不停步”。降低终端气价是一个系统工程，在上游市场未放开、中间管网开放不够的情势下，通过“直供”大面积降低气价，难度很大，但仍然是目前在天然气价格改革中容易打开的缺口，既有降价的现实作

用，也有倒逼改革的长远价值。直供的意义超过了降价本身，必须坚定市场化方向，让直供成为城燃企业走向市场化道路的新契机。

其次，应增强系统性、整体性和协同性。天然气直供绝不仅仅是上下游企业之间的商业交易，其中既关系到国际能源合作，也联系着千家万户的锅台灶头，直接影响着城燃企业的利益和天然气管网的安全有效运行，兹事体大。一个《意见》的出台，涉及 13 个中央部门，足见天然气在经济社会中的位置和影响之重、产业关联之紧密。必须强化改革的系统性，做到整体考量，把逐步打破上游市场的垄断、加强勘探开发、强化中间环节的监管和开放下游市场协同推进，积极探索利用社会资本、市场化手段解决城市供气基础设施服务的思路和办法，用无形之手拓宽天然气直供之路。

再次，要加强市场监管。市场机制不顺是制约我国天然气发展的两大短板之一。天然气行业本身所具有的自然垄断属性决定了加强监管的必要性。直供作为天然气市场化改革的重要组成部分，要从提高能源治理体系和治理能力现代化水平的高度着眼，强化监管。无论是在竞争性环节还是自然垄断环节，目前都缺乏相应的监管机制和手段。加强监管就要涵盖市场准入、政策执行、交易环节、交易成本、价格构成的全过程，实行信用监管、回应性监管、包容性监管，提升监管的效能。直供激活“一池春水”。在能源革命的进程中，凭籍更加完备的市场基础和“放开两头、管住中间”思路的落地落细，只要咬住市场方向不动摇，天然气体制改革的后发优势必将愈发彰显。

广东天然气发电发展趋势

来源：能源情报 作者：陈凯 朱雪飞 王美

天然气发电作为一项新兴技术产业近年来发展迅速，同时也带动了天然气轮机和天然气发动机等天然气动力设备的发展。天然气依靠其自身优势，受到越来越多青睐，凭借环保、速启速停等优点，已越来越多地应用于我国电力系统调峰调频。我国天然气发电行业正处于起步阶段，目前而言尽管我国天然气发电装机总量在持续增长，但远远比不上煤电和风电、太阳能等发电类型的发展势头，其装机容量占全国总装机容量的占比从未超过 4.5%。适当发展天然气发电可以调整广东省电网的电源结构、增加电力供应。广东省政府在 2018 年提出：促进天然气利用，提高天然气在一次能源消费中的比重，是全省打好大气污染防治攻坚战、优化能源结构、构建清洁低碳安全高效现代能源体系的重要举措。天然气发电对电力系统调峰需求、电源结构优化和环境保护等方面影响着广东电力行业的发展。

1、广东省天然气发电发展现状

(1) 从天然气发电项目规模来看，从 2006 年建成深圳大鹏 LNG 接收站和珠海横琴岛海上天然气接收站开始，广东省天然气利用进入较快发展时期。在政策导向下，“十二五”至“十三五”期间，广东省大规模发展天然气发电机组的建设。截至 2018 年年底，广东省建成的天然气电厂共 39 家（包括天然气调峰、热电联产、分布式能源站），天然气电厂总装机容量达 2363 万千瓦，现有天

然气电厂装机均分布在珠三角地区。燃油的 27 台 9E 机组通过油改气改造，陆续成为天然气发电机组。

(2) 从天然气发电消费情况来看，2018 年全省天然气消费量约 220 亿立方米，占全国天然气消费量约 7.8%，全省天然气消费量居全国第三。全省天然气消费量按地区划分，珠三角地区占据 91.80%，粤东地区占 4.6%，粤西地区占 1.2%，粤北地区占 2.4%。

(3) 从天然气消费结构来看，城市居民天然气用气、发电用气、工业燃料及其他用气占比分别为 21%、49% 和 30%。可见，广东省天然气消费量主要在发电用气。虽然广东省天然气消费量增长速度快，天然气消费比重由 2015 年的 6% 提高到 2018 年的 8.7%，但仍远低于世界平均水平（约 24%），因此，对天然气的利用水平仍有待提高。

(4) 从平均利用小时数层面来看，2018 年前，以大鹏 LNG 项目一期配套的四家 9F 机组天然气调峰电厂为代表的天然气发电项目，其发电原则上是“以气定电”，四家电厂每年设备平均利用小时数基本稳定在 3000 小时左右。近年来，广东省天然气发电的利用小时数稳步提升，但受调峰调频需要和天然气供应影响，天然气发电机组启停次数较多、年利用小时数仍处于较低水平。

(5) 从目前广东省各类典型电厂上网电价来看，广东省天然气价格在全国处于较高水平，且相对比其他发电类型要高(如表 1)，天然气燃料成本在发电成本中占比超过 70%，燃料成本价格成为影响天然气电厂经营最重要因素。

表1 广东省各类电厂上网电价

电厂类型	电价 / (元/kW·h)
煤电	0.451
水电	0.438
核电	0.430
风电	0.610
三峡电	0.409
云贵西电	0.502
气电	0.533 / 0.665

注: 0.533 为配套大鹏 LNG 一期项目的天然气电厂上网电价, 0.665 为其他气电价格。

能源情报

广东省不断下调天然气发电上网价格。2018 年 9 月 3 日, 广东省发改委下发了《关于降低天然气发电上网电价有关事项的通知》, 按照通知要求, 自 2018 年 7 月 1 日起, 广东省内 36 家天然气发电企业的上网电价统一调整为 0.665 元/ 千瓦时, 即这 36 家天然气电厂的大多数机组上网电价下调 5 分钱。 国家和广东省均在严格控制新增煤炭消费, 特别是珠三角地区需要实行煤炭减量管理。在粤港澳大湾区、“一核一带一区”发展战略引领下, 广东将加快推动能源结构优化调整。

2、广东省天然气发电存在的问题

2.1 缺乏统一规划 广东省天然气利用整体起步较晚, 主要配合国家三大油气企业项目实施为主, 并未从本地区角度开展全面

统筹规划，特别是缺失省级政府层面的统一管网规划，油气和管网企业各自建设区域内的管网设施，部分区域存在重复建设的现象，出现天然气主干管道存在“多张网”并存格局，影响了配套管网建设进度。

2.2 天然气利用成本较高 广东省天然气资源主要依靠外地长途调入，运、销环节较多，下游终端利用成本较高。下游城市天然气公司配气站加装计量设备以收取管输费，增加收费环节，推高终端用户用气成本。以单位热值的燃料成本计算，天然气是煤炭的两倍以上，天然气在以煤炭为主要燃料的传统制造业和发电行业的竞争力较低。

2.3 气源、管网资源垄断 广东省天然气气源项目业主以中海油、中石油为主，中海油、中石油占据广东天然气气源的 90% 以上，仅有广东九丰储备库等少量第三方资源。受气源垄断、资源落实不理想、高价长协气合同、冬季保供等因素影响，广东省天然气气源资源的实际供应保障程度整体较低。这与广东省煤炭资源保障性较强，价格完全市场化的发展水平具有较大差距。

2.4 缺乏调峰气电 目前广东省天然气价格较高，气电采用单一上网电价机制，调峰气电因发电小时数不高，参与调峰的作用和价值没有得到充分补偿，缺乏合理的投资收益模式，投资商建设调峰气电的积极性不高。截止到 2018 年 12 月，广东已核准未投产的天然气热电联产项目和分布式能源站项目共计 32 个，装机规模达到 1886 万千瓦，而同期核准的调峰气电仅有东莞樟洋电厂 1 座，

规模为 94 万千瓦。大规模热电联产气电投产之后，将进一步增大电网的调峰压力。

3、广东省天然气发电发展形势分析

广东省根据党的十九大提出的“持续实施大气污染防治行动，打赢蓝天保卫战”要求，出台了相应的工作方案。随着油改气的完成，广东省进一步提出了煤改气措施，但煤改气面临着缺乏统一规划、产业承受力弱等问题。

3.1 天然气供应环境分析 目前，广东省已建成跨省长输管道天然气、进口液化天然气和近海天然气等“多源互补、就近供应”的供气模式，建成天然气供应项目 9 个，供应能力约每年 468 亿立方；初步形成珠三角地区内、外环网约 2200 公里，全省 13 个地级市联通天然气主干管网。从图 1 可看出，广东省目前天然气完全依赖进口及国内资源省份输入，天然气资源供给受限。总体来看，广东省天然气供应能力充足，但与 470 亿立方米/ 年的供应能力相对应，广东省 2018 年天然气消费量仅有 220 亿立方米；主要原因是广东省天然气供应受制于上游资源落实、价格、市场开拓、管网设施等问题，供应能力尚未充分发挥。

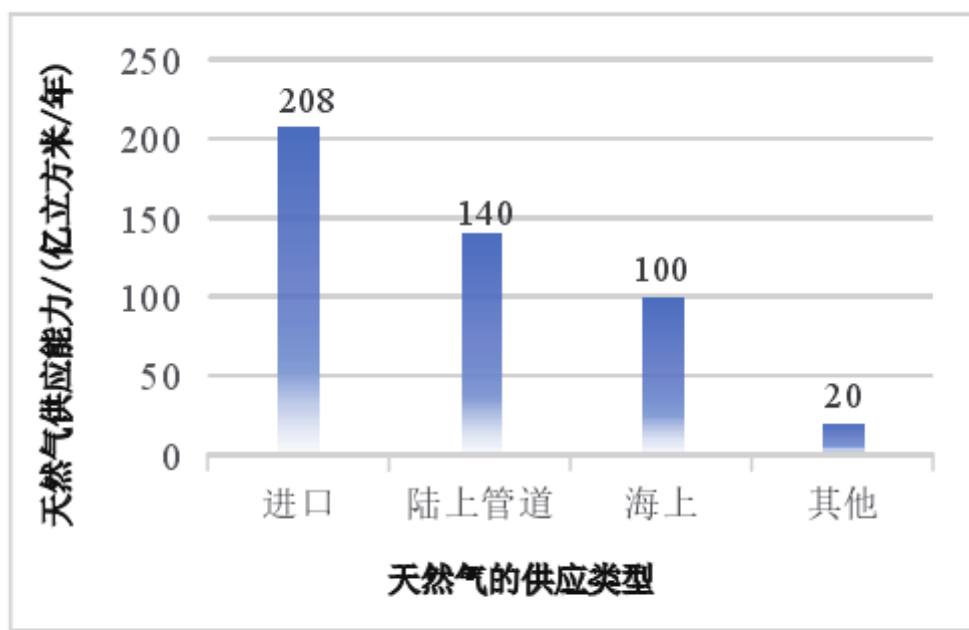


图1 2108年广东省天然气供应能力 能源情报

3.2 广东省天然气发电发展运营预测分析 (1) 珠三角地区仍是广东省气电发展的核心地区。在电力负荷平稳增长、天然气价格相对较高、气电上网电价呈现下降趋势以及打赢蓝天保卫战的综合影响下，广东省天然气发电仍将主要集中在珠三角地区，特别是煤改气重点地市将是未来气电新增的主要来源，包括东莞、广州、江门等。

(2) 分布式能源和 6F 燃机将是广东省新增气电主体。当前广东省各地市拟规划新增的天然气发电项目主要是分布式能源项目和 6F 机组，未来这将是广东省电力行业新增天然气需求的重要载体。广东省天然气消费情况如图 2 所示，到 2020 年，天然气消费量比 2015 年翻一番，比重达到一次能源的 11%，到 2025 年将预计达到 15%。



图2 广东省天然气消费情况

能源情报

(2) “十三五”末广东省电力供应形势紧张。“十三五”中后期广东省气电将较快增长，考虑已核准电源项目，结合国家“三个一批”等相关政策，以用电最高负荷的 15% 作为系统备用，预计 2020 年电力缺额达到 909 万千瓦。在不考虑电力煤改气项目的情况下，按照当前广东省已核准天然气发电项目的建设进度安排，预计 2020 年广东省新增气电装机规模为 672 万千瓦。

4、应对策略与发展方向

4.1 合理推进天然气发电项目 提高天然气利用水平，是广东省目前面临的亟需解决的关键性问题。合理推进天然气项目的发展，可提高天然气在广东省能源结构中的比例。一是加快主干管网的建设，尽可能地提高天然气在广东省的利用程度，解开天然

气分布在非珠三角地区的大锁，保障天然气的长期稳定供应，促进实现人们对美好生活的向往。二是构建多元化供应体系，形成适度竞争运营模式，避免资源的高度垄断。鼓励相关企业参与天然气的供应链，通过有效地利用各个接收节点，增加天然气的供应量，进而有效降低用户购买价格。

4.2 完善天然气供应及储备设施 我省天然气还处于成长期，天然气供应设施还有待进一步完善，以满足天然气的利用发展需求。相关主管部门应合理规范天然气的管理，统筹天然气管网、应急调峰储气设施、储气库建设并实现互联互通，提高应急保障能力。天然气基础设施运营企业须按照调峰和应急要求建立天然气储备设施，鼓励大型企业用户建立自有储备设施，配合调峰。合理布局压缩天然气(CNG)母站、液化天然气(LNG)储配站，优先在管网未覆盖的区域建设CNG、LNG供气设施，加快CNG、LNG加气机计量检定能力建设。

4.3 加快落实天然气利用体制机制改革 一是重点落实广东省“全省一张网”工作，有利于天然气利用的管理。通过建设输气管道全省一张网，提高气源的竞争程度，加大用气量，进而降低天然气的价格。二是提高天然气发电的标准要求，形成高标准、促环保的发展趋势。热电项目机组发电调度以保证供热安全和电网运行安全为前提，以供热为主要任务，按照“以热定电”原则安排发电。三是强化天然气发电管理，构建有序低碳的电力系统。定期组织开展对热电项目核查和评价工作，按年平均能源综合利用

率、热电比、热耗率等指标，对各项目供热情况进行核查和评估评级。对虚报供热量、热电比、热效率等指标的企业，纳入信用体系建设“黑名单”。

4.4 充分发挥天然气自身优势，加大应用广泛度 因为天然气的低碳环保等优势，其应用发展空间十分广阔。根据国内天然气利用的几种主要方式，下游应用领域可以分为居民用气、工业化工用气、发电供热以及交通能源等。在发电层面，在能源负荷中心积极发展天然气发电，鼓励天然气与风电、光伏等其他新能源相结合，形成多能互补的发电模式；加强煤改气项目的实施力度，减少对煤的依赖。在企业层面，大力支持传统能耗企业向清洁能源转型，发展成以天然气为能源载体的新一代企业。

5、结论

为提高天然气的利用水平，广东省要从解决上游资源落实、价格、市场开拓、管网设施等问题出发，合理推进天然气发电项目，建设稳定可靠的供应及储备设施，充分发挥天然气优势，提高天然气发电的占比，不断优化能源结构。为降低广东省天然气使用价格，需要建成多元化供应体系，重点落实广东省“全省一张网”工作，提高天然气发电的建设标准要求，强化天然气发电管理，提高气源的竞争程度，加大用气量，进而降低天然气的价格。在电力负荷平稳增长、天然气价格相对较高、气电上网电价呈现下降趋势以及打赢蓝天保卫战的综合影响下，广东省新增气电以分布式能源和 6F 级燃机为主，主要新增气电集中在珠三角地区，特别是煤改

气重点地市将是未来气电新增的主要来源。

上海发改委关于阶段性降低本市非居民用户天然气价格支持企业复工复产复市的通知

各燃气销售企业：

按照《国家发展改革委关于阶段性降低非居民用气成本支持企业复工复产的通知》（发改价格〔2020〕257号）关于提前执行淡季价格政策和降低终端销售价格的精神，结合本市实际，为助力疫情防控，降低企业用气成本，支持企业复工复产复市，经研究，决定阶段性降低本市非居民用户天然气销售价格。现将有关事项通知如下：

一、一般非居民用户天然气销售价格旺季（2020年2月22日至3月31日，下同）降低10%，淡季（2020年4月1日至6月30日，下同）降低5%。

二、化学工业区天然气销售价格旺季降低0.31元/立方米，淡季降低0.13元/立方米。

三、漕泾热电天然气销售价格旺季降低0.31元/立方米，淡季降低0.01元/立方米。

四、2020年2月22日至6月30日，天然气发电厂天然气销售价格降低0.01元/立方米。

具体价格见下表：

非居民用户天然气阶段性销售价格调整表

单位：元/立方米

用户分类		调整后	
		2020年2月22日-3月31日	2020年4月1日-6月30日
漕泾热电		2.34	2.34
天然气发电厂		2.44	2.44
化学工业区		2.59	2.47
一般非居民用户	500万方以上	3.03	2.92
	120万-500万方	3.47	3.37
	120万方以下	3.62	3.53

五、燃气销售企业对原双方协商后给予用户的价格优惠，优惠继续实施、不得冲抵。

六、请各有关单位认真做好抄表、结算、政策宣传解释等相关工作，提高服务质量和保障水平，确保降价措施及时落实到位，保障全市燃气稳定安全供应。

上海市发展和改革委员会

2020年3月12日

【项目动态】

全球燃气轮机市场趋于稳定 2019 年已增长到 39 吉瓦

来源：两机动力控制 ID: GTC2006

导读：3 月 4 日，GE 发电首席执行官斯科特-斯特拉兹克（ScottStrazik）表示，全球燃气轮机市场将趋于稳定，部分原因是因为全球范围内可获得更多的天然气。

斯特拉兹克在 GE 公司的年度《投资者展望》详细的阐述了他的观点，《投资者展望》是 GE 公司向投资专业人员提供的公司年度运营概览，在该报告中详细的提供了该公司各业务部门的数据信息，并指出发电部门在削减成本和提高利润率方面显示出“进步的迹象”。

斯特拉兹克表示：“去年，我们分享了 GE 发电的发展历程，并且仍走在继续发展的道路上，天然气发电和电力组合还可以做得更好。”

近年来，由于可再生能源的增长对天然气发电市场的冲击，导致全球燃气轮机市场陷入困境，这让全球最大的三家燃气轮机制造商 GE、西门子和三菱日立系统公司均在燃气轮机业务上陷入困境，GE 和西门子更是裁员上万人。

斯特拉兹克说，现在燃气涡轮机市场已经稳定下来，他引用数据指出，2019 年全球大型燃气轮机订单为 39 吉瓦，比 2018 年的 29 吉瓦有所增长。同一时期，GE 公司在 2019 年的燃气轮机订单为 16 吉瓦，高于 2018 年的 10 吉瓦。

斯特拉兹克进一步解释道，燃气轮机的订单是由发电驱动的，正在替代燃煤发电和核电，而全球液化天然气（LNG）使用量的增长也对此产生了积极影响。

GE 发电在 2019 年有 18 台 HA 重型燃气轮机订单，并表示预计到 2020 年将交付 45-50 台燃气轮机，高于 2019 年的 38 台。他说，GE 发电在 2019 年将固定成本削减了 10%，部分原因是该部门的员工减少了约 2,000 人。他说，预计今年固定成本将再削减 10%。

GE 发电产品部首席执行官罗素-斯托克斯（Russell Stokes）说，该公司将继续专注于船舶，石油和天然气及其他领域的盈利市场，并将继续将其设备生产转移到“低成本”地区，从而部分地削减其汽轮机业务的成本，让它继续适应新的能源格局。

斯托克斯说：“鉴于煤炭发电的不利现实，该团队正在积极调整其业务战略，着眼于利用市场上一流的蒸汽轮机发展核能和生物质发电的全球机会。”

GE 公司还在 2 月 26 日宣布，它已首次实现了使用储能电池系统的重型燃气轮机黑启动，GE 称其为混合发电，它是在 Entergy 公司路易斯安那州佩里维尔电站的一台 150MW 的 GE 7F.03 燃气轮机上实现的。

GE 公司还谈到了最新的冠状病毒对其业务的影响，预计第一季度的自由现金流将受到 3 亿至 5 亿美元的影响，其中受伤最严重的属于 GE 航空集团。GE 集团公司首席执行官拉里·卡尔普（Larry Culp）告诉投资者：“我们今年以来发展势头强劲，努力解决了最紧迫的问题，并在 2019 年重新设立了基金会。尽管还有更多工作要做，但鉴于 GE 团队，技术以及全球影响力和能力的强大，我对我们的执行能力充满信心。”

国内首个双套 H 级燃机机组 1 号主变倒送一次成功

来源：微信公众号“中国电力报” ID: zgdlb_CEPN

4 月 18 日凌晨 01 点 38 分，华电广州增城燃气冷热电三联供工程（2×670MW）#1 燃机主变倒送电一次成功。这是该公司自天然气正式通气后，如期实现的又一重大里程碑节点。为#1 燃机点火与整套机组启动提供了新的电源支撑。

增城项目厂址位于广州市东部经济腹地，作为国内单机容量最大冷热电三联供项目及国内首个双套 H 级燃机项目，采用目前世界上最先进的西门子 SGT5-8000H 高效燃机，项目建成后能有效适应广州市负荷增长及电力发展需要，减轻电网建设压力，降低网损，为广州负荷中心提供主力电源支撑，提高系统运行的经济性及供电可靠性。

与大型燃煤电厂相比，该项目占地紧凑，代之以面积较小天然气供应系统，用地较大型燃煤电厂减少 50%，用水量减少 2/3，运行人员人数减少 80%，有效节省大量的水、土地及人力物资资源。通过运用低氮燃烧技术+高效 SCR 脱硝技术，污染物排放浓度优于国家标准。同时还能取代周边分散锅炉，减少烟尘排放 1437 吨/年，二氧化硫排放 2230 吨/年和氮氧化物排放 251 吨/年。较同等规模燃煤电厂每年减少约 55%二氧化碳排放量，可显著缓解广州地区环保压力。同时，充分利用主机设备提供的趋势预警与故障诊断、热力性能分析与优化两大模块为核心，结合虚拟化、大数据、云计算、人工智能、现代通信等手段，秉承着“智能管理、优化高效、

创新卓越、效益显著”的理念，实现发电、供能的数字智能化管理。

据悉，项目目前已完成一号机的全部安装工作，进入调试阶段，二号机安装已达 75%。机组计划于 7 月双投，届时将华电广州增城项目打造成为“高效、节能、环保、智慧型”电厂，成为粤港澳大湾区和广州市重要的能源支撑点，助力广州市加快建设新型智慧城市，打赢蓝天保卫战。

国家能源集团广东公司与清远市合作推进清远石角天然气分布式能源站项目

4 月 9 日，国家能源集团国电广东电力有限公司与清远市人民政府深化地企合作，促进共赢发展，共同就合作开发清洁能源项目，加快清远石角天然气分布式能源站项目前期步伐，达成投资规模、项目用地等一系列实质性成果，双方携手全力推进项目早日落地落实，实现规模质量效益丰收。

清远石角天然气分布式能源站项目列入了广东省“十三五”能源发展规划，也是广东省 2020 年重点建设前期预备项目，拟建设 2×10 万千瓦级燃气—蒸汽联合循环抽凝热电联产机组及配套供热管网。项目投产后能切实解决清远市清城区石角镇石角工业园、建滔工业园、广清产业园、石角港口物流园等园区较迫切的集中供热需求。可替代区域内分散燃煤小锅炉，显著减少二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和粉尘等污染物排放，年节约标煤约 60 万吨、年产值 7.8 亿元，上缴利税 6000 万元，可为公司在粤扩大优质资产规

模和助力地方经济建设带来实实在在的成效。

美国国家科学院提出先进燃气轮机十大优先研究领域

近日，美国国家科学院发布了受美国能源部委托完成的《先进燃气轮机技术》报告指出，未来数十年全球燃气轮机市场将保持强劲增长态势，预计到 2032 年其市场规模有望达到 1100 亿美元（当前市场规模为 900 亿美元），主要的增长驱动力来自发电、油气和航空三大应用领域。为了保持和强化美国燃气轮机在全球市场的领先地位，该报告确定了面向 2030 年燃气轮机技术在上述三大应用领域的研究目标，以及实现目标需要优先开展的十大研发领域，关键点如下：

一、燃料轮机在三大应用领域的研究目标

1、发电领域

（1）**提升燃气轮机效率：**将燃气轮机联合循环的发电效率提高到 70%，单循环效率提高到 50%以上。

（2）**提升燃气轮机与可再生能源发电集成的兼容性：**减少燃气轮机的启动时间，提高燃气轮机以简单和组合循环运行的能力，使其能够适应灵活的电力需求，满足与可再生能源和储能系统集成在一起的运行要求。

（3）**减少 CO₂ 排放量：**在保持性能前提下，将碳排放量减少到“尽可能接近零”，同时仍满足氮氧化物（NO_x）排放标准。

（4）**提高燃料灵活性：**能够使用高比例（甚至 100%）的氢气

和含各种成分的其他可再生气体混合燃料。

(5) 降低电力成本：降低长周期平均发电成本，以确保在长期内可以拥有与太阳能和风力发电系统相当的成本竞争力。

2、航空领域

提升燃烧效率：开发先进技术，提高燃烧效率，使窄体和宽体飞机的燃油消耗量比目前同类最佳的涡轮风扇发动机减少 25%，同时减少军用飞机的燃油消耗。

3、油气领域

(1) 提升燃料灵活性：能够使用高比例（甚至 100%）的氢气和含各种成分的其他可再生气体混合燃料。

(2) 基于状态的运维：利用数字化技术提高设备实时运行故障预测和维护能力，在不降低可用性或可靠性的情况下，将天然气管道压缩站的不间断运行时间延长至 3 年或更长。

(3) 灵活的电力需求和效率：为管道压缩机站（以及其他石油和天然气应用）设计一种燃气轮机，能够处理大载荷波动，并在部分载荷下运行，其效率超过使用电动压缩机站的效率。

二、燃料轮机十大优先研究领域

为了确保能够实现上述发展目标，报告提出了未来十年燃气轮机十大优先研究领域，每个领域包含 1-3 个研究主题。前 5 个研究领域集中在基础科学知识和技术研究，剩下 5 个主要关注系统层面开发：

1、燃烧。进一步完善低排放燃烧系统所需的基础理论知识，

包括：可以满足更高联合循环效率所需的更高温和高压环境，包括恒压和增压燃烧系统；具有不限制燃气轮机的瞬态响应或调节能力的运行特性（即一种宽功率范围运行的能力），以及多燃料运行特性。包括 3 个优先研究主题：

（1）基础燃烧性能。针对恒压和增压燃烧室，研究基本燃烧特性，实现对宏观系统排放和运行性能的有效控制。

（2）在高温高压下减少有害排放的燃烧概念。明确在高效循环中可接受的有害排放水平的燃烧概念。

（3）燃烧室的运行和性能限制。发展更好地理解并预测燃烧运行极限的能力，这些性能极限限制了燃气轮机的整体瞬态响应（例如，快速改变负荷以支持间歇性可再生能源并网）、降低转速以及适应可变燃料成分的能力。

2、结构材料和涂层。包括：开发生产陶瓷基复合材料所需的技术；先进的计算模型；先进的金属材料和部件制造技术，以提高燃气轮机的效率，减少其开发时间和生命周期成本。包括 3 个优先研究主题：

（1）陶瓷基复合材料的性能和应用性。开发一种新的加工方法，能以比目前更低的成本制造更高质量的碳化硅（SiC）纤维，从而支持陶瓷基复合材料（CMCs）在燃气轮机热气路径中的广泛应用。

（2）基于物理的寿命模型。建立基于物理的寿命计算模型，解决热段涡轮材料的环境老化问题。

(3) 先进的合金技术。开发先进的高温合金和这些合金的部件设计概念。

3、燃气轮机增材制造工艺。将基于模型的燃气轮机材料（已经使用的以及正在开发的先进材料）、材料工艺、制造机器、设计工具和车间设备集成在一起，以加快设计进程并提高部件良品率。包括 3 个优先研究主题：

(1) 将设计流程和增材制造工程集成耦合。开发一种先进的方法，将材料、工艺、机械和成本模型与计算机辅助设计（CAD）软件相结合，创建一个完整的数字工程框架，以满足燃气轮机设计人员在增材制造方面的特殊需求。

(2) 高温结构材料增材制造。开发新型高温结构材料，以及先进的增材制造设备及工艺，提高增材制造的燃气轮机部件的热效率和工作温度极限，提高部件的耐久性。

(3) 传感器、机器学习和过程分析的集成。将基于物理的成分、加工、微观结构和机械行为的模型与人工智能分析和基于信号决策过程整合到制造基础设施中，以增强燃气轮机部件工艺控制和首次良品率。

4、热管理技术。制定先进的冷却策略，可以快速、经济地将其整合到燃气轮机中，并实现更高的透平进口温度，更高的增压比以及更少的燃烧室和透平冷却空气流量，从而在满足燃气轮机寿命要求的同时提高热力循环效率。包括 3 个优先研究主题：

(1) 创新冷却技术。通过创新的冷却技术和策略来提高涡轮

部件的效率。

(2) 全耦合传热模型。开发先进的全耦合传热模型，指导燃烧室和涡轮冷却配置的优化设计，实现部件冷却气流最小化，提高涡轮透平进口温度，获得更高的循环压缩比。

(3) 粒子流的基本物理与建模。理解燃气轮机中粒子流的物理行为并开发相关模型。

5、高保真集成模拟和验证实验。开发和验证基于物理的高保真计算预测模型，以便在设计早期进行详细的工程分析，包括对燃气轮机模块相互作用和非设计运行条件的虚拟模拟。包括 3 个优先研究主题：

(1) 子系统和系统集成的数值模拟。开发先进的、高保真度、可预测的数值模拟系统，进而扩展设计空间，并增强系统级优化，以支持开发效率更高、可靠性更强、耐久性更好、成本更低的燃气轮机

(2) 协同实验研究。进行实验研究，验证单个和集成燃气轮机模块的数值模拟系统效果。

(3) 计算机科学与仿真数据的应用。开发高保真数值工具映射的先进方法，包括预处理和后处理算法、新兴的计算机架构，以方便没有计算机专业知识背景的燃气轮机设计人员快速便捷地使用高保真仿真工具。

6、非常规热力学循环。针对单循环和联合循环燃气轮机开发非常规热力循环，以提高热效率，同时确保其与燃气轮机性能的其

他要素（如生命周期成本）之间的取舍在可接受范围内。包括 3 个优先研究主题：

（1）**压力增益燃烧**。发展一种能结合非常规热力循环的燃气轮机技术，实现压力增益燃烧，以最大限度地提高热效率。

（2）**使用无碳燃料的燃气轮机循环**。开发一种能结合非常规布雷顿循环的燃气轮机技术，从而能实现从燃烧无碳燃料（如氢）中获得高热效率。

（3）**具有碳捕集能力的燃气轮机循环**。发展一种燃气轮机技术，能结合非常规循环或对具有碳捕集能力的现有循环进行改进（不需要昂贵而复杂的附加装置来从废气中捕集二氧化碳）。

7、系统集成。改进、修改和/或扩展传统燃气轮机的结构（如压气机、燃烧室、透平），从而能够开发具有更高性能和/或更大应用范围的燃气轮机。包括 3 个优先研究主题：

（1）**带增压燃烧的燃气轮机系统布局**。发展带增压燃烧的燃气轮机优化布局，进一步提升燃烧效率。

（2）**闭式循环燃气轮机**。开发闭式循环燃气轮机系统，最大限度地提高可靠性、可用性、可维护性和使用外部热源（如太阳能和模块化核电站）时的热效率，以消除碳排放。

（3）**混合燃气轮机系统**。开发一种架构能够将布雷顿循环燃气轮机与其他技术（如燃料电池）经济有效地集成耦合，以获得高热效率。

8、基于状态的运维技术。开发一种通过减少计划内和计划外

维护量来改善燃气轮机运行的技术，减少计划外停机。包括 3 个优先研究主题：

(1) 传感器。开发高可靠、高性能、低成本的传感器，能提高燃气轮机运行过程中获得信息的准确性，确保其处于安全运行状态。

(2) 检查和维修技术。开发现场检查和维修技术，以评估燃气轮机的老化状态，最大限度地延长运行时间，降低长期维护成本。

(3) 先进控制元件。开发先进的控制元件，以满足与现有电网和可再生能源与储能系统日益增强的集成耦合运营的要求。

9、数字孪生及其支撑基础设施。开发生成增强型数字孪生的能力，以及支持其应用的数字线程基础设施。包括 1 个优先研究主题：

开发数字孪生和支撑数字线程基础设施，满足燃气轮机设计开发需求。

10、燃气轮机在天然气管道中的应用。探索长时间在部分载荷下运行的燃气轮机效率提升机遇，以及燃料中含大量氢气的燃气轮机安全隐患。包括 2 个优先研究主题：

(1) 部分载荷下天然气管道中燃气轮机的效率。提高天然气管道压缩站燃气轮机在部分载荷下运行的效率，以及在峰值载荷下保持高效率。

(2) 氢燃料管道中燃气轮机的安全运行。发展氢燃气轮机安全运行技术，使其能够在不同的氢气含量水平下安全运行（最高可

达 100%)。

中国能建广东火电签订粤电花都 2 台 400 兆瓦级燃气-蒸汽热电联产项目主体建筑安装工程合同

4 月 10 日,中国能建南方建投广东火电与广东能源集团花都天然气热电有限公司签订粤电广州花都 2 台 400 兆瓦级燃气-蒸汽热电联产项目主体建筑安装工程合同。

广东能源集团花都天然气热电有限公司党委书记、总经理周鹏、副总经理李静、副总经理李勇与南方建投总经理、党委副书记、广东火电党委书记、董事长(执行董事)刘瑞华,广东火电总经理白雪寒、副总经理郑庆弟等出席签约仪式。周鹏、白雪寒分别代表双方在合同协议上签字。

粤电花都 2 台 400 兆瓦级燃气-蒸汽热电联产项目位于广州市花都区炭步镇,本期建设二套 F 级改进型 400 兆瓦级的高效一拖一双轴联合循环发电机组,每套机组包括一台低 NO_x 燃气轮机、一台燃机发电机、一台蒸汽轮机、一台汽机发电机、一台无补燃三压再热型自然循环余热锅炉及其相关的辅助设备,同步建设脱硝装置。

国内单机容量最大冷热电三联供项目天然气供气管线正式通气

来源:微信公众号“中国电力报” ID: zgdlb_CEPN 作者:黄煜钦

4 月 3 日上午 10 时 16 分,随着一声“开阀!”的号令,历时 5 个月建设工期,横跨石滩镇、仙村镇至厂内调压站全长约 16.3 公里的“能源大动脉”——华电广州增城燃气冷热电三联供工程天

然气供气管线正式通气，这是继去年 11 月 30 日天然气全线贯通之后的又一重大节点。

华电广州增城燃气冷热电三联供项目作为国内单机容量最大冷热电三联供项目及国内首个双套 H 级燃机项目，拟建设 2 套 67 万千瓦燃气蒸汽联合循环机组，静态投资近 30 亿元，计划分别于 2020 年 5 月、7 月投产运行，年发电量 43.84 亿千瓦时。通过输入天然气，生产电力、工业用蒸汽、冷源、热水等产品，将能源“吃干榨净”，实现一次能源的全方位梯级利用，综合能源利用效率可达 80.5%，为国家级增城经济技术开发区、新塘镇、仙村镇和石滩镇西部区域的企业提供综合能源供应。

该项目采用低氮燃烧技术+高效 SCR 脱硝技术，污染物排放浓度优于国家、地方标准。同时还能取代周边分散锅炉，减少烟尘排放 1437 吨/年，二氧化硫排放 2230 吨/年和氮氧化物排放 251 吨/年，较同等规模燃煤电厂每年减少约 55%二氧化碳排放量，相当于植树 500 万棵。当前在抢抓进度的关键阶段，华电广东公司坚决贯彻党中央、集团公司各项防疫工作部署，一手抓防疫，一手抓复工，克服重重困难，“开足马力”全力推进工程建设，力促各项节点如期完成，为项目 7 月顺利投产提供坚实的保障。

华能东莞热电项目天然气正式通气

4 月 16 日 18:42 分，随着中石油东莞分输站内 1403 截止阀的开启，东莞热电项目实现天然气正式通气，机组进入全面试运阶段，

为项目上半年实现“双投”打通关键“堵点”。接下来，南方分公司将锁定项目上半年“双投”目标，安全有序落实机组酸洗、吹管、168 试运等关键节点，确保项目按期高质量投产。

中国能建安徽电建一公司中标哈密 9E 燃机 EPC 项目

近日，中国能建安徽电建一公司以 EPC 总承包模式中标哈密 9E 级燃机新建和改造项目。

哈密燃机发电项目位于新疆哈密伊吾县淖毛湖镇，是符合国家政策的典型循环经济项目，建成 2 套 9E 级燃气-蒸汽联合循环机组，配套建设 1 台燃气锅炉，充分利用园区内煤化工废弃的尾气发电，提高资源综合利用效率。

安徽电建一公司此次发挥“设计-采购-施工”全生命周期一站式服务，中标项目新建及改造总承包项目，包括新建 1 台 200 吨/小时燃气锅炉，并对现有燃气锅炉进行改造等，计划 2020 年内移交生产运行。

孟加拉国古拉绍电站项目联合循环汽轮机组首次冲转成功

4 月 14 日，由中国能建广东火电总承包，中南院设计的孟加拉古拉绍电站 4 号机组改造项目汽轮机转速达到 3000 转每分钟，各系统设备运行稳定，各参数正常，标志着联合循环汽轮机首次冲转成功。

正值孟加拉当地新冠肺炎疫情高发期，项目部提前策划，制定详细工作计划和应急预案，强化各项相关安全防疫措施，确保疫情

防控和生产两手抓、两手硬。机冲转是对汽机各附属系统改造后的检验，冲转成功标志着本项目联合循环汽机改造工作顺利完成，为后续联合循环整套启动打下了坚实的基础。

孟加拉国古拉绍电站 4 号机组改造项目，位于孟加拉国诺尔辛迪省帕拉什市古拉绍地区，是由孟加拉国家财政部提供担保、世界银行提供贷款的国际公开竞标 EPC 项目。该项目计划将原有 210 兆瓦 4 号机组升级改造为联合循环机组，在保留原有汽轮发电机组的基础上，增设 1 台燃气轮机、1 台余热锅炉和其他辅助设备，按 1:1:1 的配置，使机组出力从 210 兆瓦增加至 400 兆瓦。

【天然气动态】

✧ 天然气供应动态

普光气田产气量恢复到疫情前水平

中国石化新闻网 2020-03-31

3 月 26 日，中原油田普光分公司全气田井口气产量和外输商品气量分别提升至 2530 万立方米和 1790 万立方米，完全恢复到疫情发生前的水平。

此外，普光分公司迅速组织，利用 1-4 号连通线碰头施工等有利时机，完成 4 口气井的静压测试作业，使关停的普光 105-2 井和普光 104 集气站成功复产，从而迅速恢复了井口气生产能力。与此同时，天然气净化厂组织第二联合一系列装置及时引原料气开机，目前已具备每天 2700 万立方米的高含硫化氢天然气处理能力。

黑龙江哈尔滨天然气应急储备项目明年投用

新晚报 2020-03-26

位于阿城区的哈尔滨市天然气应急储备项目，计划 3 月 28 日进场施工。

该项目用于哈市燃气应急做储备，一旦发生重大停气事故情况，项目可保证哈市约 10 天燃气用量（其中居民用气可保证 20 天燃气用量）。

总投资 4.98 亿元，占地面积约 9 万平方米。项目包含建设 1 座 5 万立 LNG 双金属全容罐及附属配套设施，计划 2021 年 8 月末建完，当年末投用。

俄罗斯天然气项目或被推迟！中俄天然气东线将暂停对华供气

金十数据 2020-03-25

2019 年 12 月初，中俄东线天然气管道正式投产。根据两国的协议，该管道最终每年需要为中国提供 380 亿立方米的天然气，累计供应 30 年。随着中国天然气需求逐年增加，保障中国天然气供应安全已经刻不容缓，而这一管道的供气量，已经相当于 2018 年中国天然气进口量的 30%以上，对于确保我国天然气供应安全至关重要。

俄罗斯通讯社 3 月 17 日报道，俄罗斯天然气工业股份公司（俄气）Gazprom 在一份声明中表示，中俄东线天然气管道将暂停对华供气，因为该管道已经开始进行定期维护工作，计划维持至今年 4

月 1 日。在俄气暂停对华供应天然气之后，俄罗斯通讯社周一（3 月 23 日）最新报道显示，俄气的天然气项目或将被推迟。

中亚天然气管道输气超 3000 亿立方米

央视网 2020-03-09

中亚天然气管道是我国首条从陆路引进的天然气跨国能源通道，截至 3 月 7 日，累计输送进口天然气达到 3046 亿立方米。中亚天然气管道起于土库曼斯坦和乌兹别克斯坦，经哈萨克斯坦南部从霍尔果斯进入中国，全长约一万公里，是世界上最长的天然气管道。从 2009 年 12 月投产以来，每年从中亚输送到国内的天然气约占全国同期消费总量的 15%以上。

✧ 天然气消费动态

2020 年 2 月份天然气运行简况

国家发改委网站 2020-03-31

1-2 月份，天然气产量 309 亿立方米，同比增长 6.1%；天然气进口量 224 亿立方米，同比下降 4.4%；天然气表观消费量 527 亿立方米，同比增长 1%。

云南 2020 年天然气消费量力争达 28 亿立方米

都市时报 2020-03-11

云南省政府出台《关于进一步促进天然气协调稳定发展的实施意见》提出，构建多元供气格局，补足天然气基础设施建设短板，

加快实现“气化云南”战略目标，力争 2020 年天然气年消费量达 28 亿立方米，到 2025 年达 60 亿立方米。

✧ 天然气管道建设

中石油管道局中俄东线中段建设“火力全开”

中国石油网 2020-03-27

3 月 24 日，管道局中俄东线天然气管道工程中段(简称中俄东线中段)施工现场焊机轰鸣，11 个机组“火力全开”，工程已经完成焊接 148.38 公里，防腐 72.94 公里，下沟 36.9 公里。

此前，位于天津市武清区的第 10 标段、位于内蒙古科尔沁左翼后旗的第 2 标段、位于滦州市杨柳庄镇的中俄东线中段第 8 标段也已经顺利打火开焊。与此同时，位于河北省秦皇岛市的中俄东线中段 7 标段也在热火朝天的施工中。

中段工程起自吉林长岭分输站，止于河北永清联络压气站，新建管道 1110 公里，全线划分为 10 个标段。

甘肃平凉市天然气支线管道 6 月底前可建成通气

中国电力新闻网 2020-03-16

平凉市天然气支线管道项目自去年 9 月份开工以来进展较快。在当前特殊时期崆峒区、平凉工业园区及市直相关部门一手抓疫情防控，一手抓项目建设积极协调解决各类困难和问题。项目建设单位克服困难既落实防疫措施又保证春节期间继续施工。截至目前已完成投资 9000 多万元铺设管道 25 公里，6 月底前可建成通气。

中国天然气月度生产、消费和进口量走势图

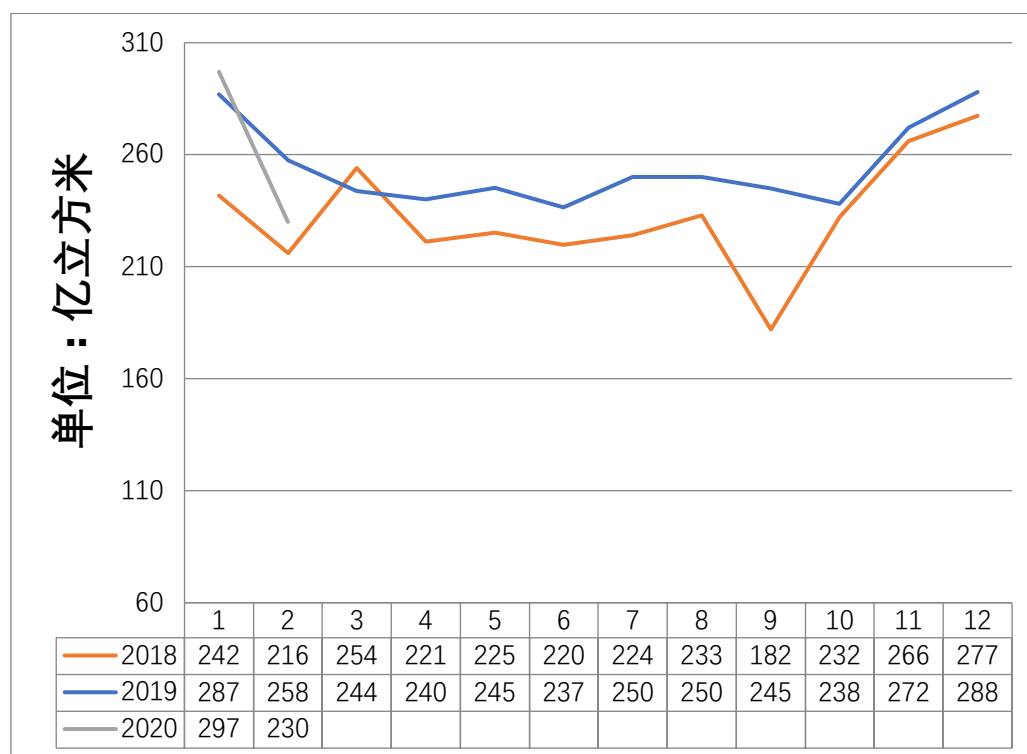


图1 中国天然气月度消费量走势图（数据来源：国家统计局）

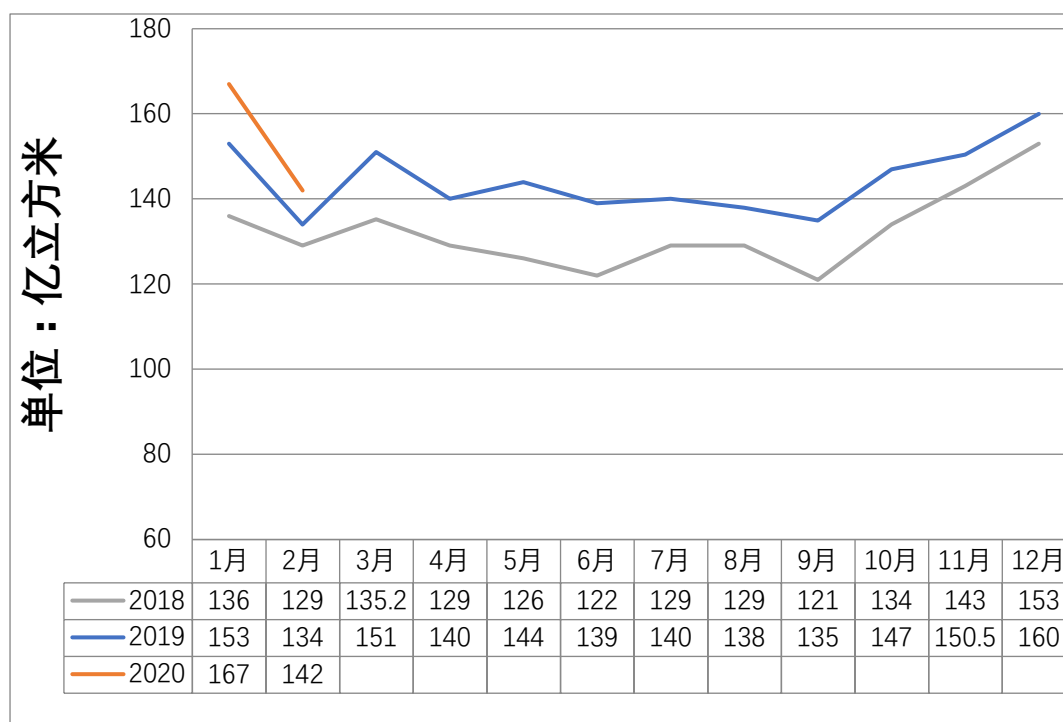


图2 中国天然气月度产量走势图（数据来源：国家统计局）

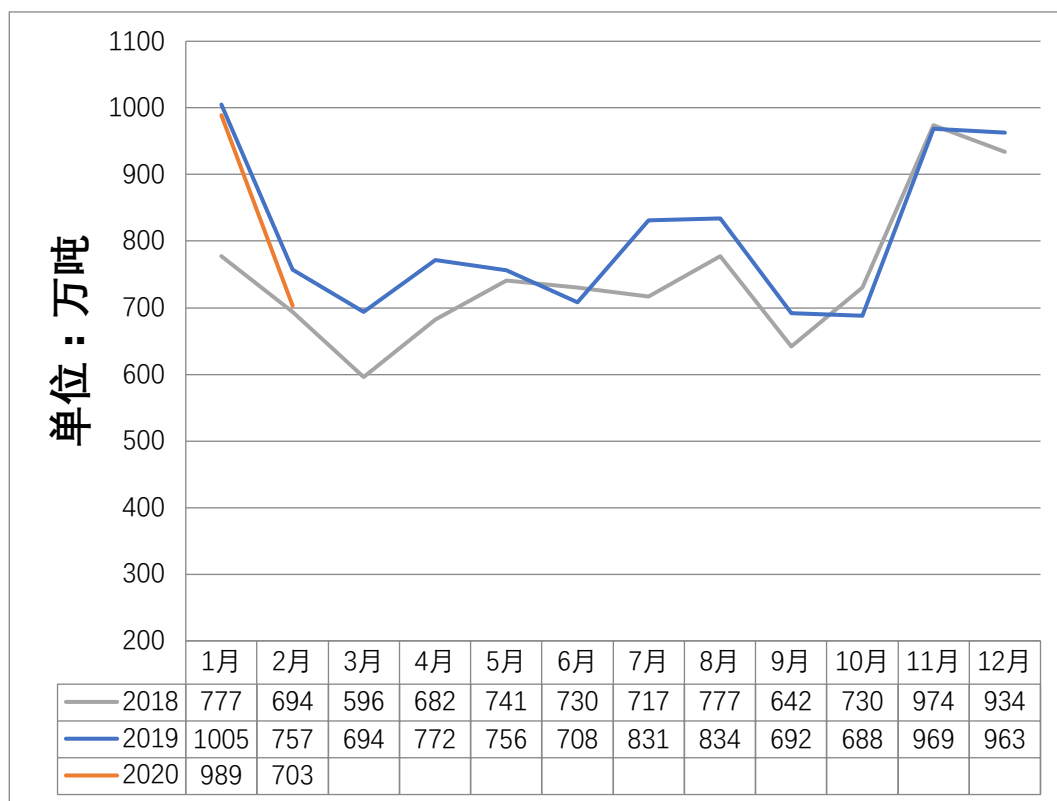


图3 中国天然气月度进口量走势图（数据来源：海关总署）

【技术点滴】

联合循环机组建模及环境参数对其性能的影响

*摘自《联合循环机组建模及环境参数对其性能的影响》，发表于《电力科学与工程》2016年第32卷第6期，作者张杨林子

众所周知，我国是一个以煤为主要消费能源的国家，然而，燃煤发电在带来便利的同时，不可避免地也带来了许多环境问题。目前，因煤炭燃烧而造成的严重污染已经引起我国各界的关注。随着节能减排和可持续发展战略的推进，发电产业除了需要保证机组的安全、经济、稳定运行之外，还需要把眼光更多的放在降低污染物排放上。天然气是一种洁净能源，燃烧后产生的污染物质很少，随着科技的发展，燃气轮机及其联合循环装置已越来越多的应用于清

洁能源建设和发电工业中。联合循环发电技术对改善环境、提高电网调峰灵活性有着十分重要的作用。

燃气轮机是对大气环境十分敏感的动力装置，燃气轮机的输出参数与压气机入口处的空气参数有很大的关系，环境参数变化会对燃气轮机及其联合循环机组的性能产生很大的影响。因此，研究和讨论机组在不同大气温度、压力和相对湿度下的出力和热效率变化对促进系统安全、稳定、高效运行具有十分重要的意义。

本文参考某电厂性能保证工况下的设计数据，利用热力循环模拟软件 Ebsilon 搭建燃气—蒸汽联合循环机组模型，改变压气机入口处的环境参数，模拟仿真联合循环系统的运行状况，计算机组在不同大气条件下功率和热效率的变化情况。

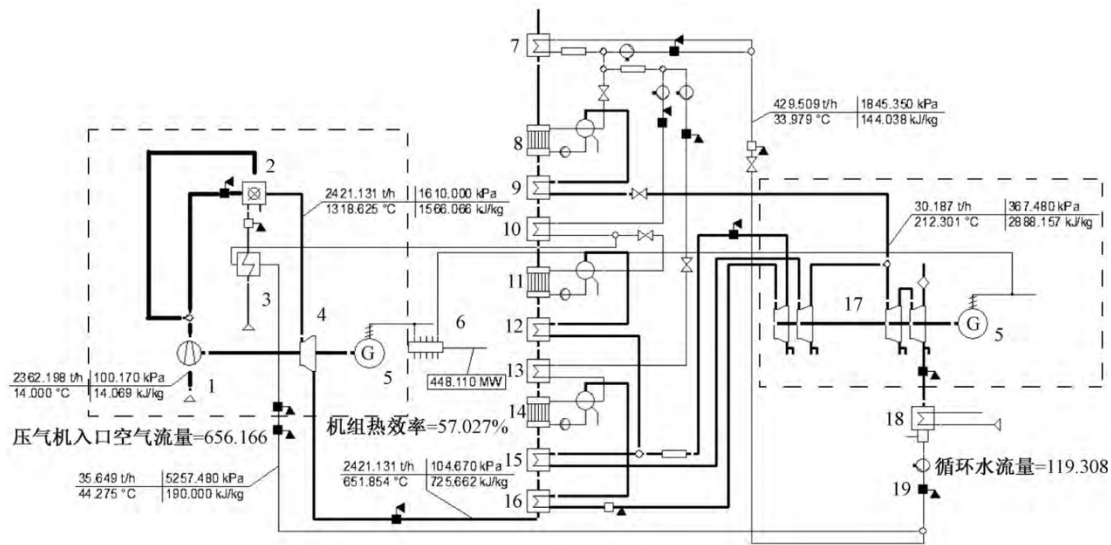
1. 利用 Ebsilon 建立联合循环模型

Ebsilon 软件是一款热力循环过程模拟软件，可用于计算热力过程的热量、功量、循环效率、热力状态参数等物理量，每次计算都遵循质量守恒、能量守恒等原则。Ebsilon 软件中包含的热力元件齐全，使用方法灵活，可模拟太阳能、核能、火电站、燃气轮机等热力循环电站的工作运行状况，可用于电站规划、设计和优化。

本文参考某电厂 450MW 联合循环机组在性能保证工况下的设计数据，以 Ebsilon 软件为平台，在搭建燃气—蒸汽联合循环机组模型的基础上，探究环境参数变化对联合循环系统性能的影响。

利用 Ebsilon 软件元件库中的单个元件模型，搭建余热锅炉型燃气—蒸汽联合循环系统如图 1 所示，根据电厂热平衡图中的设计

参数设置每个元件所需的进出口参数，为保证计算成功，仿真时根据软件的错误提示功能加入管道测点，测点用来单独设置管道内工质的压力、温度、质量流量和焓等，遵循质量守恒、能量守恒等规律。在建模过程中，需要注意的是，元件之间的连接线只有数据传输作用，因此，还要加入管道、调节阀等元件模拟实际管道和工质传输中的阻力和压损等。加入功率累加器（图 1 中标号为 6）可算出联合循环总功率，并用出力与燃料热能输入之比求出机组热效率。图中的每组数据表示各管道内流体的状态参数，包括温度、压力、质量流量及焓。



1.压气机；2.燃烧室；3.性能加热器；4.燃气透平；5.发电机；6.功率累加器；7.低压省煤器；8.低压汽包；9.低压过热器；10.中压省煤器；11.中压汽包；12.中压过热器；13.高压省煤器；14.高压汽包；15.再热器；16.高压过热器；17.蒸汽轮机；18.凝汽器；19.测点

图 1 燃气—蒸汽联合循环机组模型

如图 1 所示，左边虚线框中是燃机侧部分，空气经压气机压缩后进入燃烧室与天然气混合燃烧，得到的高温高压燃气进入燃气透平中膨胀做功，做功后的高温烟气直接排放到大气中十分浪费，因

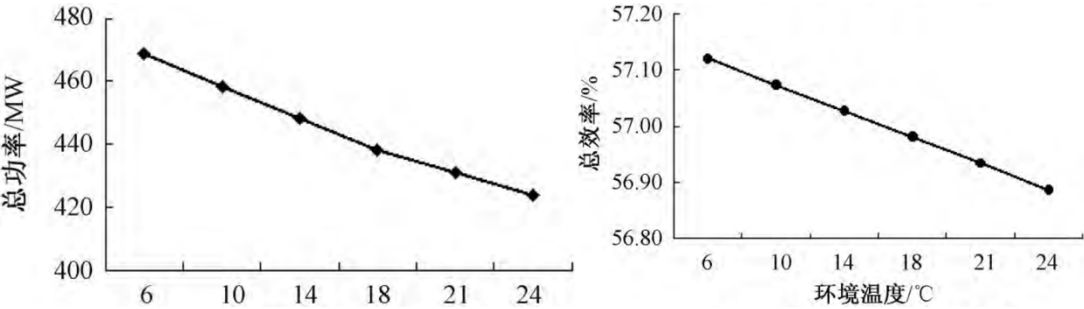
此加入余热锅炉和蒸汽侧部分，构成联合循环；模型中间为余热锅炉部分，热量完全来自燃机排出的高温烟气，循环水到余热锅炉中换热，流经省煤器，在汽包中生成高温高压蒸汽，而烟气的热量被充分吸收后才排放到大气中，减少了能量浪费；右边虚线框中为汽机侧部分，汽包出口处的高温蒸汽进入过热器进一步加热后进入蒸汽轮机中推动叶片做功，最终将机械功转化为电能。相比于单纯燃气轮机发电，加入余热锅炉和蒸汽机的联合循环机组提高了整个系统的能量利用率。

2、环境参数变化的影响

季节的变换、地域的差别、海拔的高低都会对使得大气温度、压力和湿度等参数发生变化，搭建好燃气—蒸汽联合循环机组模型后，改变压气机入口处的空气参数，调整冷却空气量，在保证透平前燃气初温不变的情况下分析环境参数变化对整个联合循环机组输出功率和热效率的影响。

2.1 大气温度

利用 Ebsilon 软件仿真计算成功后，导出大气温度对燃气—蒸汽联合循环机组出力的影响如图 2（a），大气温度对机组效率的影响如图 2（b）所示。



(a) 大气温度对环机组功率的影响

(b) 大气温度对机组效率的影响

图 2 大气温度对机组功率及热效率的影响

由理论分析可知，当大气温度升高时，空气密度减小，进入压气机的空气流量减少，天然气流量随之降低，系统中燃料的热能输入减少，机组做功能力降低，出力有较为明显的减少。同时，随着大气温度的升高，单位工质的耗功量增加，燃机效率降低，若蒸汽循环效率不变，联合循环热效率也会降低。

从仿真结果图 2 (a) 中可以看到，大气温度每升高 10°C ，机组输出功率约下降 5.7%；模型是在背压不变的情况下运行的，背压不变时会削弱大气温度对机组热效率的影响，但从图中也可看到联合循环热效率由明显的下降。

在机组实际运行中，由于燃气初温太高，测量设备无法耐受等限制，一般无法测得实际的透平前温度，联合循环中的燃机常采用等 $T4^*$ 调节，正如图 3 中厂家给出的修正曲线所示，随着环境温度升高，由于 $T4^*$ 不能超温， $T3^*$ 不断降低，使得燃机功率下降更快；与仿真中燃气初温 $T3^*$ 不变的调节规律相比较，机组出力随环境温度的总变化规律是一致的。

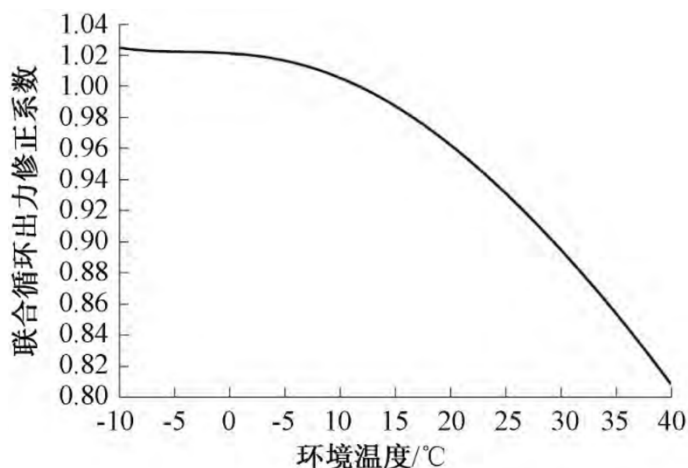
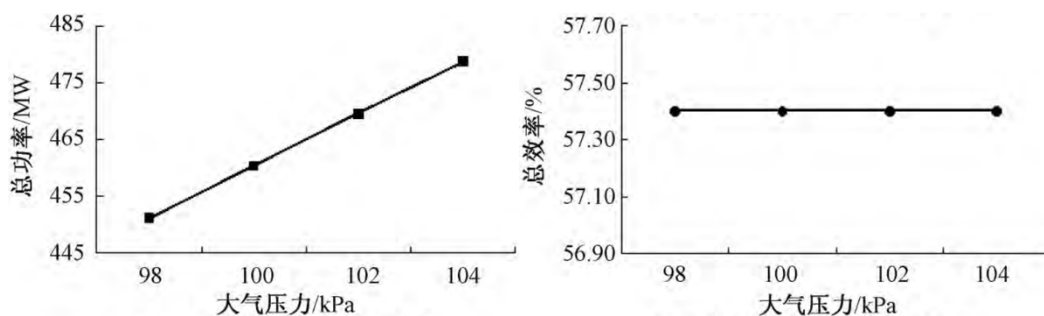


图 3 机组出力随环境温度修正曲线（厂家）

2.2 大气压力

利用 Ebsilon 软件仿真计算成功后，导出大气压力对燃气—蒸汽联合循环机组出力的影响如图 4 (a)，大气压力对机组效率的影响如图 4 (b) 所示。



(a) 大气压力对机组功率的影响

(b) 大气压力对机组热效率的影响

图 4 大气压力对机组功率及热效率的影响

由理论分析可知，当大气压力升高时，空气密度增大，压气机入口处的空气流量随之增加；在环境温度、机组转速不变的情况下，为保证燃气初温恒定的冷却抽气百分比不变，因此，参与燃烧的空气与压气机吸入的空气流量成正比，燃机出力增大；此时燃气透平的排气量也与压气机入口的空气质量流量成正比，若蒸汽循环效率不变，则联合循环中的机组功率也会与吸入的空气流量成正比，进而与大气压力成正比增加。由于机组燃空比不变，当大气温度一定时，燃料量会与压气机入口处的空气流量同比变化，因而燃机效率不变；当蒸汽循环效率不变时，大气压力的变化不会对联合循环机组的效率产生影响。

从仿真结果图 4 (a) 中可以看到，大气压力每升高 1kPa，机组输出功率约升高 1%，与图 5 厂家的修正曲线结果一致。

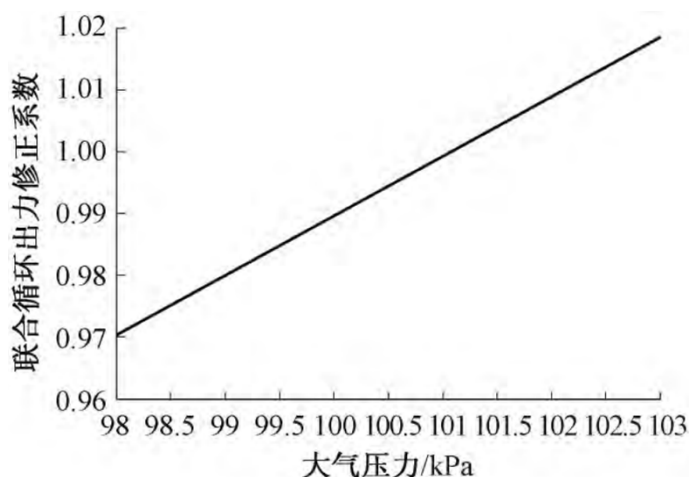
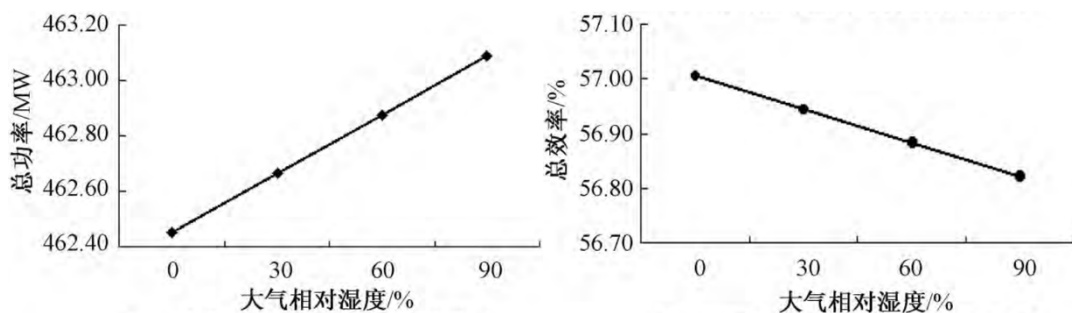


图 5 机组出力随大气压力修正曲线（厂家）

2.3 大气相对湿度

利用 Ebsilon 软件仿真计算成功后，导出大气相对湿度对燃气—蒸汽联合循环机组出力的影响如图 6（a），大气相对湿度对机组效率的影响如图 6（b）所示。



（a）大气相对湿度对机组功率的影响

（b）大气相对湿度对机组效率的影响

图 6 大气相对湿度对机组功率及热效率的影响

大气湿度是用来衡量空气中水蒸气含量的，湿度的变化会影响空气的密度和比热容值，使压气机的压缩功和透平的膨胀功发生变化，从而影响机组性能。

由理论分析可知，在联合循环中，随着大气湿度的增加，空气中的水蒸气含量增加，湿空气比热容数值增大，压气机耗功增加，机组效率降低。联合循环模型仿真的是机组在温控模式下的运行情况，温控模式需要保证燃气初温恒定不变，随着大气相对湿度的增

加，湿空气密度变小，进入压气机的空气流量减小，但为了保持燃气初温不变，从压气机抽走的冷却空气量也减少，使得进入燃烧室参与燃烧的空气流量略有增加，机组做功增加，输出功率稍有变大。

从图 6（a）中可以看到，即使大气相对湿度从 0%变化到 90%，联合循环机组的输出功率只增加了 0.13%，热效率变化程度也非常小，与图 7 厂家的修正曲线保持一致，因此，在只有在大气温度很高或湿度很大时才需对湿度变化加以考虑，大多数情况可忽略不计。

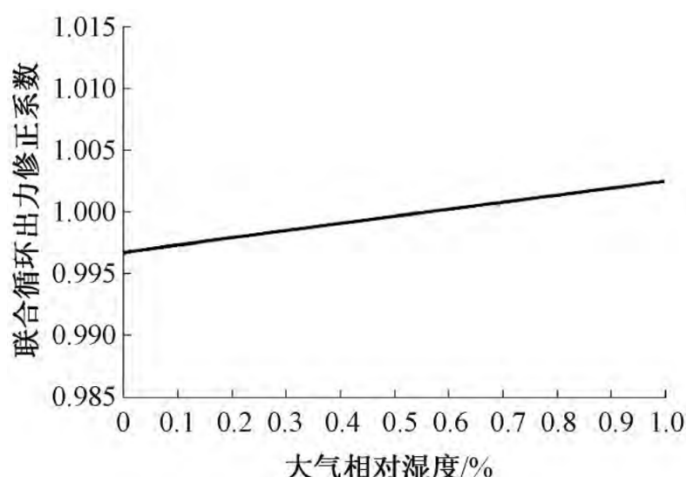


图 7 机组出力随大气相对湿度修正曲线（厂家）

3、结论

利用热力循环模拟软件 Ebsilon，建立燃气—蒸汽联合循环机组模型，对联合循环系统在不同大气温度、压力和相对湿度环境下的运行情况进行仿真，得到了环境参数变化对机组性能的影响数据和趋势图。从图表显示的结果中可以看出，环境温度越低或相对湿度越小，机组热效率越高，因此，在环境温度较高的夏季工况，往燃气轮机的压气机进气口处加装进气冷却装置有助于提高机组性

能；在下雨频率高，空气湿度大的南方，加装进气防雨雾筛网或采取进气干燥措施有助于提高联合循环系统性能并确保机组高效率可靠运行。

通过仿真结果与理论分析及电厂实际运行情况的对比，证明了本文所建立的燃气—蒸汽联合循环机组模型的有效性；该模型还可用于联合循环机组优化运行研究，指导燃气电厂的经济运行。

主 办：江苏省天然气发电及分布式能源工程研究中心

联 系 人：王文飞

联系方式：025-89620915 GD_GTInst@163.com

编稿时间：2020 年 04 月