



# 学科发展战略研究报告

(2006年~2010年)

# 工程热物理与能源利用

国家自然科学基金委员会  
工程与材料科学部



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

学科发展战略研究报告

# 工程热物理与能源利用

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是《学科发展战略研究报告》之一。这一系列研究报告是国家自然科学基金委员会工程与材料科学部为了不断促进本领域的基础研究工作,瞄准国际学科发展前沿,面向未来国家经济建设和社会发展的重大需求,着力解决我国工程与材料领域中的重要科学和技术基础问题,增强国家原始创新能力,而精心组织出版的系列学科发展战略研究报告。

本书的撰写是站在国家利益和学科总体的高度,综合考虑国际学术发展动向和中国实际,论述了工程热物理与能源利用学科的内涵、战略地位以及各分支领域的界定,详细分析了各分支领域,包括:工程热力学、内流流体力学、传热传质学、燃烧学、多相流、可再生能源等的国内外研究现状、发展趋势及科学问题,进一步明确我国工程热物理与能源利用研究中的近、中期发展方向和目标,拟定出“十一五”的优先发展方向、资助领域和发展思路。

本书可为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部工程热物理与能源利用学科遴选“十一五”优先领域提供依据,同时可供从事工程热物理与能源利用学科研究的科研人员、管理人员阅读和参考,也可作为高等院校教师、研究生参考资料使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程热物理与能源利用/国家自然科学基金委员会工程与材料科学部.  
—北京:科学出版社,2006

(学科发展战略研究报告)

ISBN 7-03-018042-9

I. 工… II. 国… III. ①工程热物理学-发展战略-研究报告-中国②能源-综合利用-发展战略-研究报告-中国 IV. ①TK121②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 108470 号

责任编辑:余 丁 田士勇/责任校对:赵桂芬

责任印制:安春生/封面设计:王 浩

**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>

**中国科学院印刷厂 印刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006 年 10 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006 年 10 月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—2 000 字数:326 000

**定价:50.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

# 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部 学科发展战略研究报告组织委员会

主 任：周孝信

副主任：黎 明 高瑞平

委 员：车成卫 陈克新 苗鸿雁 马 劲 朱旺喜  
雷源忠 王国彪 刘 涛 纪 军 黄斐梨  
茹继平 李大鹏 李万红 张亚南 王之中

编 辑：田士勇

## 工程热物理与能源利用学科发展战略研究报告研究组

(以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 蔡小舒 | 段远源 | 樊建人 | 谷传纲 | 郭烈锦 | 何雅玲 |
| 黄佐华 | 纪 军 | 金红光 | 廖 强 | 刘 静 | 刘 涛 |
| 罗二仓 | 吕剑虹 | 聂超群 | 彭晓峰 | 孙晓峰 | 谈和平 |
| 王如竹 | 席 光 | 徐明厚 | 杨立中 | 张 健 | 周怀春 |

## 工程热物理与能源利用学科发展战略研究报告顾问组

(以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 蔡睿贤 | 岑可法 | 陈国邦 | 陈矛章 | 范维澄 | 高泰荫 |
| 郭开华 | 过增元 | 贺德馨 | 胡寿根 | 黄 震 | 姜培学 |
| 姜胜耀 | 蒋洪德 | 林宗虎 | 刘志刚 | 刘高联 | 刘林华 |
| 刘 伟 | 梁德旺 | 施明恒 | 苏万华 | 卢文强 | 骆仲泱 |
| 马重芳 | 倪维斗 | 秦裕琨 | 陶文铨 | 王补宣 | 王仲奇 |
| 翁史烈 | 吴玉林 | 吴克启 | 吴文权 | 吴承康 | 徐旭常 |
| 徐益谦 | 徐通模 | 徐建中 | 宣益民 | 杨晓西 | 姚 强 |
| 张欣欣 | 章明川 | 郑楚光 | 庄逢辰 | 周 远 |     |

## 工程热物理与能源利用学科发展战略研究报告秘书组

(以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

陈 斌 何雅玲 纪 军 刘 涛 彭晓峰

## 序

未来十五年是我国科技事业发展的重要战略机遇期。胡锦涛同志在全国科学技术大会上指出,我们必须围绕建设创新型国家的奋斗目标,进一步深化科技改革,大力推进科技进步和创新,大力提高自主创新能力,推动我国经济社会发展切实转入科学发展的轨道。

把科技创新作为国家战略,走创新型发展道路,就是要实现经济增长方式从要素驱动型向创新驱动型的根本转变,使得科技创新成为我国经济社会发展的内在动力和全社会的普遍行为,最终依靠制度创新和科技创新实现经济社会持续协调发展。当代科学技术的发展趋势、世界主要发达国家的战略选择以及我国的基本国情,决定了我国不可能选择资源型发展模式或技术依附型的发展模式,必须提高自主创新能力,走建设创新型国家的发展道路。提高自主创新能力,最关键的还是原始创新,而加强基础研究是提高自主创新能力的重要措施之一。“十一五”期间,国家自然科学基金应结合国家发展的战略目标和社会发展与经济进步的重大需求,准确把握国家自然科学基金“支持基础研究,坚持自由探索,发挥导向作用”的战略定位,完善和发展中国特色科学基金制,着力营造有利于源头创新的良好环境,推动学科均衡、协调和可持续发展,培养和造就一批具有国际影响力的杰出科学家和进入国际科学前沿的创新团队,提升基础研究整体水平和国际竞争力,力争在若干主要领域取得突破,为繁荣科学事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

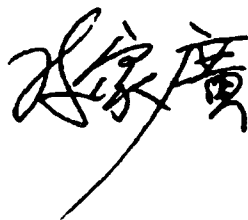
学科是科学基金资助和管理的基本单元。根据国家中长期科学和技术发展规划,遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点,认真分析和研究学科发展的国际前沿、动态和趋势,总结国内研究状况和未来的发展需求,把握本学科发展在我国科技、经济、社会发展中的地位 and 作用;从学科发展全局出发,制定学科发展战略规划,明确目标,遴选优先领域和重点研究方向,并对应采取的重大步骤和措施提出建议,是一件十分有意义的工作。制定学科发展战略规划,不仅可以明确科学基金的定位和发挥科学基金的导向作用,而且对实现科学基金资源的优化配置,提高科学基金的资助效益具有十分重要的作用。

学科发展战略研究首先必须体现前瞻性、前沿性和战略性。学科发展战略报告的撰写应把握科学基金的职责和定位,结合国家科技发展战略目标和遵循科学发展规律,瞄准国际前沿。任何一门学科都有其自身的发展规律和特点。因此,在制定学科发展战略的过程中要处理好全局与局部的关系,既要注意发展战略涵

盖的范围,又要做到重点突出,坚持有所为、有所不为,同时也应考虑学科的发展状况以及与世界先进水平之间的差距,遴选适合我国国情的学科发展优先领域和重点研究方向。其次,学科发展战略研究还应体现科学基金的基础性。加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径,是跻身世界科技强国的必要条件。材料科学和工程科学是从工程实践和应用的基础上发展起来的技术基础学科,既有系统的理论体系和自身的客观规律,又有很强的交叉性、集成性和应用性。因此,工程科学与材料科学的学科发展战略研究,不仅要体现科学基金的基础性,还应结合社会进步与经济发展的重大需求,体现国家发展的战略目标。另外,学科发展战略研究还要体现科学基金的导向作用。科学基金的导向作用不仅仅体现在基础研究的资助方向上,而且还应体现在营造良好的源头创新氛围、提倡严谨求实的学风和增强自主创新的信念上。在基础研究工作中,要耐得住寂寞,要敢于做难事,敢于做前人没有做过的事,敢于做外国人没有做过的事,切实提高我国的源头创新和自主创新能力。

工程与材料科学部各学科处组织相关领域的专家在研讨的基础上制定了本学科发展战略规划,为“十一五”期间学科的科学基金资助工作打下良好的基础。在学科发展战略规划的制定过程中,专家们站在国家利益和学科发展的高度,认真调研、客观分析、积极建议,体现出了高度的责任感和使命感。科学出版社对工程与材料科学部的学科发展战略研究报告的出版给予了积极支持,并对其撰写和定稿提出了宝贵意见。在此表示衷心感谢。

国家自然科学基金委员会副主任  
中国工程院院士



2006年1月17日

## 前 言

能源是可以直接或经过加工转换,提供人类所需光、热、电、声、机械功等任一形式能量的载能体资源。能源科学内涵丰富,研究对象广泛,既有针对基本现象和过程特性的认识,也有基础理论探索和技术创新的研究,是一门综合性强、涉及面广、与国民经济密切相关的学科。能源科学与技术的发展是密切相关和相互促进的。社会的需求呼唤能源科学,能源科学理论的研究与应用不断推动能源技术的突破,促进社会经济发展和生产力水平提高。工程热物理与能源利用学科是研究能量以热和功为主以及其他更多能量形式在转化、传递中的基本规律及利用技术的基础科学,主要包括工程热力学、内流流体力学、传热传质学、燃烧学、多相流、热物理量测试技术基础、可再生能源利用中的热物理问题,以及与工程热物理与能源利用学科领域交叉的相关问题。

我国社会经济正处在一个飞速发展的时期,能源需求量在未来几十年仍将快速增长,能源资源紧缺以及缺乏高效洁净转换利用已成为制约我国经济发展的长期瓶颈问题。需要在能源科学基础研究上正确把握关键科学发展方向,建立一支结构合理、精干和稳定的基础性研究的科研队伍,扶持与建设一批具有较高创新能力的高水平能源科学研究基地,促使我国能源科学基础研究有更多的学科分支和领域接近或达到国际先进水平。原创性的基础性研究是国际竞争的焦点,如何在国际学术前沿和制高点上找到本学科的位置,明确战略发展的主攻方向,是我们面临的重要课题。

国家自然科学基金委员会自成立后曾多次组织过发展战略研究。工程热物理与能源利用学科在 20 世纪 80 年代后期和 90 年代初期,组织撰写出版过《自然科学发展战略调研报告——工程热物理与能源利用》,该战略研究报告为国家自然科学基金委员会在本学科的优先资助领域遴选以及过去十余年的基金支持发挥了重要作用,更为青年科研工作者提供了申请基金的参考。为了充分体现和落实新时期自然科学基金“支持基础研究,鼓励自由探索,发挥导向作用”的宗旨,工程热物理与能源利用学科一直致力于支持和促进本学科各分支领域的基础探索,强调研究工作瞄准国际学术前沿,面向国家经济建设和社会发展的未来重大需求,着力于解决我国能源转换和利用领域中的重要科学问题,增强技术创新和国际竞争能力。围绕这些目标,尤其考虑遴选“十一五”优先领域和重点支持方向,自 2004 年下半年学科分别组织召开了“工程热力学与内流流体力学研讨会”、“燃烧学科发展学术研讨会”、“传热与多相流基础研究研讨会”、“可再生能源研讨会”,依靠专家学者分析研究各分支领域当前国内外研究现状和发展趋势,探讨学科基础研究战略,明确我国工程热物理和能源利用学科的自然科学基金重点支持方向和领域,并形成对未来基础研究发展具有指导性参考意义的文献。国

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部于 2004 年底正式成立了由 21 名专家组成的工程热物理与能源利用学科战略研究组,以便对学科的近、中期发展战略进行深层研究和完成战略报告的撰写。

2005 年 4 月在郑州召开了撰稿人会议,与会者按照国家自然科学基金委员会关于撰写学科战略研究报告的精神,对各个领域的学科发展战略研讨进行总结,对研究报告初稿进行了认真审议。这些报告是在上述召开的共有 200 多位专家、学者参加的分领域战略研讨会基础上写成,并向国内许多同行专家征求了修改意见。同时针对出版要求,对撰写的格式、内容做了总体的规定。为了进一步提炼战略研究报告内容,2005 年 5 月在西安召开了工程热物理领域战略报告撰写专家征求意见会议,邀请国内本领域有影响的专家学者和撰稿人出席,各位专家认真审阅战略报告初稿,就基本内容、所分析的国内外研究现状和发展趋势等进行了深入的讨论,提出了许多有价值的建议。大家认为该报告充分体现了科学民主和科学发展观,反映了国内外发展的总体趋势,紧密结合新时期我国国情提出了相应的发展战略与思路,同时针对报告提出了进一步修改、充实和完善的具體意見。经过撰稿人的进一步修改和统稿,于 2005 年 12 月在东莞召开了初步定稿会议,会上对各分支学科的写作格式进行了统一规定,充实了报告的内容。2006 年 3 月在北京召开了报告定稿会,完成了报告的送审稿。

为了使报告富有更高的学术水平和更强的权威性,我们将送审稿发给本领域的资深专家进行了认真的评审。大家一致认为:由于工程热物理与能源领域的不断发展,本学科之间及本学科与外学科之间的相互交叉和渗透,根据各分支学科的特点和侧重点不同而分成六个领域撰写是合适的;报告汇集了我国工程热物理与能源利用学科许多专家的智慧,有相当高的学术水平;报告对本学科“十一五”期间以及今后的发展特点和趋势的分析和学术观点是正确的;报告以翔实的数据,分析了国内外学科发展趋势和存在的差距与问题,这对学科的发展将起到重要的促进作用。在肯定成绩的同时,专家们还提出了许多宝贵的意见,撰写组根据意见又进行了修改,形成了本研究报告最终稿。

本研究报告的完成,是本学科众多专家和学者们共同努力的成果和智慧的结晶,可作为工程热物理与能源利用学科的教学科研人员、研究生以及科技界有关领导、企业界工程技术人员、科研管理工作等有关人士的参考资料。本报告的出版对国家自然科学基金委员会和我国工程热物理与能源利用领域未来的研究具有重要的参考价值和战略指导作用。

国家自然科学基金委员会工程三处负责组织了工程热物理与能源利用学科的发展战略研讨和本研究报告的撰写审议工作,在此向所有参与本书研讨、撰写、评审的专家,以及所有给予无私支持、帮助的有关人员表示衷心感谢。

刘涛 纪军

2006 年 3 月

# 目 录

## 序

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>第一章 总论</b> .....            | 1  |
| 1.1 概述 .....                   | 1  |
| 1.2 战略地位 .....                 | 2  |
| 1.2.1 社会经济持续发展的迫切需求 .....      | 3  |
| 1.2.2 生产技术水平提升的必然趋势 .....      | 4  |
| 1.2.3 资源和生态安全的双重压力 .....       | 5  |
| 1.2.4 高新科学技术的推动促进 .....        | 6  |
| 1.2.5 国家创新体系建设和基础研究发展的需求 ..... | 6  |
| 1.3 学科体系 .....                 | 8  |
| 1.3.1 学科分支 .....               | 8  |
| 1.3.2 内涵与作用 .....              | 8  |
| 1.4 基金资助现状.....                | 10 |
| 1.4.1 面上项目.....                | 11 |
| 1.4.2 重点项目和重大项目 .....          | 12 |
| <b>第二章 工程热力学</b> .....         | 17 |
| 2.1 工程热力学与能源利用学科的背景与应用前景.....  | 17 |
| 2.1.1 非平衡态热力学及计算统计热力学 .....    | 17 |
| 2.1.2 热物性 .....                | 18 |
| 2.1.3 热力循环与总能系统 .....          | 18 |
| 2.1.4 制冷与低温工程学 .....           | 20 |
| 2.1.5 学科交叉.....                | 21 |
| 2.2 国内外研究现状与发展趋势.....          | 21 |
| 2.2.1 非平衡态热力学及计算统计热力学 .....    | 21 |
| 2.2.2 热物性 .....                | 23 |
| 2.2.3 热力循环与总能系统 .....          | 24 |
| 2.2.4 制冷与低温工程学 .....           | 26 |
| 2.2.5 交叉学科.....                | 28 |
| 2.2.6 工程热力学的发展与比较分析 .....      | 30 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 2.3 研究内容与科学问题                  | 31  |
| 2.3.1 非平衡热力学及计算统计热力学           | 31  |
| 2.3.2 热物性                      | 37  |
| 2.3.3 热力循环及总能系统                | 38  |
| 2.3.4 制冷与低温工程学                 | 42  |
| 2.3.5 学科交叉                     | 43  |
| 2.4 优先发展方向                     | 46  |
| 2.4.1 非平衡态热力学及计算统计热力学战略发展方向和目标 | 47  |
| 2.4.2 热物性战略发展方向和目标             | 48  |
| 2.4.3 热力循环和总能系统战略发展方向与目标       | 50  |
| 2.4.4 制冷与低温工程学战略发展方向和目标        | 53  |
| 2.4.5 交叉学科发展方向与目标              | 55  |
| 参考文献                           | 55  |
| <b>第三章 内流流体力学</b>              | 57  |
| 3.1 学科体系、研究范围和任务               | 57  |
| 3.2 战略地位和国内外发展现状和趋势            | 57  |
| 3.2.1 燃气轮机的发展趋势及相关的内流力学问题      | 57  |
| 3.2.2 航空推进系统的发展趋势及所涉及的内流力学问题   | 61  |
| 3.2.3 流体机械研究的发展趋势及相关的内流力学问题    | 66  |
| 3.3 发展战略目标、重点研究领域              | 84  |
| 3.3.1 内流流体力学中的黏性流动             | 84  |
| 3.3.2 内流流体力学中的计算流体力学           | 85  |
| 3.3.3 叶轮机中的非定常流动               | 88  |
| 3.3.4 先进叶轮机内部流动动态测试技术与分析方法     | 90  |
| 3.3.5 其他应重视的内流力学问题             | 90  |
| 3.3.6 论文发表情况分析                 | 91  |
| 3.4 重点支持的研究方向                  | 92  |
| 参考文献                           | 93  |
| <b>第四章 传热传质学</b>               | 95  |
| 4.1 学科内涵、学术意义与应用背景             | 95  |
| 4.1.1 概述                       | 95  |
| 4.1.2 学科内涵                     | 96  |
| 4.1.3 学术意义与应用背景                | 97  |
| 4.2 国内外研究现状与发展趋势               | 100 |
| 4.2.1 概述                       | 100 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4.2.2 导热 .....                     | 101 |
| 4.2.3 对流传热 .....                   | 103 |
| 4.2.4 辐射传热 .....                   | 106 |
| 4.2.5 交叉研究 .....                   | 110 |
| 4.2.6 研究方法和技术手段 .....              | 115 |
| 4.2.7 差距分析 .....                   | 116 |
| 4.3 研究内容与科学问题 .....                | 117 |
| 4.3.1 趋势和特点 .....                  | 117 |
| 4.3.2 发展思路 .....                   | 118 |
| 4.3.3 研究内容 .....                   | 118 |
| 4.3.4 科学问题 .....                   | 120 |
| 4.4 近期优先资助的方向 .....                | 120 |
| 4.4.1 导热 .....                     | 121 |
| 4.4.2 对流传热 .....                   | 122 |
| 4.4.3 辐射传热 .....                   | 123 |
| 4.4.4 交叉研究 .....                   | 124 |
| 参考文献 .....                         | 127 |
| <b>第五章 燃烧学</b> .....               | 128 |
| 5.1 学科内涵、学术意义及应用背景 .....           | 128 |
| 5.1.1 基础燃烧理论 .....                 | 128 |
| 5.1.2 气液燃料燃烧 .....                 | 129 |
| 5.1.3 固体燃料燃烧 .....                 | 130 |
| 5.1.4 火灾燃烧 .....                   | 131 |
| 5.1.5 燃烧诊断 .....                   | 133 |
| 5.2 国内外研究现状与发展趋势 .....             | 134 |
| 5.2.1 基础燃烧理论 .....                 | 134 |
| 5.2.2 气液燃料燃烧 .....                 | 139 |
| 5.2.3 固体燃料燃烧 .....                 | 145 |
| 5.2.4 火灾燃烧 .....                   | 149 |
| 5.2.5 燃烧诊断 .....                   | 151 |
| 5.2.6 燃烧诊断的国内发展情况 .....            | 156 |
| 5.2.7 中国内地在燃烧学领域主要国际期刊发表论文分析 ..... | 158 |
| 5.3 研究内容、科学问题及优先资助领域 .....         | 162 |
| 5.3.1 基础燃烧理论 .....                 | 162 |
| 5.3.2 气液燃料燃烧 .....                 | 164 |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 5.3.3 固体燃料燃烧 .....                            | 165 |
| 5.3.4 火灾燃烧 .....                              | 169 |
| 5.3.5 燃烧诊断 .....                              | 170 |
| 参考文献 .....                                    | 171 |
| <b>第六章 多相流</b> .....                          | 172 |
| 6.1 多相流的内涵、学术意义与工业应用背景概述 .....                | 172 |
| 6.2 多相流科学的国内外现状与发展趋势分析 .....                  | 173 |
| 6.2.1 气(汽)液两相及多相流基础研究及其发展趋势 .....             | 173 |
| 6.2.2 离散型气固两相流动研究的发展趋势 .....                  | 180 |
| 6.2.3 多相流与传递参数测试方法研究发展趋势 .....                | 185 |
| 6.2.4 多相流学科总体发展趋势及国内外发展水平比较 .....             | 193 |
| 6.2.5 论文发表情况分析 .....                          | 194 |
| 6.3 多相流的主要研究内容与重要科学基础问题 .....                 | 196 |
| 6.3.1 多相流基本现象与规律 .....                        | 197 |
| 6.3.2 数值模拟理论与方法 .....                         | 198 |
| 6.3.3 多相流的实验与测量新技术及方法 .....                   | 199 |
| 6.3.4 多相流与其他科学的相互渗透及交叉 .....                  | 200 |
| 6.4 重点支持研究方向 .....                            | 200 |
| 6.4.1 多相流非线性动力学与热质传递的基本现象、共性规律及其应用研究<br>..... | 200 |
| 6.4.2 能源高效和可再生转化的微多相流光化学与热化学反应理论 .....        | 201 |
| 6.4.3 离散气固两相流理论和实验研究 .....                    | 202 |
| 6.4.4 多相流及传递问题的实验与测试技术 .....                  | 203 |
| 参考文献 .....                                    | 203 |
| <b>第七章 可再生能源</b> .....                        | 205 |
| 7.1 学科内涵 .....                                | 205 |
| 7.1.1 太阳能 .....                               | 205 |
| 7.1.2 生物质能 .....                              | 206 |
| 7.1.3 风能 .....                                | 207 |
| 7.1.4 地热能 .....                               | 209 |
| 7.1.5 海洋能 .....                               | 209 |
| 7.2 可再生能源科学的国内外研究进展和发展趋势 .....                | 210 |
| 7.2.1 太阳能利用国内外研究进展和发展趋势 .....                 | 210 |
| 7.2.2 生物质能利用国内外研究进展和发展趋势 .....                | 217 |
| 7.2.3 风能利用国内外研究进展和发展趋势 .....                  | 225 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 7.2.4 地热能利用国内外研究进展和发展趋势 .....      | 228        |
| 7.2.5 海洋能利用国内外研究进展和发展趋势 .....      | 230        |
| 7.2.6 论文发表情况分析 .....               | 231        |
| 7.3 研究内容与科学问题 .....                | 233        |
| 7.3.1 太阳能 .....                    | 233        |
| 7.3.2 生物质能 .....                   | 235        |
| 7.3.3 风能 .....                     | 236        |
| 7.3.4 地热能 .....                    | 237        |
| 7.3.5 海洋能 .....                    | 237        |
| 7.4 交叉领域和建议资助方向 .....              | 237        |
| 7.4.1 太阳能 .....                    | 237        |
| 7.4.2 生物质能 .....                   | 238        |
| 7.4.3 风能 .....                     | 239        |
| 7.4.4 地热能 .....                    | 239        |
| 7.4.5 海洋能 .....                    | 240        |
| 参考文献 .....                         | 240        |
| <b>第八章 发展战略及基金资助建议 .....</b>       | <b>242</b> |
| 8.1 战略任务 .....                     | 242        |
| 8.1.1 发展动因 .....                   | 242        |
| 8.1.2 迫切任务 .....                   | 242        |
| 8.1.3 基金支持原则 .....                 | 243        |
| 8.2 发展思路 .....                     | 243        |
| 8.3 优先方向与关键问题 .....                | 244        |
| 8.3.1 传统学科内涵的深化和拓展 .....           | 244        |
| 8.3.2 微能源系统的转化与传递现象和机理 .....       | 245        |
| 8.3.3 新兴复合过程能质转化和传递规律 .....        | 245        |
| 8.3.4 生态生命中能量转化传递现象与规律 .....       | 245        |
| 8.3.5 工艺和运行保障中的能源转化传递效应 .....      | 246        |
| 8.3.6 研究基础和实验技术 .....              | 246        |
| <b>附录 1 工程热物理与能源利用学科 .....</b>     | <b>247</b> |
| <b>附录 2 工程热物理与能源利用学科一些重要 .....</b> | <b>259</b> |

# 第一章 总 论

## 1.1 概 述

工程热物理与能源利用是一门研究能量和物质在转化、传递和利用过程中的基本规律及其技术理论的应用基础学科，经典研究主要针对热和功的能源形式，现今学科范畴扩展到几乎涵盖各种能量形式、能质相互转化和有效利用的方方面面。本学科的任务是在自然科学和热物理基本规律的基础上，综合相关学科（包括数学、物理、化学、生物、信息、认知、社会科学等）的新理论、新方法，认识和揭示能量物质转化、传递的基本现象和规律，全面深入地分析能量与物质转化、传递的物理过程特性，建立物理数学模型，探究基本规律及其应用的科学途径，为有关高新技术发展及工程问题解决提供理论依据、设计方法和技术手段，借鉴、移植和应用各科学技术领域的先进思想、方法和技术，不断创新能量物质转化、传递和高效利用的应用技术。

工程热物理与能源利用学科内涵丰富，外延广阔，包括工程热力学、内流流体力学、传热传质学、燃烧学、多相流、可再生能源利用，以及与工程热物理与能源利用领域相关的基础与技术创新研究，近年来更是拓展衍生出众多前沿热点领域与方向，诸如微纳米热物理、生物与生命热物理、生态与环境安全热物理，微细能源系统和原理等，也涉及自然能质相互作用与转化的基本内涵和规律。

目前本学科的发展趋势可以概括为：基础问题探索的不断深化、开拓，形成了本学科高深层次的研究内容，如宏观向微观甚至介观的过渡、常规参数向超常或极端参数的发展，以及随机、非定常、多维、多相、多过程与多因素耦合等情况下的复杂热物理问题；从学科单一分支的研究向多分支的渗透融合发展，学科交叉、综合已成为趋势，本学科的各分支学科之间，本学科与建筑工程学、材料科学等之间，本学科与数学、物理学、化学、医学、生物学、心理学、计算机科学以及信息科学、社会科学、环境与生态安全科学之间，尤其与现代高新科技发展等，已全方位、大跨度地形成交叉融合，学科的界限越来越淡化和模糊；研究的定量化和精确化，研究手段的先进性。

## 1.2 战略地位

能源是国民经济发展的动力和命脉,能源开发与有效利用是整个社会发展的源泉和基础,标志着人类的文明和进步,决定了一个国家的科学技术水准、竞争实力和综合国力。今天更成为关系到国家和社会安全的重大问题,引起世界各国政府高度重视,并作为最优先的国家战略考虑。能量的转换、传递、能源与物质相互作用和转化,是自然界最普遍的物理现象和物质运动形式之一,几乎和所有的生产工艺过程、技术领域和人类社会生活密切相关,这些现象和过程中的基本规律及其应用技术理论,是能源合理有效利用的科学基础和理论依据。工程热物理与能源学科的原理和技术,相应地具有普遍性和广泛性,在人类文明和社会进步中占有极为重要的地位。回顾历史,几乎每一次能源动力或能源利用方面的突破,都带来生产力的飞跃、社会的发展、观念的变革。火的使用是人类发展史上的一个里程碑;蒸汽机的问世开创了人类文明新纪元;内燃机、蒸汽轮机和燃气轮机的出现和迅速应用,为机械化、电气化的现代社会准备了物质与技术条件;飞机和火箭发动机的发展,为航空与宇航的到来奠定了基础;核能的开发利用,拓展了人类利用能源的广阔视野;以高效和生态良性循环的更新能源转化和利用概念已然呈现曙光,可望在不久的将来改变人类能源的思维。显然,工程热物理与能源利用学科的基础原理和技术应用会产生巨大的经济和社会效益。

本学科的建立源于蒸汽动力装置的发明和广泛应用,随后受到工业革命的极大推动,从最基础的热力学、热机学建立开始,逐步发展、完善成为独立的技术基础学科。早期主要依托工业化的动力机械与能源转换利用逐步发展,中期和现代则应战争、材料、现代工业与工艺、现代军事、航空航天、信息、能源科技、光机电技术等迫切需要,迅速成为具有主导性的技术基础科学,现今更是在诸如光电子与激光技术、微机电系统、新型材料、生态环境、生物与医学工程、微纳米科技、微能源系统等高新科学技术和广泛实际应用领域中,显现出勃勃生机,在不断取得基本自然现象和规律新认识、发展学科原创性研究的同时,架设起技术和应用的前端关键性桥梁,极大促进学科蓬勃发展。这一学科的成长历程,真实记载了在社会走向现代文明、经济繁荣昌盛的历程中,发挥展示出无可替代的独有作用和潜力,牢固地确立其学科的地位,还将延续辉煌、创造出充满梦幻的奇迹。

新中国成立的半个多世纪以来,本学科也随着社会主义建设和中华民族的崛起,经历独有发展轨迹。在国家经济建设初期,本学科致力构架我国热工、动力的初步学科雏形,创立自己高水平的学科框架,适应建设国家工业体系要求。随

后基本沿着国家工业化热工动力体系形成、提高热工动力设备性能与效率、实现能源的有效利用与转化这一轨迹,进行建设和发展。20 世纪 80 年代末后,面临生态环境和 21 世纪社会经济可持续发展的巨大挑战,调整战略,把发展规划与具体措施构筑在“能源与环境”的大主题上,实现了学科建设的大转折,正迈向生态安全与良性循环的能源之路。这也正表明,工程热物理与能源利用学科无时不展现出在国家建设和国民经济中的突出战略地位。

### 1.2.1 社会经济持续发展的迫切需求

能源的耗费数量和使用情况,标志着人类社会经济发展规模、人民生活水准和科学技术发达程度。20 世纪以来,世界能源消费有很大增长,21 世纪的头五年更是惊人,预计需求必然持续上升。显而易见,现今能源与人类的关系已是密不可分,或者说没有能源就没有现代人类社会的生存与发展。

当前中国的迅速发展与能源尤为紧密。2001 到 2004 年中国内地能源消费年均增速高达 9.89%,2003 年和 2004 年分别达到 13%和 15.2%。2004 年中国内地能源消费 19.7 亿吨标准煤,一次能源生产总量 18.46 亿吨标准煤,增长 15.2%,其中煤炭 18.7 亿吨,增长 14.4%;原油 2.9 亿吨,增长 16.8%;天然气 415 亿立方米,增长 18.5%;能源强度上升 5.3%。发电量 21 870 亿千瓦时,增长 14.5%,电力新增装机 50.5GW,今年可能超过 70GW,创世界纪录。

中国内地经济经过持续高速增长 24 年,其经济总量已跃居世界第六位,但中国内地的经济发展水平还很低,2004 年人均 GDP 为 1250 美元,不到世界平均水平的 30%,高收入国家的 5%,即使按购买力平价(PPP)计算,仅接近世界人均水平的平均水平、经济合作与发展组织国家平均水平的 1/5。城市化率不到 50%,农业人口仍占全国人口的大多数。东部与西部、城市与农村经济发展极不平衡,西部地区的人均 GDP 不到东部地区的 1/3,农村尚有 3000 万人口的年均收入低于 80 美元。从生活消费代表性用品来看,每百人汽车拥有量不到世界平均水平的 1/5,经济合作与发展组织国家的 4%;人均住房面积为世界平均水平的 40%,发达国家的 25%;电力装机容量已达 4.3 亿千瓦,但人均装机容量不到世界平均水平的 60%,经济合作与发展组织国家的 1/5;城市和农村的人均生活用电不到 200kWh,尚有数千万人口没有用上电。目前,中国内地的能源消费总量已接近 20 亿吨标准煤,成为继美国之后的第二大能源消费大国。但中国内地的能源消费水平还很低。目前的人均能源消费量只有世界平均水平的 2/3,不到经济合作与发展组织国家平均水平的 1/4,广大的农村地区还在使用传统的生物质能源,消费总量超过 2.5 亿吨标准煤。

党的十六大提出 2020 年全面建设小康社会的目标,要求 GDP 年均增长