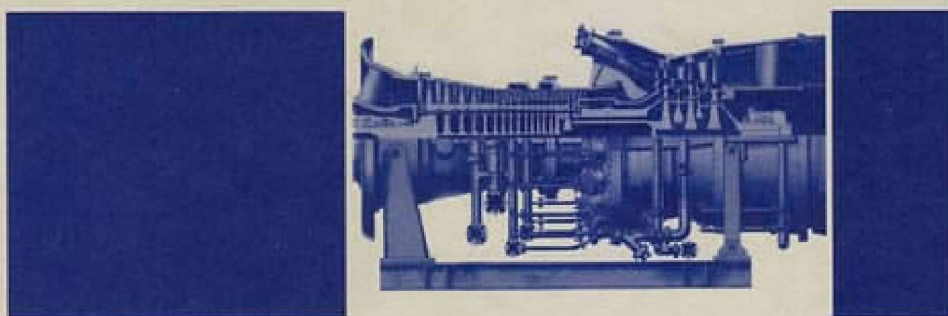




工程科技发展战略研究丛书

中国工程院院士科技咨询专项
上海市软科学研究计划

联合资助



燃气轮机 发展战略研究

闻雪友 翁史烈 翁一武 等 编著



上海科学技术出版社

工程科技发展战略研究丛书

中国工程院院士科技咨询专项 联合资助
上海市软科学研究计划

燃气轮机发展战略研究

闻雪友 翁史烈 翁一武 等 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

燃气轮机发展战略研究 / 闻雪友等编著. —上海:
上海科学技术出版社, 2016. 8

(工程科技发展战略研究丛书)

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3085 - 7

I. ①燃… II. ①闻… III. ①燃气轮机—发展战略—
研究 IV. ①TK47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 113131 号

燃气轮机发展战略研究

闻雪友 翁史烈 翁一武 等 编著

技术编辑 张志建 陈美生

责任校对 李瑶君

封面设计 赵 军

上海世纪出版股份有限公司 出版
上 海 科 学 技 术 出 版 社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www. ewen. co

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 8.75

字数 200 千字

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3085 - 7/TK · 17

定价: 50.00 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 |
| 潘云鹤 | 中国工程院院士、浙江大学教授 |
| 徐德龙 | 中国工程院院士、中国工程院副院长 |
| 钟志华 | 中国工程院院士、中国工程院秘书长 |
| 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 |
| 沈祖炎 | 中国工程院院士、同济大学教授 |
| 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 |
| 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 李同保 俞建勇 钱 锋

金 力 吴国凯 寿子琪 李仁涵

马兴发 高战军

编委办公室

何 军 毛文涛 罗永浩 翁一武

顾锡新 邱鲁燕

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

- 闻雪友 中国工程院院士、中国船舶重工集团公司第七〇三研究所研究员
- 翁史烈 中国工程院院士、上海交通大学教授
- 翁一武 上海交通大学教授
- 王玉璋 上海交通大学副教授
- 姚尔昶 上海电气集团股份有限公司教授级高级工程师
- 刘慧萍 上海市发展改革研究院教授级高级工程师
- 胡立业 华东电力试验研究院有限公司,教授级高级工程师
- 高顶云 上海航天能源股份有限公司研究员
- 薄泽民 上海交通大学博士研究生
- 吕小静 上海交通大学博士研究生
- 王羽平 上海交通大学博士研究生
- 刘宏钊 上海交通大学博士研究生

内 容 提 要

燃气轮机在电力、能源开采和输送、分布式能源等领域都有着不可替代的战略地位和作用。本书基于燃气轮机的研究背景、学科背景,从国内外燃气轮机发展历程、现状及趋势入手,对重型燃气轮机性能、燃料状况、知识产权等进行了详细分析,并提出了我国燃气轮机的发展建议。

本书内容详细、数据丰富,可供燃气轮机行业管理决策人员及技术人员参考阅读。

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的全局性问题，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。

徐匡迪

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、中航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 '宋世烈' (Song Shili), written in a cursive, expressive style. The signature is placed on a light-colored rectangular background.

2016年3月

燃气轮机(gas turbine)产业是涉及国家能源的战略性的产业,而燃气轮机是能源动力装备领域的高端产品。发展燃气轮机对我国先进制造业和先进能源技术的研究至关重要,同时对我国的国民经济发展有很大的推动作用。

燃气轮机有着极其广泛的应用,除了是国防装备中极其关键的设备之外,在国民经济的电力、能源开采和输送、分布式能源系统等领域有着不可替代的战略地位和作用。

目前,燃气轮机技术已经发展到了很高水平,先进的J级简单循环燃气轮机最大功率470 MW、初温1600℃、效率接近41%,联合循环燃气轮机最大功率680 MW、效率61%。燃气轮机产业已经高度垄断,形成了以美国通用电气(GE)、西门子、三菱、阿尔斯通公司为主的重型燃气轮机产品体系,以索拉透平(Solar)、GE、Z-M、R&R 公司为主的驱动用中小型燃气轮机产品体系,以Capstone、Ingersoll Rand 和川崎等公司为主的微型燃气轮机产品体系。我国三大动力集团中的哈尔滨电气集团公司(简称哈尔滨电气)和美国GE、中国东方电气集团有限公司(简称东方电气)和日本三菱集团、上海电气集团股份有限公司(简称上海电气)与德国西门子股份公司合资生产重型燃气轮机,但没有掌握核心设计技术。中小型和微型燃气轮机产品在国内近乎空白,国内市场基本被国外燃气轮机垄断。目前我国燃气轮机整体水平与国际先进水平相差很大,尚未形成严格意义上的燃气轮机产业,远未形成自主设计和制造先进燃气轮机的能力,总体水平落后约20年。

燃气轮机在我国已广泛应用于发电、天然气管线输送、石油化工、舰船动力和分布式供能系统等领域,我国已成为世界最大的燃气轮机潜在市场。截至2012年年底我国重型燃机制造企业已出厂的F/E级燃机共计153台,截至2011

年年底我国已安装投产的长输天然气管道燃气轮机驱动的机组为 146 台。

按规划 2015 年和 2020 年我国大型天然气发电容量分别为 30 000 MW 和 40 000 MW ,重型燃气轮机有广阔的市场“; 十二五”期间 ,我国仅天然气管线输送中小型燃气轮机的总需求量在 400~600 台 ,预计到 2020 年在全国规模以上城市推广使用分布式能源系统 ,装机规模达到 50 000 MW ,其中相当部分采用微型燃气轮机。

燃气轮机发展在知识产权、市场、燃料资源、经济性和技术等方面具有一定的风险。国外燃气轮机巨头掌握了数量巨大的发明专利和商业秘密 ,有严密的知识产权法律保护体系。而我国基本上没有核心专利 ,燃气轮机自主研发过程中很可能发生知识产权冲突 ,如何进行规避的问题会越来越突出。

本书主要内容来源于中国工程院“长三角地区燃气轮机发展战略研究”课题的研究报告。本书从国际先进燃气轮机发展状况、我国燃气轮机产业现状和发展趋势、重型燃气轮机性能技术、燃气轮机燃料供应状况和燃气轮机知识产权保护等几方面进行分析、研究 ,介绍了我国燃气轮机领域的基本情况 ,并结合国家发展区域经济的战略 ,提出了我国燃气轮机发展主要建议 :采用“市场经济 ,举国体制”。充分利用现有基础 ,调动各方面(官、产、学、研〔军、民〕)的优势 ,举全国之力 ,形成巨大的合力。成立由国家控股的燃机发展“责任主体” ,统筹燃气轮机基础研究、研发、设计、制造、总装调试、示范运行等工作。在现有的国内外合作机制的基础上 ,成立推进燃气轮机发展领导机构 ,统筹全国各方面相关资源 ,为燃气轮机专项的建设实施提供组织保障。推动开放式自主创新 ,加强国际合作。

作 者

2016 年 3 月

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	燃气轮机研究背景和工作回顾	3
1.1.1	研究背景	3
1.1.2	工作回顾	3
1.2	燃气轮机发展风险和机遇	4
1.2.1	发展风险	4
1.2.2	发展机遇	5
1.3	燃气轮机学科背景和特点	6
1.3.1	学科背景	6
1.3.2	工作原理和特点	6
1.4	国内燃气轮机发展思路、目标、任务和方案	7
1.4.1	发展思路	8
1.4.2	发展目标	8
1.4.3	主要任务	8
1.4.4	实施方案	8
第 2 章	国外先进燃气轮机发展历程、现状及趋势	9
2.1	国外先进燃气轮机发展历程	11
2.2	国外先进燃气轮机现状及特点	12
2.2.1	重型燃气轮机	12
2.2.2	中小型燃气轮机	13
2.2.3	微型燃气轮机	14
2.2.4	舰船燃气轮机	15
2.3	国外先进燃气轮机的发展趋势	15
2.3.1	重型燃气轮机	16
2.3.2	中小型燃气轮机	16
2.3.3	微型燃气轮机	17
2.3.4	舰船燃气轮机	17

2.4	小结	18
第3章	国内燃气轮机发展历程、产业状况和趋势	19
3.1	国内燃气轮机发展历程	21
3.1.1	早期自主研发制造	21
3.1.2	停滞不前	22
3.1.3	引进制造技术和国产化	22
3.1.4	自主研发	23
3.2	国内燃气轮机产业状况	23
3.2.1	燃气轮机产业分布	23
3.2.2	国内燃气轮机使用基本情况	25
3.2.3	重型燃气轮机使用状况及分析	26
3.2.4	中小型燃气轮机使用状况及分析	30
3.2.5	舰船燃气轮机使用状况及分析	34
3.2.6	分布式供能燃气轮机使用状况及分析	34
3.2.7	国内燃气轮机企业发展情况	38
3.2.8	上海燃气轮机产业状况	39
3.3	国内外燃气轮机比较	41
3.3.1	技术水平	41
3.3.2	知识产权	41
3.4	国内燃气轮机发展趋势	42
3.5	小结	44
第4章	重型燃气轮机性能分析	45
4.1	重型燃气轮机总体性能	47
4.1.1	GE 燃气轮机性能	47
4.1.2	西门子燃气轮机性能	48
4.1.3	三菱燃气轮机性能	50
4.1.4	燃气轮机特点比较	51
4.1.5	重型燃气轮机国产化	52
4.2	压气机技术和特点	53
4.2.1	GE 压气机技术和特点	53
4.2.2	西门子压气机技术和特点	54
4.2.3	三菱压气机技术和特点	54
4.2.4	重型燃气轮机压气机发展趋势	55
4.2.5	国内压气机使用情况	55
4.3	透平技术和特点	56
4.3.1	GE 透平技术和特点	56

4.3.2	西门子透平技术和特点	56
4.3.3	三菱透平技术和特点	57
4.3.4	透平性能分析	57
4.3.5	透平国内情况	58
4.4	燃烧室技术和特点	58
4.4.1	GE F 级燃烧技术	58
4.4.2	西门子燃烧技术	59
4.4.3	三菱多喷嘴分级燃烧技术	59
4.4.4	国内燃烧室情况	60
4.5	控制系统技术和特点	60
4.5.1	GE MARK VI 控制系统	60
4.5.2	西门子 T3000 控制系统	60
4.5.3	三菱 DIASYS NETMATION 控制系统	61
4.5.4	燃气轮机控制系统发展趋势	61
4.6	小结	62
第 5 章	燃气轮机燃料状况及分析	63
5.1	全国燃气现状及发展规划	65
5.1.1	天然气的现状与发展	66
5.1.2	煤制气的现状与发展	68
5.1.3	液化石油气的现状与发展	69
5.2	长三角地区燃气现状及发展方向	70
5.2.1	江苏燃气现状与发展	70
5.2.2	浙江燃气现状与发展	72
5.2.3	安徽燃气现状与发展	73
5.2.4	上海燃气现状与发展	73
5.3	燃料新技术及分析	76
5.3.1	页岩气技术及分析	76
5.3.2	可燃冰技术及分析	77
5.3.3	液化天然气(LNG)技术及分析	78
5.4	小结	79
第 6 章	燃气轮机知识产权分析	81
6.1	燃气轮机相关专利分析	83
6.1.1	专利受理区域分析	83
6.1.2	专利技术分布	84
6.1.3	国内燃气轮机专利情况	85
6.2	知识产权的保护措施	89

6.2.1	建立制度体系	89
6.2.2	提高保护能力	90
6.2.3	加强中介服务	91
6.3	小结	91
第7章	燃气轮机发展建议	93
7.1	燃气轮机发展目标	95
7.2	燃气轮机发展技术路线	96
7.2.1	研究内容	96
7.2.2	技术路线	97
7.3	国内燃气轮机发展建议	99
7.3.1	体制机制	99
7.3.2	发展对策	99
7.3.3	发展路线	100
7.3.4	人才培养	101
附录		103
附录1	上海漕泾热电有限责任公司燃气轮机发展状况	105
附录2	南京汽轮电机(集团)有限责任公司燃气轮机发展状况	107
附录3	无锡透平叶片有限公司燃气轮机发展状况	110
附录4	江苏永瀚特种合金技术有限公司燃气轮机发展状况	112
附录5	中国船舶重工集团公司第七〇三研究所无锡分部(简称七〇三所无锡分部) 燃气轮机发展状况	115