



国家出版基金项目

“十三五”国家重点图书出版规划项目



工程科技发展战略研究丛书



航天航空

智能制造技术与装备发展战略研究

孟光 郭立杰 林忠钦 等 编著



上海科学技术出版社



“十三五”国家重点图书出版规划项目

工程科技发展战略研究丛书

航天航空 智能制造技术与装备发展战略研究

孟 光 郭立杰 林忠钦 等 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

航天航空智能制造技术与装备发展战略研究 / 孟光
等编著. —上海: 上海科学技术出版社, 2017.10

(工程科技发展战略研究丛书)

ISBN 978-7-5478-3783-2

I. ①航… II. ①孟… III. ①航空航天工业—制造工
业—研究—中国 IV. ①F426.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 270623 号

本书出版由上海科技专著出版资金资助

航天航空智能制造技术与装备发展战略研究

孟 光 郭立杰 林忠钦 等 编著

技术编辑 张志建 陈美生

责任校对 翟 红

封面设计 赵 军

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 插页 4

字数 500 千字

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3783-2/V·19

定价: 98.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

“工程科技发展战略研究丛书” 学术顾问

- 徐匡迪 中国工程院院士、中国工程院主席团名誉主席
- 周 济 中国工程院院士、中国工程院院长
- 李晓红 中国工程院院士、中国工程院党组书记
- 潘云鹤 中国工程院院士、浙江大学教授
- 刘 旭 中国工程院院士、中国工程院副院长
- 翁史烈 中国工程院院士、上海交通大学教授
- 杨胜利 中国工程院院士、中国科学院上海生命科学研究院研究员
- 郭重庆 中国工程院院士、同济大学教授
- 金东寒 中国工程院院士、上海大学研究员
- 朱能鸿 中国工程院院士、中国科学院上海天文台研究员
- 龚惠兴 中国工程院院士、中国科学院上海技术物理研究所研究员
- 贲 德 中国工程院院士、中国电子科技集团公司第十四研究所研究员
- 钱旭红 中国工程院院士、华东理工大学教授
- 孙晋良 中国工程院院士、上海大学教授
- 张全兴 中国工程院院士、南京大学教授
- 王红阳 中国工程院院士、海军军医大学教授
- 闻玉梅 中国工程院院士、复旦大学上海医学院教授
- 盖钧镒 中国工程院院士、南京农业大学教授

“工程科技发展战略研究丛书”编委会

主 编

翁史烈 杨胜利

编 委

林忠钦 钟志华 李同保 俞建勇

钱 锋 金 力 寿子琪 易 建

吴国凯 马兴发 高战军 黄 琳

何 军 毛文涛 顾锡新

编委办公室

罗永浩 翁一武 张绍华 保志军

宋志坚 郭立杰 李 静 张丽莉

李祥太 邱鲁燕 汪 洋

主编单位

上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心

中国工程科技发展战略研究中心(上海)

本书编写人员

编审委员会

林忠钦 尹泽勇 孟 光 郭立杰 贾东晨
黄 瓯 郭博智 奚立峰 姜丽萍 陈 磊
何 军 顾锡新 李祥太

编 撰

潘 军 王 皓 孙习武 王 炜 周 聆
杨长祺 杨树泉 韩秀峰 沈 彬 潘尔顺
胡永祥 李富才 乔凤斌 程 辉 刘明芳
侯春杰 刘斯琪 蔡晓江 沈丽峰 金永乔
宋金榜 胡一廷 庞 微 项宏伟 陈东萍

主 审

唐宏亮 李中权 张 渝 李汝鹏

“长三角航天航空智能制造技术与装备发展战略研究”课题组成员

项目总体课题组成员

- 林忠钦** 上海交通大学校长、中国工程院院士
- 尹泽勇** 中国航发集团科技委主任、中国工程院院士
- 孟光** 上海航天技术研究院副院长、教授
- 郭立杰** 上海航天设备制造总厂副厂长、研究员
- 贾东晨** 中国航发商用航空发动机有限责任公司副总经理、总工程师
- 黄瓯** 上海电气集团副总裁、教授级高工
- 郭博智** 中国商飞上海飞机设计研究院院长、研究员
- 奚立峰** 上海交通大学校长助理、教授
- 姜丽萍** 中国商飞公司制造总师
- 陈磊** 中国商飞上海飞机制造有限公司总经理助理、研究员
- 潘军** 上海航天技术研究院科技委秘书长、研究员
- 周聆** 上海航天技术研究院高工
- 孙习武** 上海航天设备制造总厂高工
- 杨树泉** 上海航天技术研究院研究员
- 韩秀峰** 中国航发商用航空发动机有限责任公司高工

“航天航空制造业现状及发展趋势研究”课题组成员

孟 光 上海航天技术研究院副院长、教授
郭立杰 上海航天设备制造总厂副厂长、研究员
潘 军 上海航天技术研究院科技委秘书长、研究员
李汝鹏 中国商飞上海飞机制造有限公司高工
刘明芳 上海航天设备制造总厂工程师
金永乔 上海航天精密机械研究所高工
陈东萍 中国航发商用航空发动机有限责任公司工程师
侯春杰 上海航天设备制造总厂工程师

“长三角航天航空制造业区域经济融合研究”课题组成员

王 皓 上海交通大学机械与动力学院教授
沈 彬 上海交通大学机械与动力学院副教授
陈保兴 中国商飞上海飞机设计研究院副部长
项宏伟 中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司高工
胡一廷 中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司工程师
沈丽峰 上海航天控制技术研究所工程师
刘斯琪 上海航天设备制造总厂工程师

“航天航空产业制造体系研究”课题组成员

贾东晨 中国航发商用航空发动机有限责任公司副总经理、总工
孟 光 上海航天技术研究院副院长、教授
张 渝 中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司总经理
潘尔顺 上海交通大学机械与动力学院教授
胡永祥 上海交通大学机械与动力学院副教授
韩秀峰 中国航发商用航空发动机有限责任公司高工
庞 微 中国商飞上海飞机制造有限公司工程师
宋金榜 中国航发商用航空发动机有限责任公司工程师

“航天航空智能制造技术与装备研究”课题组成员

- 孟 光 上海航天技术研究院副院长、教授
郭立杰 上海航天设备制造总厂副厂长、研究员
李中权 上海航天精密机械研究所副所长、研究员
王 炜 上海航天设备制造总厂研究员
唐宏亮 上海航天控制技术研究所研究员
杨长祺 上海航天精密机械研究所研究员
李富才 上海交通大学机动学院教授
蔡晓江 上海航天控制技术研究所工程师

课题综合组成员

- 林忠钦 上海交通大学校长、中国工程院院士
何 军 上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心常务副主任
顾锡新 上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心副主任
李祥太 上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心项目管理部副部长

内 容 提 要

航天航空产业是表征国家科技实力和竞争力的重要战略性产业,大力提升航天航空装备制造业水平和产业化能力,是加快推进我国制造业转型升级的重要任务。本书围绕《中国制造 2025》战略的实施,以国家航天航空重大工程应用需求为牵引,重点介绍了航天和商业航空领域智能制造技术与装备发展现状与趋势、制造关键技术与重大装备、协同制造重点工程及示范应用、发展战略、技术路线以及政策建议等方面的研究成果。

本书共分 7 个章节,主要包括国内外航天、商业航空、商用航空发动机产业智能制造技术及装备发展现状和发展趋势、特定应用需求。本书梳理了重点发展领域、关键技术及重大装备;结合航天航空典型工程实施,介绍了航天航空协同制造技术及相关案例;围绕航天航空典型应用,对航天产品、商用飞机、商用航空发动机的多项智能制造产品研究项目进行了分析;围绕产业技术发展,描述了 2030 年前航天航空智能制造发展战略和技术路线图,提出了相关发展对策,为新形势下我国特别是长三角地区航天航空智能制造技术及装备产业发展提出了重点方向和示范工程建议。

本书的读者对象主要为航天航空工程领域科研人员、高校师生、生产制造流程工程技术人员及相关管理人员,本书亦可为政府相关部门在产业研究、项目规划等的决策和政策制定方面提供借鉴参考。

习近平总书记在 2014 年两院院士大会上强调指出：中国科学院、中国工程院是国家科学技术思想库。两院要组织广大院士，围绕事关经济社会及科技发展全局性问题，开展战略咨询研究，以科学咨询支撑科学决策，以科学决策引领科学发展。

当前，世界范围内的新一轮科技革命和产业变革加速演进，信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术广泛渗透，带动以绿色、智能、泛在为特征的群体性技术突破。重大颠覆性创新不断涌现。世界各大国都在积极强化创新部署，创新战略竞争在综合国力竞争中的地位日益重要。科学发展需要科学决策，科学决策需要科学咨询。面对复杂多变的国际环境和国内发展形势，破解改革发展稳定难题、应对国内外复杂问题的艰巨性前所未有，迫切需要健全中国特色决策支撑体系，大力加强中国特色新型智库建设。

中国工程院是国家工程科技界最高荣誉性、咨询性学术机构，是国家的工程科技思想库。围绕国家经济社会发展中的重大工程科技问题开展战略研究，支撑重大问题的科学决策，这是国家赋予中国工程院的重要任务，党中央、国务院寄予很大期望。

中国工程院在 20 多年的咨询工作中，积累和形成了六条宝贵经验：一是服务国家重大战略需求，是中国工程院组织开展战略咨询的根本出发点；二是振兴中华的强烈社会责任感和历史使命感，是激励广大院士以战略咨询服务国家发展的不竭动力；三是基于科学的调查研究提出客观独立的咨询意见，是中国工程院开展战略咨询的重要特色；四是战略研究与咨询服务各方面工作综合协调、统筹兼顾，是战略咨询取得成效的重要基础；五是发挥战略科学家的核心作用、组织多种形式的咨询团队，是战略咨询取得成效的关键因素；六是注重调查研究、

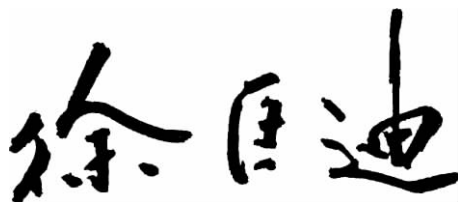
强调科学求真、倡导学术民主,是战略咨询取得成效的重要保障。这些经验对于我们在新形势下进一步加强中国特色新型智库建设具有重要的借鉴意义。

上海作为改革开放的排头兵、创新发展的先行者,在全面实施长江经济带发展战略,大力建设国际经济、金融、贸易和航运中心的过程中重任在肩。加强与上海乃至长三角地区的科技合作,也是中国工程院思想库建设的重要组成部分。早在2001年,中国工程院就率先与上海市人民政府成立合作委员会,组建了上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心(简称“上海院士中心”)。上海院士中心充分发挥院士专家智囊团作用,深耕工程科技领域决策咨询,一系列咨询研究成果广获各方赞誉,影响力逐步辐射国内外。2012年,为进一步深化院市合作,为上海、区域乃至国家经济社会发展提供前瞻性、战略性、全局性的咨询意见和决策依据,双方又成立了中国工程科技发展战略研究中心(上海)(简称“上海战略中心”)。数年来,上海战略中心不辱使命,开展了一系列战略咨询,形成了一系列汇聚着院士专家智慧的研究成果。

近日,上海战略中心策划将近年来的咨询成果集结为“工程科技发展战略研究丛书”出版。丛书立足上海,面向全国,紧密围绕我国工程科技发展的关键领域和上海建设具有全球影响力的科技创新中心的战略布局,围绕若干工程科技领域发展的咨询研究成果,为上海科创中心建设和国家工程科技发展提供了前瞻性、战略性和全局性的智库支撑。

丛书各辑由长期活跃在相关领域第一线的院士专家主导研究,在翔实的研究成果基础上凝练出切实可行的发展战略建议。丛书汇聚了上百名院士专家的集体智慧,具有较强的原创性、权威性、实用性和前瞻性,可为从事相关研究领域的工程科技人员提供研究参考,亦可为工程科技战略规划提供决策咨询。

最后,衷心感谢为丛书的出版付出辛勤努力的各位院士专家。

A large, bold, black handwritten signature in Chinese characters, reading '徐济迪' (Xu Jidi).

2016年5月17日

丛书前言

为充分发挥院士的智囊作用,促进地方经济发展和工程科学技术水平的提高,中国工程院与上海市人民政府充分依托和发挥上海特殊的地域、经济,以及院士多、专业覆盖面宽的优势,于2001年7月成立合作委员会,并在合作委员会的领导下创建了上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心。2012年12月,为进一步深化院市双方战略咨询合作、推动区域工程科技思想库建设,双方成立了全国首个工程科技领域的地方咨询机构——中国工程科技发展战略研究中心(上海),旨在充分发挥区域工程科技智库功能,积极组织院士专家围绕事关科技创新发展全局的长远问题,为上海、长三角乃至国家相关部门科技决策提供准确、前瞻、及时的建议。中国工程科技发展战略研究中心(上海)的建立,对于发展现代科技服务业具有重要的探索和示范作用,对于支撑国家工程科技思想库建设也有重大意义。

中国工程科技发展战略研究中心(上海)自成立以来已先后组织院士专家承担了近20项“中国工程院重点咨询研究项目”及“上海市软科学研究计划项目”,内容涵盖燃气轮机、海洋工程装备、医疗器械、大数据、集成电路、能源互联网、航空航天、智能制造、老龄化、生活垃圾处理以及上海具有全球影响力的科技创新中心建设等众多领域。每个项目均由中国工程院院士领衔,合作单位不仅有上海交通大学、复旦大学、同济大学、华东理工大学、上海大学、中国航天科技集团公司第八研究院(上海航天技术研究院)、上海社会科学院等高校和研究机构,还有中国商用飞机有限责任公司、中国航发商用航空发动机有限责任公司、中信泰富特钢集团等大型企业,以及上海市船舶与海洋工程学会等行业协会。在项目实施过程中,院士专家多次带队赴全国各地开展实地调研,深入了解当地相关领域产业发展情况,并召开系列研讨会和咨询会,集思广益、畅所欲言。所形成的

咨询报告凝聚了上百位院士和专家的智慧与心血,在科学决策中发挥了重要作用。其中《燃气轮机发展战略研究》和《健康老龄化发展战略研究》等咨询成果在第一时间送交国务院、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、科学技术部、国家能源局、国家卫生和计划生育委员会、中国工程院、上海市人民政府等国家和地方有关部门,为国家重大战略布局的科学决策提供了参考。

鉴于这些咨询报告资料丰富、理论体系完整、观点鲜明,具有较高的学术水平和应用参考价值,中国工程科技发展战略研究中心(上海)决定将这些咨询研究成果进行系统总结,以“工程科技发展战略研究丛书”的形式出版,以反映我国工程科技若干重点领域的科技发展战略成果。

当前,上海建设具有全球影响力的科技创新中心已经列入国家“十三五”规划纲要,是一项国家战略,建设的目标任务已十分明确,各项工作已经到了全面深化、全面落实的关键阶段,事关国家发展全局,任务艰巨繁重,必须解放思想、破解难题、改革攻坚。希望这套丛书的编辑出版,能为上海具有全球影响力的科技创新中心建设中的重大科技项目和重大创新工程布局等提供咨询建议,又能为建立与上海具有全球影响力的科技创新中心相适应的重大创新战略和重大科技政策等体制机制改革提供依据,也能为专家学者的研究工作和有关部门的战略决策提供参考。

最后感谢为丛书出版付出辛劳的各位院士专家!

The image shows a handwritten signature in black ink. The characters are '宋时强' (Song Shiqiang), written in a cursive style. The signature is positioned above the date '2016年3月'.

2016年3月

前 言

航天航空产业作为我国战略性产业,是我国制造业率先实现由大到强的重要产业之一。近些年来,通过自主创新,我国航天航空取得了举世瞩目的成就,例如新一代运载火箭、高分辨率卫星、载人航天工程、探月工程、ARJ21 支线飞机、C919 大型客机、商用航空发动机等大工程相继实施,取得了成功或重要进展,使得我国航天航空在若干重要技术领域已跻身世界先进行列。

随着当今世界以数字化、网络化、智能化、定制化和服务化为主要特征的新一轮科技革命和产业变革正在来临,围绕抢占未来制造业发展制高点的竞争愈演愈烈。国内外制造业的创新变革使得航天航空制造业也面临着日益严峻的挑战。航天航空制造业是我国与发达国家水平较为接近的产业之一,新形势下如何围绕信息技术与制造技术融合发展的主线,大力提升航天航空装备制造水平和产业化发展能力,在航天航空领域率先实现由大向强的突破,是新时期我国制造业转型发展、结构升级所面临的重大课题,也是一个难得的战略发展机遇。

为对接国家总体战略,在中国工程院咨询研究项目专项支持下,林忠钦院士、尹泽勇院士担任顾问,孟光教授任组长,郭立杰、贾东晨、黄瓯、郭博智、陈磊任副组长,牵头承担了中国工程科技 2015 年度重点咨询项目“航天航空智能制造技术及装备发展战略研究”。上海地区相关航天航空领域优势科研机构、企业和高校近 100 多位专家、学者和工程技术人员参与了项目研究。项目已于 2016 年底完成并顺利通过中国工程院组织的验收。项目研究主要集中于航天、商用飞机和商用航空发动机三大代表领域。上海航天技术研究院牵头负责研究总报告及子课题四“航天航空智能制造技术与装备研究”任务;上海航天设备制造总厂牵头负责子课题一“航天航空制造业现状及发展趋势研究”及子课题二“长三角航天航空制造业区域经济融合研究”任务;中国航发商用航空发动机有限责任公司负责子课题三“航天航空产业制造业体系研究”任务。上海交通大学、中国

商飞上海飞机设计研究院、上海飞机制造有限公司、中国航发上海商用航空发动机制造有限公司、上海电气集团、上海航天精密机械研究所、上海航天控制技术研究所等单位参与了课题研究。

经由上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心统一策划,基于该研究项目,由研究项目主要单位共同参与编著完成了“工程科技发展战略研究丛书”中的《航天航空智能制造技术与装备发展战略研究》分册。

本专著借鉴了中国工程院战略咨询课题的主要研究成果,以2030年前国家航天航空重大战略需求为牵引,分析了我国航天航空智能制造装备及技术的发展需求和发展重点,对比了美、俄、欧洲发达国家以及我国航天航空产业在制造技术及高端装备自主研发、工艺设计、设计制造协同、标准化建设、数字化制造、智能化制造、复合材料研发等方面存在的差距,提出了我国现阶段航天航空制造业发展存在的主要问题和亟待解决的难题。本专著一方面面向国家战略急需、重大专项应用和技术领先方向,提出航天航空智能制造关键工艺技术、工业机器人突破技术、技术攻克难点,以及重大装备、复合材料制备、增材制造装备、绿色制造装备等发展新路径;另一方面,专著还针对如何对接国家战略,聚焦产业优势,规划了航天航空产业制造体系,制定了技术路线图,并提出相关重点示范工程和发展建议。专著的出版对全面提升我国航天航空领域核心制造能力,探索一条适合具有中国特色的航天航空智能制造的“自主创新+开放合作”发展道路具有积极指导意义,可为推动中国制造业转型升级、创新发展、科技强国、航天强国建设提供有力支撑。

本书入选了“‘十三五’国家重点图书出版规划项目”,本书出版得到了国家出版基金的大力支持,在此表示衷心感谢!

全书由上海航天技术研究院孟光教授主持编写工作,项目研究单位主要项目组成员参与了编写、统稿和审稿工作。

衷心感谢中国工程院、上海市科学技术委员会、上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心、中国工程科技发展战略研究中心(上海)的大力支持和全体项目研究人员的辛勤付出。

本书中引用的有关图表已尽可能征得相关单位和人员许可,如有遗漏之处,敬请谅解。限于作者水平和时间,书中疏漏或不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2017年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 航天与航空	3
1.2 我国的航天航空工业	4
1.3 航天航空制造技术	5
第 2 章 航天航空产品制造现状、趋势与挑战	7
2.1 航天产品制造现状及制造技术发展趋势	9
2.1.1 国内航天产品制造技术与装备	9
2.1.2 国外航天产品制造技术与装备现状	22
2.1.3 航天产品制造技术与装备发展趋势	38
2.2 商用飞机制造现状及制造技术发展趋势	45
2.2.1 国内商用飞机制造技术与装备现状	45
2.2.2 国外商用飞机制造技术与装备现状	47
2.2.3 商用飞机制造技术与装备发展趋势	56
2.3 商用航空发动机制造现状及制造技术发展趋势	57
2.3.1 国内商用航空发动机制造技术与装备现状	57
2.3.2 国外商用航空发动机制造技术与装备现状	61
2.3.3 商用航空发动机制造技术与装备发展趋势	67
2.4 航天航空制造面临形势与挑战	69
第 3 章 航天航空智能制造关键技术	71
3.1 航天航空制造关键技术	73
3.1.1 运载火箭制造关键技术	73
3.1.2 航天器制造关键技术	74
3.1.3 卫星制造关键技术	75
3.1.4 航天液体发动机制造关键技术	76
3.1.5 商用飞机制造关键技术	77