

中国航发燃气轮机发展现状

Development Status of AECC's Gas Turbines

■ 周建华 刘英/中国航发动力所

中国航发根据自身技术优势，结合国内外发展现状，确定了自主系列化发展燃气轮机的技术路线。中国航发已研制了十余个具有自主知识产权的船用和工业用微、轻、重型燃气轮机型号，并规划发展“三轻一重”燃气轮机，形成一批具有市场竞争力的技术和特色产品。

燃气轮机具有功率大、尺寸小、质量轻、起动迅速、加速性和机动性好、寿命长（几千甚至上万小时，而柴油机只能工作几百或几千小时）、操作简单、维修方便、工作可靠、滑油消耗少、水下低频噪声小，以及采用箱装体结构可快速更换等诸多优点，对国家国防安全与能源安全、改善能源结构和环境可持续发展有着重要的战略意义。

我国燃气轮机的发展现状

我国燃气轮机产业发展始于20世纪50年代末，主要分散在航空、航天、机械、船舶等多个工业系统。由于多种原因，我国燃气轮机产业发展缓慢，其技术与国际先进水平差距很大。目前，国际上已发展了三代燃气轮机，部分第四代高效燃气轮机已经投入使用，而我国在研的机组多停留在第三代机组的水平，可靠性还有待进一步提升。目前，国内燃气轮机市场基本被国外燃气轮机产品垄断：重型燃气轮机主要为GE、西门子和三菱重工等公司的产品；中小型工业用燃气轮机主要为

GE、罗罗、索拉等公司的产品；船用燃气轮机通过技术引进和自主研发，取得一定进展但仍与国际先进水平差距明显；国产工业用微型燃气轮机机组也近乎空白。

鉴于燃气轮机在国防和能源装备领域的重要战略意义，我国必须开发具有自主知识产权的燃气轮机产品。近年来，随着国家经济、科技和工业水平的提高，尤其是数型航空发动机的设计定型，我国自主发展航改燃气轮机的条件已经具备。2016年全面启动的航空发动机和燃气轮机国家科技重大专项，更为燃气轮机的自主发展带来了重大机遇。

中国航发燃气轮机发展途径

随着我国自主研发、拥有自主知识产权的航空发动机的研发成功，中国航空发动机集团有限公司（中国航发）在2001年和2002年相继成功研制了QD70和QD128两型航改轻型燃气轮机。

目前，中国航发拥有的自主研发燃气轮机产品有功率等级涵盖5~40MW的轻型燃气轮机和110MW的

重型燃气轮机，并按照国际发展燃气轮机的成功道路，确定了自主系列化发展燃气轮机的技术路线，具体如下：

- 在航空发动机基础上衍生发展中档功率QD128燃气轮机，并开展低排放技术研究；

- 在航空发动机基础上衍生发展小档功率QD70燃气轮机，在QD70燃气轮机基础上分别衍生发展出小档功率船用燃气轮机和QD70A发电用燃气轮机，在QD70A燃气轮机基础上发展出双燃料QD70B燃气轮机、备用电源用QD70C燃气轮机、功率增大型QD70+燃气轮机以及通过新研低压系统发展中档功率QD185燃气轮机，在QD185基础上加间冷系统发展大档功率间冷循环QD400燃气轮机；

- 在R0110重型燃气轮机的基础上发展燃用中低热值燃料的R0110A，通过R0110A燃烧室和涡轮改进并结合QD70+燃气轮机压气机相似放大发展F级重型燃气轮机，同时开展干低排放技术研究；

- 在微型燃气轮机QD11基础上开展回热研究。

中国航发民用燃气轮机的主要产品

QD128燃气轮机

QD128燃气轮机（如图1所示）是在航空发动机基础上衍生发展的我国首台具有完全自主知识产权的中档功率轻型燃气轮机，使我国拥有完全自主知识产权的燃气轮机实现了从无到有这一历史性的跨越，它为三轴、分轴、后输出结构，可用作工业发电（热电联供、应急电源、分布式能源等）和管道增压。该燃气轮机成熟可靠，累计运行3.1万小时，现有确认意向订单共20台套，

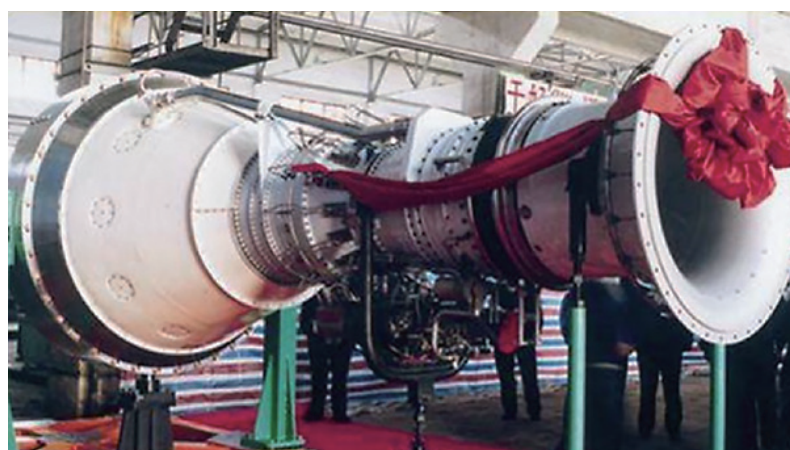
国外用户12台套。QD128燃气轮机如用于冷热电三联供，总能利用率可达到84%以上。

QD128在研制过程中突破了以下几种关键技术：初步建成了航改燃气轮机总体设计技术；在国内率先突破了中档功率航改燃气轮机燃气发生器改进设计技术，燃气发生器成本降低了20%以上，翻修寿命达到12000小时；长寿命、高可靠动力涡轮研制技术取得重大突破，两级涡轮效率为0.91，达到国际先进水平；国内首创自主研发了控制、起动、燃料、清洗、测试等燃气轮机的辅

机系统，起动系统和燃油调节系统，价格为国际同类产品的70%，控制系统主要技术指标达到了国际主流产品水平。

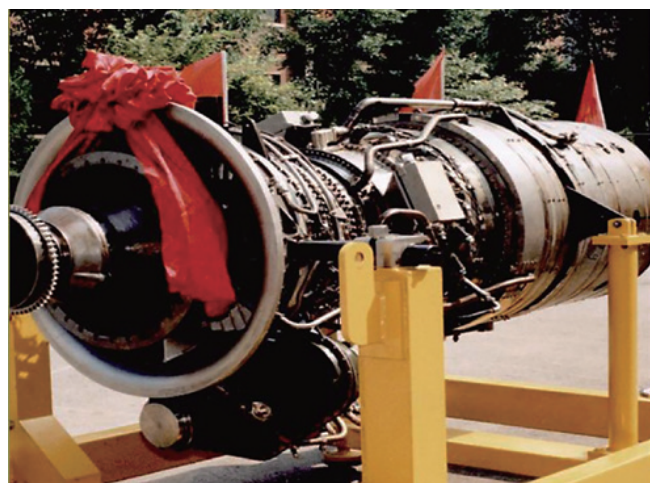
QD70系列燃气轮机

QD70系列燃气轮机是以航空发动机核心机为基础，自主研发的7MW级燃气轮机，为双轴、分轴、前输出结构。QD70A燃气轮机（如图2所示）燃料为天然气，可用于发电和机械驱动，相继在河南濮城电站和四川开江电站并网发电，累计运行3369物理小时；QD70B是在QD70A的基础上开发的适用于海上



性能参数	基本负荷	尖峰负荷
燃气轮机功率/kW	12000	13700
热效率/%	28	29.5
进气流量/(kg/s)	60	62.5
输出转速/(r/min)	4700	4700
排气温度/°C	495	516

图1 QD128燃气轮机及其主要性能参数



性能参数	QD70A	QD70B	QD70C
燃气轮机功率/MW	7.6	7.6	7.2
热效率/%	31	31	30.6
进气流量/(kg/s)	27.7	27.7	27.3
输出转速/(r/min)	8300	8300	8300
排气温度/°C	570	570	575

图2 QD70A燃气轮机和QD70系列燃气轮机的主要性能参数

平台的双燃料燃气轮机，已经累计完成超过600多小时的考核试验；QD70C是在QD70A的基础上，针对通信行业大功率应急备用电源需求而开发的，不仅可作为6MW级互联网数据中心（IDC）机房应急备用电源机组的核心动力装置，经多台并机后，还可作为超大型IDC机房备用电源机组的配套动力装置。QD70C机组各项参数经试验验证满足YD/T1269行业标准的要求，已经获得信息产业通信电源产品质量监督检验中心的认证。QD70系列机组已累计运行超过1万小时。

QD70系列在研制过程中突破了以下几种关键技术：在原航空发动机基础上，完成了地面燃气轮机的整机寻优匹配和部件优化设计；采用刷式封严技术，提高了燃气轮机低状态的封严效果，改善了整机性能；新研了电起动和液压起动两种装置，可满足不同用户使用需求；突破了航改燃气轮机双燃料燃烧室设计、气/液双燃料切换和混烧技术；突破了双轴燃气轮机用于应急电源改进设计和整机调试技术。

QD185 燃气轮机

QD185燃气轮机（如图3所示）是在QD70A燃气轮机的基础上自主研发的18MW级轻型燃气轮机，为三轴、分轴、后输出结构。其核心机继承原航空发动机结构，新匹配设计了低压系统和动力涡轮，可用于船舶动力、工业发电、管线增压等领域。该型燃气轮机已经投入使用。

QD185在研制过程中突破了以下几种关键技术：突破了中档功率燃气轮机总体设计技术，实现系列化发展；新研5级大裕度低压压气机，设计点绝热效率为0.903，达到国际先进水平；在航空发动机基础上，改进设计低压涡轮；新研效率为0.935、设计寿命10万小时的3级动力涡轮，达到国际先进水平。

R0110 燃气轮机

R0110燃气轮机（如图4所示）是国家高技术研究发展计划（863计划）“十五”重大专项发展项目，是我国第一台自主研发、拥有自主知识产权的E+级重型燃气轮机，主要用于单独或联合循环的基本负荷供电或尖峰负荷调峰使用，已通过

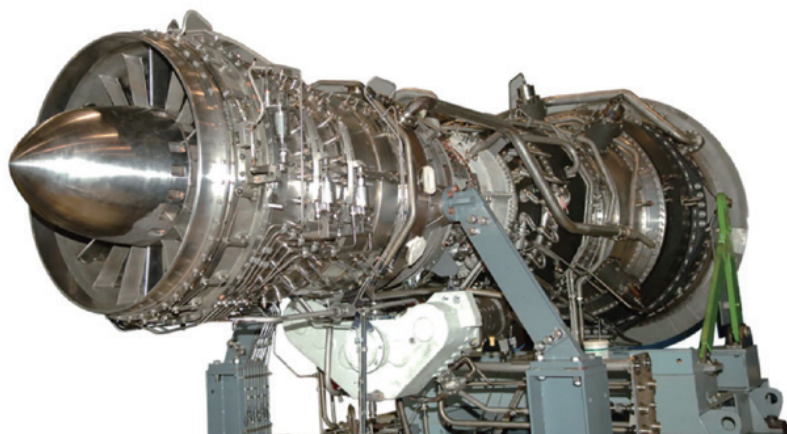
了科技部组织的项目验收。R0110重型燃气轮机及其机组在中海油深圳电力有限公司满负荷累计运行1600物理小时，等效运行时间达到6000小时。在R0110重型燃气轮机基础上，开展了燃用中低热值燃料的R0110A重型燃气轮机的研制工作，可用于整体煤气化联合循环发电（IGCC）电站，R0110A燃气轮机功率126MW，热效率36.6%，目前已完成厂内全速空载调试试验。

R0110在研制过程中突破了以下几种关键技术：突破重型燃气轮机总体设计技术，国内首次走完重型燃气轮机自主研发应用的全过程；完成了大流量、增压比为14.8的15级轴流式压气机的研制；完成了国内首型干式低排放燃烧室设计、制造、全温全压试验；完成双层壁结构的4级轴流式涡轮的研制；完成重型燃气轮机的大型压气机盘和涡轮盘加工制造。

中国航发“三轻一重”燃气轮机产品发展规划

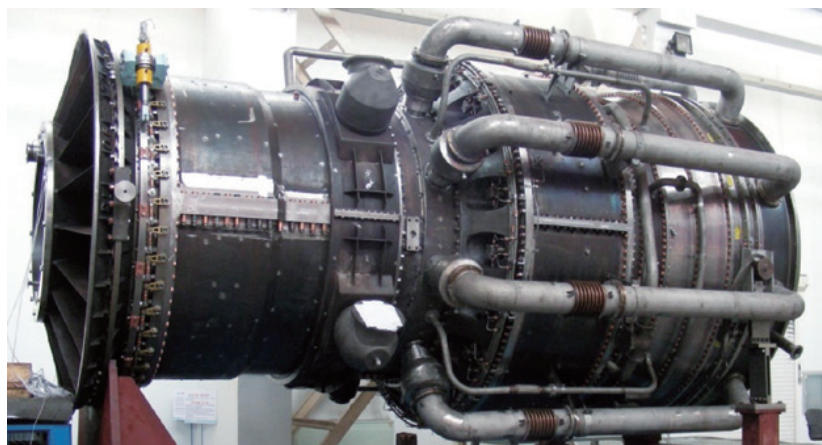
QD70 燃气轮机

QD70系列燃气轮机以成为中国



性能参数	基本负荷	尖峰负荷
燃气轮机功率/MW	17.5	18.5
热效率/%	37.7	38
进气流量/(kg/s)	56.4	57.8
输出转速/(r/min)	5300	5300
排气温度/℃	488	496

图3 QD185燃气轮机及其主要性能参数



性能参数	基本负荷	尖峰负荷
燃气轮机功率/MW	114.5	125
热效率/%	36	36.5
进气流量/(kg/s)	360	360
输出转速/(r/min)	3000	3000
排气温度/°C	517	547

图4 R0110燃气轮机及其主要性能参数

航发第一型具有市场影响力、创品牌的产品为目标。作为常规分布式发电QD70燃气轮机技术已达到生产阶段，下一步主要是市场的推广和应用；作为海上平台发电用QD70燃气轮机初步具备小批量领先使用条件。在“十三五”和“十四五”期间，QD70系列燃气轮机力争2020年完成低排放燃烧技术在整机上的工程验证，2022年实现低排放技术在燃气轮机上的应用，并在2025年前实现批量生产。

QD185燃气轮机

QD185燃气轮机以成为“以民促军”应用的典范为目标，通过工业用燃气轮机成熟应用为15MW船用燃气轮机研制立项奠定基础。2020年前，工业型实现“首台套”应用，船用型形成工程验证机；2025年前，工业型实现小批生产，船用型完成研制。

具体在2018—2023年，实现两个目标：第一，实现QD185燃气轮机首批商业化销售、维护保障及示范运行，为拓展市场奠定基础；第二，在实现销售的同时，及时开展低排放、双燃料及成套等关键技术深化

研究及应用，并努力落实燃气轮机降低成本、提高可靠性、易于维修等客户需求，提高QD185燃气轮机在国内燃气轮机市场的竞争力。

R0110燃气轮机

通过故障技术问题梳理和机组改进设计，力争2020年完成机组修复，实现在海油深电恢复运行，即2020年前实现“首台套”示范。

开展低排放燃烧、远程监控预警及故障诊断系统设计技术与验证。2021年完成排放燃烧技术、远程监控预警及故障诊断技术在整机上的验证。进而推动燃气轮机实现市场销售和批量生产，成为集团燃气轮机产业发展的支柱产品和国内自主研发重型燃气轮机典范。2025年实现小批量生产，即中低热值机组实现“首台套”应用。

QJ/QD280燃气轮机

QJ/QD280是30MW级的燃气轮机，作为管道增压用QJ280已完成燃气轮机试制，但仍处于科研阶段，技术成熟度6级。作为发电用QD280燃气轮机正在开展动力涡轮研制，技术成熟度4级。

因此，对于QJ/QD280燃气轮机，需要促进增压、发电机组成熟和应用，并通过突破动力涡轮制造技术为实现整机交付奠定基础，于2020年前实现“首台套”应用，于2025年前实现批量生产。

结束语

我国燃气轮机技术的发展必须立足于国内，坚持自主研发开发，打破国外技术封锁，避免受制于人。中国航发已经具备自主研发先进燃气轮机的条件和能力，依靠航空技术优势，按照“生产一代、研制一代、预研一代、探索一代”的可持续发展模式，通过多年努力，形成了“航燃并举、轻重兼顾、系列发展”的良好局面，建立了燃气轮机自主发展的态势。如今中国航发燃机公司蓄势待发，在不久的将来，中国自主研发的燃气轮机将终结国外产品的垄断，为我国能源与国防安全奠定固本发展的基础。

航空动力

(周建华，中国航发动力所副总工程师，研究员，主要从事燃气轮机总体设计)