

决策咨询系列



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第十四辑

中国科学院

 科学出版社

决策咨询系列



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第十四辑

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国科学家思想录. 第十四辑 / 中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2020.1

(国家科学思想库)

ISBN 978-7-03-062594-6

I. ①中… II. ①中… III. ①自然科学—学术思想—研究—中国
IV. ①N12

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第224419号

责任编辑: 侯俊琳 牛玲 / 责任校对: 贾娜娜

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 黄华斌 陈敬 张伯阳

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2020年1月第一版 开本: 720×1000 1/16

2020年1月第一次印刷 印张: 24

字数: 400 000

定价: 156.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

内容简介

中国科学院学部是国家在科学技术方面的最高咨询机构，长期以来围绕推进经济社会发展、改善人民生活、保障国防安全等方面的重大科技问题，开展了一系列决策咨询和战略研究，提出了许多重要咨询意见和建议，为中央决策提供了科学依据。

“中国科学家思想录”较为系统地对这些重要报告和院士建议进行了梳理和精编，记录了广大院士在科学研究基础上服务国家科学决策的丰富思想，将对各级政府决策科学化、社会公众理解科学起到积极的推动作用，适合政府部门、科研机构、相关企业的管理者和研究人员及社会公众阅读。

丛 书 序

白春礼

中国科学院作为国家科学思想库，长期以来，组织广大院士开展战略研究和决策咨询，完成了一系列咨询报告和院士建议。这些报告和建议从科学家的视角，以科学严谨的方法，讨论了我国科学技术的发展方向、与国家经济社会发展相关联的重大科技问题和政策，以及若干社会公众广为关注的问题，为国家宏观决策提供了重要的科学依据和政策建议，受到党中央和国务院的高度重视。本套丛书按年度汇编 1998 年以来中国科学院学部完成的咨询报告和院士建议，旨在将这些思想成果服务于社会，科学地引导公众。

当今世界正在发生大变革、大调整，新科技革命的曙光已经显现，我国经济社会发展也正处在重要的转型期，转变经济发展方式、实现科学发展越来越需要我国科技加快从跟踪为主向创新跨越转变。在这样一个关键时期，出思想尤为重要。中国科学院作为国家科学思想库，必须依靠自己的智慧和科学的思考，在把握我国科学的发展方向、选择战略性新兴产业的关键核心技术、突破资源瓶颈和生态环境约束、破解社会转型时期复杂社会矛盾、建立与世界更加和谐的关系等方面发挥更大作用。

思想解放是人类社会大变革的前奏。近代以来，文艺复兴和思想启蒙运动极大地解放了思想，引发了科学革命和工业革命，开启了人类现代化进程。我国改革开放的伟大实践，源于关于真理标准的大讨论，这一讨论确立了我党解放思想、实事求是的思想路线，

极大地激发了中国人民的聪明才智，创造了世界发展史上的又一奇迹。当前，我国正处在现代化建设的关键时期，进一步解放思想，多出科学思想，多出战略思想，多出深刻思想，比以往任何时期都更加紧迫，更加重要。

思想创新是创新驱动发展的源泉。一部人类文明史，本质上是人类不断思考世界、认识世界到改造世界的历史。一部人类科学史，本质上是人类不断思考自然、认识自然到驾驭自然的历史。反思我们走过的历程，尽管我国在经济建设方面取得了举世瞩目的成就，科技发展也取得了长足的进步，但从思想角度看，我们的经济发展更多地借鉴了人类发展的成功经验，我们的科技发展主要是跟踪世界科技发展前沿，真正中国原创的思想还比较少，“钱学森之问”仍在困扰和拷问着我们。当前我国确立了创新驱动发展的道路，这是一条世界各国都在探索的道路，并无成功经验可以借鉴，需要我们在实践中自主创新。当前我国科技正处在创新跨越的起点，而原创能力已成为制约发展的瓶颈，需要科技界大幅提升思想创新的能力。

思想繁荣是社会和谐的基础。和谐基于相互理解，理解源于思想交流，建设社会主义和谐社会需要思想繁荣。思想繁荣需要提倡学术自由，学术自由需要鼓励学术争鸣，学术争鸣需要批判思维，批判思维需要独立思考。当前我国正处于社会转型期，各种复杂矛盾交织，需要国家采取适当的政策和措施予以解决，但思想繁荣是治本之策。思想繁荣也是我国社会主义文化大发展、大繁荣应有之义。

正是基于上述思考，我们把“出思想”、“出成果”和“出人才”并列作为中国科学院新时期的战略使命。面对国家和人民的殷切期望，面对科技创新跨越的机遇与挑战，我们要进一步对国家科学思想库建设加以系统谋划、整体布局，切实加强咨询研究、战略研究和学术研究，努力取得更多的富有科学性、前瞻性、系统性和可操作性的思想成果，为国家宏观决策提供咨询建议和科学依据，为社会公众提供科学思想和精神食粮。

二〇一二年十一月

前 言

作为国家在科学技术方面最高咨询机构，长期以来，中国科学院学部组织广大院士围绕我国经济社会可持续发展、科技发展前沿领域和体制机制、应对全球性重大挑战等重大问题，开展战略研究和决策咨询，形成了许多咨询报告和院士建议。这些咨询报告和院士建议为国家宏观决策提供了重要参考依据，许多已经被采纳并成为公共政策。将咨询报告和院士建议公开出版发行，对于社会公众了解中国科学院学部咨询评议工作、理解国家相关政策无疑是有帮助的，对于传承、传播院士们的科学思想和为学精神也大有裨益。

“中国科学家思想录”丛书自2009年5月开始启动出版，至今已有10年的时间。本次出版的《中国科学家思想录·第十四辑》，汇集了2015年经学部咨询评议工作委员会审议通过并报送党中央、国务院的咨询报告和院士建议，内容既涉及先进制造、科技评价、新能源汽车、军民融合发展、可持续发展、科技外交等领域，也涉及信息科学、资源与环境科学、空间科学、能源科学、生命科学、医学、材料科学等学科，关注的重大问题均与国家经济社会发展密切相关，提出的政策建议都是众多院士专家经过深入调查和广泛研讨完成的，具有重要的参考价值。

希望本次出版的《中国科学家思想录·第十四辑》能让广大

读者更加深入地了解中国科学院学部为加强国家高水平科技智库建设所做出的不懈努力，了解广大院士为国家决策发挥参谋、咨询作用提供的诸多可资借鉴的宝贵资料，也期待广大读者提出宝贵意见。

中国科学院学部工作局

2019年8月

丛书策划：胡升华 侯俊琳
责任编辑：侯俊琳 牛 玲
封面设计：黄华斌 陈 敬 张伯阳

创造有价值的阅读

科学出版社科学人文分社

编辑部电话：010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

地址：北京市东黄城根北街16号

目 录

丛书序 / i

前言 / iii

抓住战略机遇期，发展航空发动机与燃气轮机先进制造技术	/ 1
加强信息科学基础研究，维护我国网络安全	/ 17
改进我国科学评价体系，促进卓越科学研究	/ 25
关于进一步强化内蒙古呼伦湖生态环境综合治理与保护的建議	/ 31
加强信息与生命交叉学科研究，促进信息科学与医学生命科学 融合创新发展	/ 39
新工业革命的思考与对策	/ 54
关于尽快在我国开展移动全息投影技术的研究开发的建議	/ 69
开拓电动汽车大众市场的难点和对策	/ 90
我国化肥使用中存在的问题与对策	/ 101
加快新常态下我国军民融合科技创新体系建设的思考与建議	/ 120
发展轻量化和绿色环保技术，实现塑料加工和模具工业转型升级	/ 131
关于我国经济增长（速度）支撑系统的分析与建議	/ 151

加强我国空间科学发展的若干建议	175
关于推进“资源节约型、环境友好型”农业生产体系建设的建议	189
我国大气 PM _{2.5} 污染现状及控制对策建议	199
加强关键信息基础设施建设,保障网络安全	214
关于新时期战略性地推进我国科技外交的建议	230
关于加快推进我国生物质合成燃油产业发展的咨询报告	252
全面推进我国湖泊与湿地保护的对策和建议	260
关于设立国家生命伦理委员会的建议	272
推进科研信息化,实施国家科研信息化重大工程	285
对我国参加第 21 届联合国气候变化大会的若干建议	304
中国页岩气发展战略对策建议	321
大力推进我国风能可持续发展的对策建议	335
关于加快地下盐穴储油库建设的建议	359
关于支持国产质子/碳离子治疗装置产业化的建议	363
关于统筹各方资源支持我国高世代基板玻璃产业发展的建议	367
关于大力加强我国玄武岩纤维材料发展的建议	369

抓住战略机遇期，发展航空发动机 与燃气轮机先进制造技术

熊有伦 等

一、两机先进制造的使命

（一）两机先进制造的战略意义

航空发动机作为飞机的心脏，它的好坏直接影响着飞机的经济性、可靠性、使用性能及作战性能。燃气轮机是实现热能、动能、电能转换的大型动力装置，被誉为工业领域的“原动机”。以航空发动机和燃气轮机为代表的先进动力装备的设计、材料与制造技术是体现一个国家科技水平、军事实力和综合国力的重要标志。我国航空发动机和燃气轮机制造技术相对比较落后，严重制约了大型飞机和能源设备等的研发，影响航空、航天、航海和新能源的发展。

航空发动机与燃气轮机运行在高温、高压、高转速和高负荷等苛刻条件下，要求使用高效、节能和高可靠性，因而必须设计精巧、加工精密、检测准确。因此，航空发动机与燃气轮机的研发难度大、周期长、投资多、风险高。

航空发动机具有巨大的市场空间，仅我国国内市场就达到千亿元。预计到2020年，中国需要购买2000架大飞机，需要6000台发动机，将产生2000多亿元人民币的市场需求；未来我国低空空域如果开放，通用航空将快速发展，

军机、大飞机及直升机的航空发动机合计每年的平均市场规模约为 350 亿元。根据相关预测，中国航空运输量目前以每年 8% 的速度增长，我国将在 20 年内成为全球飞机和发动机市场的最大买家。到 2026 年，中国的飞机需求总量将接近 3000 架，有望带动航空发动机市场需求总量达到 6500 台，总价值约为 4000 亿元。

重型燃气轮机是国家优先发展的重大技术装备之一，是国家装备制造业重点发展的领域，其中燃气-蒸汽联合循环机组和整体煤气化燃气-蒸汽联合循环机组堪称重中之重。随着中国能源需求迅猛增长及天然气资源进入大规模开发利用阶段，燃气轮机正在形成一个爆发性增长的市场。根据国家发展和改革委员会规划，到 2020 年全国燃气轮机联合循环装机容量将达到 5500 万千瓦，是 2000 年之前已建成同类装机容量的 25 倍。保守估计，仅中石油集团一家，每年需要的燃气轮机价值就达到了 30 亿元。到 2015 年，国内燃气轮机的市场容量能达到 300 亿元，而国际市场容量则能达到 2700 亿元。从市场容量看，西气东输、西电东送、南水北调三大工程均需要大量 30 兆瓦级工业型燃气轮机，同时我国舰船制造业的健康快速发展需要大量 30 兆瓦级舰船燃气轮机，我国已成为世界最大的燃气轮机潜在市场。未来几年，随着国内市场的逐步开发，30 兆瓦级燃气轮机的市场需求会进一步稳定发展，预计未来几年我国国内 30 兆瓦级燃气轮机市场需求将会达到 20~45 台/年。

（二）我国两机制造现状

1. 航空发动机制造现状

航空工业是知识密集和技术密集的高科技产业。中华人民共和国成立以来，我国航空工业从修理到制造，从仿制到自行研制，逐步形成了包含基础科研和型号研制、具有一定规模和先进技术的工业生产体系。

20 世纪 60 年代初，为打破国际上对我国的技术封锁，我国在沈阳成立了沈阳发动机设计研究所，独立自主发展航空动力尖端技术。从 1984 年 6 月开始，“昆仑”发动机经历了由验证机到原型机的研制阶段。到 1991 年年初，“昆仑”发动机先后进行了两次重大修改设计，攻克了压气机转子叶片和涡轮叶片断裂等关键技术难题。“昆仑”发动机研制中遇到的最大难题是：由于压气

机喘振裕度不够，造成高压压气机和低压压气机工作不匹配。1991年4月，我国军用新机选用“昆仑”发动机作为动力装置，列入国家重点型号加速研制。1993年12月12日，“昆仑”发动机在完成列装后实现了首飞并获得成功，首飞半年后，攻关组经过多次修改设计和试验，最后高压压气机采用高扩稳增益的机匣处理技术，以新的结构取代了“放气”装置，终于攻克了困扰“昆仑”发动机多年的高、低压气机不匹配这一重大技术关键难题。在“昆仑”发动机研制过程中，我国第一部《航空发动机设计用材料数据手册》编辑出版。

2005年，第三代涡扇发动机“太行”发动机实现设计定型。第三代涡扇发动机比第二代涡喷发动机不但在总压比上有很大提高，而且在材料的使用温度上也有大幅提高，同时对零件的加工精度要求也全面提高了。涡扇发动机在发动机整机参数匹配上与涡喷发动机有较大的差异，进入加力燃烧室的气流温度较涡喷发动机低，因此组织燃烧也困难。第三代涡扇发动机的部件水平又较第二代涡喷发动机上了一个大台阶，不但设计难度大，而且在试验设备上也需要相应的技术改造。“太行”发动机在设计上注重维修性品质，采用了单元体结构设计技术，并设置了齐全的状态监控手段，提供了方便的保障设施。在几大关键部件的设计中，进行集成创新，选用了数十项有预研基础的新技术、新材料和新工艺，将预先研究成果与型号研制相结合，攻克了多个技术关键，技术人员在不断增长工程经验的同时，掌握了国际先进的发动机设计技术。“太行”发动机在自行设计过程中采用新技术，三级风扇为带进气可变弯度导向叶片的跨音速气动设计，两级低压涡轮为复合倾斜弯扭的三维气动设计，低压涡轮两级导向叶片均为空心、三联整体无余量精铸结构，与高压涡轮对转，其效率达到当今国际先进水平。“太行”发动机复合材料外涵机匣是复合材料技术在国内航空发动机上的第一次应用，重量减轻30%；加力燃烧室为“平行进气”式，工作范围宽、重量轻、流体损失小，采用分区分压供油方案，保证了在发动机工作包线内的可靠点火和稳定；尾喷口为全程无级可调收敛扩散喷口设计，填补了国内在相关领域的空白。

航空发动机运行在高温、高压、高转速和高负荷等苛刻条件下，要求重量轻、体积小，使用安全可靠、经济性好，因而必须设计精巧、加工精密。这些都对材料与制造工艺提出了更高的要求。研究表明，在新一代航空发动

机性能的提高中,制造工艺与材料的贡献率为 50%~70%;而在发动机减重的贡献率中,制造工艺和材料的贡献率占 70%~80%,这充分表明材料与制造工艺是制约新一代航空发动机发展的瓶颈。

制造工艺对航空发动机的可靠性和安全性影响重大。据 20 世纪 70 年代美国飞行事故统计,由于工艺和材料质量造成的飞行事故占飞行事故总数的 65%。国外的经验表明,一代航空发动机的更新总是伴随着新材料、新工艺、新技术的重大突破。我国航空工业经历了 50 余年的发展,走过了由维修到制造,从仿制到研制的历程。随着“昆仑”“太行”发动机的设计定型生产,我国航空发动机制造行业突破了精密制坯技术、切削技术、焊接技术、特种加工技术等关键制造工艺的难点,并初步具备了数字化设计制造能力,这使得我国跻身世界上为数不多的能够独立研制航空发动机的国家之列。应当指出的是,我国在航空发动机制造方面属于后起国家,航空工业发达国家在研制高性能航空发动机上投入了大量的资金和人力,实施了一系列技术开发和验证计划,如“先进战术战斗机发动机计划”(ATFE)、“综合高性能涡轮发动机技术计划”(IHPTET)及后续的“经济可承受的通用先进涡轮发动机计划”(VAATE)、英法合作“先进军用发动机技术计划”(AMET)等。在这些计划的支持下,美国的 F119、F414,欧洲的 EJ200,法国的 M88 和俄罗斯的 AL41F 等推重比达到 10 这一量级的发动机陆续问世。

2. 燃气轮机制造现状

我国燃气轮机制造技术的研发工作起步于 20 世纪 50 年代后期,20 世纪 60 年代至 70 年代初,上海电气电站设备有限公司汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、东方汽轮机有限公司和南京汽轮机(集团)有限责任公司都曾以产学研联合的方式,自行设计和制造过燃气轮机,透平进气初温为 700℃等级,与当时的世界水平差距不大。后来由于能源政策等诸多原因,燃气轮机技术的发展速度一直很慢。改革开放以后,沿海经济发展较快的地区建设了一批燃气轮机电厂,从国外引进了一批中小型燃气轮机发电机组,包括美国通用电器(GE)公司的 6B 燃气轮机、瑞士 ABB 公司的 13D 燃气轮机及美国普惠公司的 FT8 燃气轮机,以柴油、原油或重油为燃料,绝大多数采用燃气-蒸汽轮机联合循环方式发电。

“十五”期间，为了推进大型燃气-蒸汽联合循环发电技术的应用，积极发展我国的燃气轮机产业，国家发展和改革委员会确定了“组织国内市场资源，集中招标，引进技术，促进国内燃气轮机产业发展和制造水平提高”的战略目标，实施以市场换技术的重大举措，对规划批量建设的燃气轮机电站项目进行“打捆”式设备招标采购，同时引进先进的大型燃气轮机制造技术。国外燃气轮机制造商与国内制造企业组成联合体，投标竞争国内一定批量燃气-蒸汽联合循环电站项目的设备订单。联合体内部由外方转让大型燃气轮机制造技术，国内制造企业根据引进技术的消化吸收速度、生产能力、获得的订单台数及交货周期等因素，制订自主化制造的进程和方案，分阶段实施，逐步实现燃气-蒸汽联合循环电站设备制造的本地化、自主化。

从2002年起，通过“打捆”式设备招标采购，我国已形成三个联合体，分别从国外三家著名燃气轮机制造商引进F级燃气轮机技术：由上海电气（集团）总公司与西门子公司合作，生产V94.3A型燃气轮机；哈尔滨动力设备股份有限公司与GE公司合作，生产PC9351（PA）型燃气轮机；东方电气集团与三菱公司合作，生产M701F型燃气轮机。

另外，三大企业均分别与各自的合作伙伴成立合资公司（外方持有51%的股份）。合资公司的业务大致为：为燃气轮机提供维修和现场服务；生产燃气轮机的高温部件，如燃烧系统、透平叶片等。合资公司的建立和运营，对我国大功率燃气轮机的国产化进程具有一定的推动作用。

为了提高我国燃气轮机关键核心技术的自主开发能力，2002年10月开始，国家“863”计划能源技术领域燃气轮机重大专项实施，以产学研联合体的形式重点开展R0110重型燃气轮机（输出功率114.5兆瓦）核心部件及关键技术的研发，为进一步的自主研制、形成国产重型燃气轮机产业奠定技术基础；“十一五”期间继续实施“863”计划先进能源技术领域微型燃气轮机重点项目和“863”计划先进能源技术领域重型燃气轮机关键技术及系统重大项目，开展燃气轮机的自主研发工作。通过这些专项的实施，我国在重型和微型燃气轮机技术方面逐步缩小了与国际先进水平的差距，掌握了重型和微型燃气轮机设计、制造、试验关键技术，在燃气轮机的自主研发方面取得了有效的进展。

20世纪80年代末以来，重型燃气轮机普遍采用航空发动机的先进技术，

陆续发展了一批高性能的燃气轮机。由于军事上的需求和驱动，先进国家在航空发动机的研究与发展上投入十分巨大，技术处于领先水平；几个制造燃气轮机的大公司，如 GE 公司、阿尔斯通公司和西门子公司等，都先后和著名的航空发动机公司结成联盟，将最新的航空发动机成果应用到地面燃气轮机。GE 公司本身就拥有研制先进军用航空发动机的航空发动机工程部，其生产燃气轮机的动力系统部与航空发动机工程部的合作，使得 GE 公司无论是航空发动机还是燃气轮机都处于世界领先地位，并占有较大的份额；西门子公司和普惠公司合作，阿尔斯通公司与英国 Rolls-Royce 公司（简称罗罗公司）合作，各自的产品都取得了长足的进步。国外新一代重型燃气轮机，无一例外地都大量移植了航空发动机的最新技术，在气动设计、燃烧、传热、材料、隔热涂层和维护等方面，或者是采用航空技术进行设计，或者是直接用航空发动机部件（主要是压气机）按比例模化放大，使得新一代的重型燃气轮机在部件效率、压比、透平前温等方面均比其上一代机组有显著的提高，达到与最新型的航空发动机相近的水平。制造公司与航空部门紧密合作，是世界上先进燃气轮机发展的必然趋势。

（三）国外已开展的重大研究计划

美国、德国等航空制造强国在解决航空发动机和燃气轮机制造核心问题及制造基础理论方面开展了大量的研究，政府组织了多个重大研究计划。以航空发动机制造为例，美国于 2005 年成功实施了国家级“综合高性能涡轮发动机技术计划”（IHPTET），在该计划取得巨大成功的基础上，美国又从 2006 年继续启动“经济可承受的通用先进涡轮发动机计划”（VAATE），年均资助约 3 亿美元，计划于 2017 年结束。欧盟于 2000 年实施了“机翼、机身复合材料计划”（TANGO 计划）之后，又于 2005 年开始实施“先进和低成本的机体结构计划”（ALCAS 计划），开展了发动机制造技术的研究；以美国波音公司和欧洲空客公司为代表的大型航空企业，在本国政府的支持下先后开展了波音公司下一代民用飞机发展关键技术、空客公司未来民用飞机发展技术的研究工作。这些大型研究计划中均将航空发动机的制造技术作为重要研究主题之一。

（四）不足与挑战

现阶段，我国航空发动机和燃气轮机的制造技术不能满足自身航空发动