工程热物理学科与能源可持续发展

金红光^{1,2*}, 宣益民³, 何雅玲⁴, 郭烈锦⁴, 赵天寿⁵

1. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190;
2. 中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049;
3. 南京航空航天大学能源与动力学院, 南京 210016;
4. 西安交通大学能源与动力工程学院, 西安 710049;
5. 香港科技大学能源研究院, 香港

* E-mail: hgjin@iet.cn

收稿日期: 2020-03-19; 接受日期: 2020-04-20; 网络版发表日期: 2020-07-08

摘要 工业化以来支撑人类社会发展的化石能源面临枯竭, 解决能源利用与环境相容协调的难题, 加速发展可持续能源, 尽快实现从化石能源向可持续能源过渡是解决人类发展面临的共同挑战的必由之路. 能源技术革命给工程热物理学科的发展带来了新的机遇与挑战. 中国工程热物理学会根据能源、动力与环境问题的迫切需求和学科发展的新进展, 面向构建可持续能源体系, 开展我国能源发展模式 and 工程热物理学科前沿增长点的战略研究. 能源、资源与环境有机结合的一体化发展新模式是实现可持续能源战略的有效保障, 其关键在于开拓新能源和能源多元化, 重点解决能源利用与环境相容协调的难题, 包括发展绿色能源、洁净利用化石能源, 以及实现能源、资源与环境一体化. 凝练的工程热物理学科未来发展的重要研究方向包括: 环保工质热物性、新能源的现代分析方法; 极端条件下的燃烧, 高效、洁净、低碳燃料转换理论与方法; 太阳能光热高效转换与利用; 地域化、智能化和多样化的风能利用; 生物质高效低成本利用新方法及其机理; 燃料化学能与物理能的综合梯级利用; 多能源互补的分布式能源系统及其优化集成理论; 基于能量综合梯级利用的二氧化碳捕集能耗最小化原理; 基于等熵原理的新型高效储能方法等.

关键词 工程热物理, 可持续能源体系, 发展模式, 研究方向

1 引言

从人类发展的历史看, 古代人类主要依赖可再生能源, 使用人工或简单机械以适应农耕社会的需要. 近代以来, 以蒸汽机为代表的第一次工业革命使能源基础发生了第一次转变, 形成了以煤为主的化石能源

体系, 支撑了工业化大生产所需的大规模能源使用. 世界能源结构在二十世纪初开始发生第二次大转变, 从煤炭转向以石油为主, 以石油为主要燃料的内燃机和柴油机奠定了现代交通的基础, 而燃气轮机推动了航空工业的发展, 化石能源的规模化使用满足了社会化大生产的需要, 也使得许多国家在二十世纪五六十

引用格式: 金红光, 宣益民, 何雅玲, 等. 工程热物理学科与能源可持续发展. 中国科学: 技术科学, 2020, 50: 1245–1251

Jin H G, Xuan Y M, He Y L, et al. Engineering thermophysics and sustainable energy development (in Chinese). Sci Sin Tech, 2020, 50: 1245–1251, doi: [10.1360/SST-2020-0114](https://doi.org/10.1360/SST-2020-0114)

年代实现了经济的高速增长。

二十世纪能源科技发展主要专注于化石能源,并使之成为人类生存与发展的支柱能源。但是在1973年发生的世界石油危机使人们逐渐意识到现有的能源结构系统不可能长期维持下去,全世界已探明石油、天然气、煤炭等化石能源的可采资源总量只够使用一二百年。与此同时,化石能源的开发利用造成的环境污染和对全球气候变化的影响已经刻不容缓需要解决。化石能源在开采、储运、利用过程中可以对空气、水和生态均造成污染,是造成环境污染的首要原因。人类在工业化以来,短短250余年间就排放了大约1.16亿吨(CDIAC数据)的二氧化碳,而这可能是全球大气二氧化碳浓度由280 ppm升高到379 ppm的最主要原因。二氧化碳浓度的升高可能带来更强的温室效应。1860年以来全球地表平均气温升高了 $0.44^{\circ}\text{C}\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[1]。

化石能源的大规模使用严重危害了地球环境,威胁着人类赖以生存的地球空间。这预示着人类将再次进入一个以可再生能源为主的时代,一个建立在当代高新技术基础上满足当代人类社会发展需求的可再生能源时代。按照里夫金《第三次工业革命》的说法,是建立在现代信息技术与分布式能源技术基础上的分布式利用可再生能源的时代^[2]。

能源、动力和环境领域的需求是工程热物理学科发展的驱动力。能源是当今世界经济社会发展最重要的战略保障之一,能源领域的发展方向是构建清洁、低碳、安全、高效的能源供应体系。如果人类社会按现有模式继续发展,继续依赖化石能源的大量使用,就将持续产生巨量的二氧化碳排放,从而加速全球气温上升,造成不可逆转的环境和生态破坏,应对气候变化必须选择低碳能源。因此,世界各国在重视节能增效的同时,也纷纷加大对新能源和可再生能源的研发投入,能源结构和能源利用技术向低碳和近零排放的演化成为大势所趋,这为工程热物理学科的发展带来了新的挑战。

徐建中院士在担任工程热物理学会理事长期间,大力推动工程热物理学科发展战略研究,发起并主持完成多项工程热物理学科年度研究报告,以及中科院学部、自然科学基金委组织的学科发展战略研究,为指导新时代学科发展,更好地服务于能源技术革命提供了宝贵的智库材料。

2 节能与科学用能

能源短缺与环境污染问题严重地威胁着人类的生存和发展,当代能源科学技术的进步既要满足大工业发展的需求,也要解决可再生能源能量密度低、分散、不稳定等问题。因此,分布与集中供能有机结合的新型能源系统是未来能源的发展方向,一些新的能源利用方式将应运而生,将会出现许多伟大的变革,对人类社会产生重大影响。为迎接新的可再生能源时代,世界能源结构需要从以化石燃料为主转向化石燃料、核能、可再生能源等共存的多元化结构,需要依靠能源科学技术的发展推动建立以可再生能源为主的可持续发展能源系统。

实现可持续能源体系是一项长期的工作,应该分阶段、有步骤、持续地进行。根据经济发展的不同阶段制定和实现相应的能源总量目标和节能减排目标。依靠能源科技,辅以配套政策,节能减排技术,提高化石能源转化与利用效率。近期通过产业结构调整,以及推广节能减排技术,淘汰高耗能、高污染的落后生产力,提高能效;从中长期来看,需要依靠能源结构的根本性调整,大幅度降低化石能源消耗,积极发展核能,大力发展太阳能、风能、生物质能等可再生能源,实现可持续能源体系。

节能在逐步构建可持续能源体系的各个阶段均贯穿始终。2005年6月16日由徐建中院士发起,中国工程热物理学会等单位组织承办,在北京举行“科学用能——构建节约型社会”论坛,召集百名院士专家向全社会发布了《科学用能——建立“和谐社会”的重要保障》的联合倡议^[3]。节能可以分为“节约”和“科学用能”两个层面。节约是通过提高人的自觉性和节能管理水平,以达到节能的目的。而科学用能是从能的梯级利用、清洁生产、资源再循环等基本科学原理出发,寻求用能系统的合理配置,深入研究用能过程中物质与能量转化的规律以及它们的应用,达到提高能源利用率和减少污染,最终减少能源消耗的目的。科学用能强调依靠科学技术来节能和提高能源利用率,是实现节能的根本途径。

“科学用能”主要包涵三个层面的含义:一是遵循“分配得当、各得所需、温度对口、梯级利用”的用能原则,提高能源及资源的利用效率;二是实现能源与环境的协调相容,通过能源转换过程与物质转换过程的

紧密结合, 控制废弃物与污染物的形成、迁移与转化, 在能源转换利用过程中实现污染物的分离, 降低污染物的分离过程能耗; 三是发展资源、能源、环境一体化模式, 实现资源循环, 最大限度减少“废物”和“废能”^[4]. 此外, 科学技术的发展使科学用能的内涵不断丰富, 例如先进的信息技术在能源系统中发挥着越来越重要的作用, 已成为科学用能的有机组成部分.

我国能源利用的效率与国际先进水平之间存在较大差距, 节能潜力巨大, 科学用能对大幅度提高我国能源利用率具有重要意义. 不仅如此, 为了达到比传统工业化国家还要低很多的能耗水平, 我们还必须研究科学用能的新思路、新理论、新方法和新技术, 以保证我国长期、可靠、清洁的能源供应.

3 学科发展目标与总体思路

3.1 发展目标

工程热物理是一门研究能量和物质的转化与传递基本规律及其利用技术的应用基础学科, 工程热物理及动力工程是国家一级学科, 是解决我国能源、动力和环境问题的主要基础学科. 它包括工程热力学、热机气动热力学、传热传质学、燃烧学和多相流理论等分支学科. 工程热力学研究能量相互转换, 尤其是热能与其他形式能量之间的转换规律; 热机气动热力学研究约束空间内部流体流动现象及相关力学行为、流体平衡及其运动规律、流体与固体间相互作用规律; 传热传质学研究由于温度差和物质组分浓度差所引起的能量传递和物质迁移过程; 燃烧学研究燃烧的发生、发展和熄灭过程; 多相流理论研究具有两种以上不同相态或不同组分的物质共存并有明确分界面的多相流体系的共性科学问题.

针对能源可持续发展的要求, 确定工程热物理学科的发展目标是: 丰富和拓展学科内涵, 突破能源、动力和环境科学与技术中的若干基础科学问题和关键技术, 满足国家能源、动力和环境发展的战略需求; 建立高水平研究队伍, 增强我国能源科技和能源动力装备等领域的自主创新能力, 构筑面向未来的工程热物理学科体系; 建立基础理论、技术应用到示范应用的创新链条, 加强产学研协同发展, 促进能源、动力科技全要素资源的高效配置和系统集成; 通过节能与科学用能, 使主要工业领域产品单耗指标达到或接近世

界先进水平, 减少国家对能源总量需求的增加; 通过化石能源清洁化技术和可再生能源技术的突破, 促进能源结构优化和减少二氧化碳排放, 赶上并在某些领域超过世界能源科技先进水平, 进入能源科技先进型国家行列.

3.2 总体思路

工程热物理学科总的发展思路如下^[5~7].

(1) 以科学用能为指导, 改变能源利用方式, 深入研究能源的高效、洁净、低碳转化, 实现高碳能源低碳化利用.

发展化石能源高效、洁净利用的科学途径与方法, 加强煤的新型气化和分级转化、分布式能源的综合梯级利用等能源生产与消费新方式的研究; 节能为本, 加强原始创新和关键技术突破, 通过“温度对口, 梯级利用”, 提高能源资源的利用效率, 减轻环境影响. 通过能源与环境相容协调, 能源转换过程与物质转换过程的有机结合, 实现能源清洁转化, 或在能源利用的同时低能耗分离、回收污染物. 转变传统的能源利用模式, 应大力发展煤基化工动力多联产和分布式能源等新一代能源系统, 同时加强新型发动机、热驱动正逆耦合循环、微能源动力系统等应用领域的研究.

(2) 加强创新机制, 突破高效热-功转换技术, 满足国家对先进动力装备的需求.

动力装置是高效低污染利用能源的有效形式. 在当代, 航空发动机和燃气轮机在能源利用乃至整个国民经济和国防建设中有重要意义. 以燃气轮机为例, 要建立工程热力学、气动热力学、传热传质学、燃烧学、多相流、固体与结构力学、材料科学、金属与机械工程学、自动控制理论、计算机控制技术等多个学科的协同机制, 从热力系统热力学及动态学、叶轮机械气动热力学、燃烧学、传热学和交叉学科五个方面的科学前沿突破当代先进燃气轮机技术.

(3) 加强可再生能源利用和智能能源网研究, 维护国家能源安全, 及环境保护的能源相关研究.

开发可再生能源利用新理论与技术, 强化太阳能、风能、生物质能等可再生能源利用领域的基础研究, 对可再生能源利用要加强资助力度; 推动可再生能源与信息技术的结合, 发展智能能源网, 促进能源系统网络化、智能化与低碳化.

(4) 建立学科交叉型创新团队, 研发形成一批突破

性关键共性技术。

探索燃料源头节能新方法, 开发煤炭综合利用技术, 研发二氧化碳分离、液化运输与埋存新技术, 建立适合中国高碳能源特点的温室气体控制体系。在强调绿色能源技术的同时, 加强对节能和化石能源低碳化利用等学科方向的研究。加强能源转换和利用过程中污染物生成、控制、消除的理论与方法研究, 如雾霾与PM2.5的形成与控制、燃料源头控制二氧化碳氮氧化物、硫氧化物等。

4 能源、资源与环境一体化发展模式

4.1 传统的链式发展模式

人类开发利用煤、石油、天然气等化石燃料资源以及水、土地、生物质等自然资源的传统模式, 首先是化石资源能源化, 然后再以热和功的形式加以利用, 最后对所产生的环境污染问题进行治理, 即先污染后治理。这一模式存在资源浪费, 能源利用效率低和环境污染严重等问题。传统能源系统控制污染物的能耗代价居高不下的根本原因正是这种资源、能源利用方式与环境治理之间的“串联”模式造成的。今天人类已清醒认识到过去所走过的以牺牲子孙后代的利益为代价的发展道路难以为继, 必须探索可持续能源发展的新模式。

4.2 一体化发展新模式

在能源、资源与环境一体化原则指导下^[8], 建立稳定、经济、清洁、可靠、安全的能源保障体系, 是实施可持续能源发展战略的重要保障。应确保在环境的承载极限之内发展能源, 能源建设与环境保护同步发展, 实现自然生态系统的良性循环, 和能源与经济的协调发展相协调, 以可持续的能源体系支撑人类社会、经济的可持续发展。

新的发展模式包括以下发展方向: 加速发展绿色能源, 包括开发应用可再生能源与清洁能源, 其中包括水能、核能、风能、太阳能、生物质能等。化石能源的洁净转化与利用, 积极探索清洁高效或零排放的可持续发展洁净能源技术与系统。实现能源、资源与环境一体化, 通过开拓燃料化学能利用或释放新方式, 探索燃料化学能传递和释放过程中有效分离污染物的方法, 同时实现燃料化学能的高效利用与污染物低能

耗分离回收^[9]。同时需要加强国际交流与合作, 保障全球能源供给, 发展可持续能源。

5 学科发展的重要方向^[10]

5.1 工程热力学

基于先进热力循环的新型高效能量转换与利用系统, 重要研究方向包括: 先进热力循环构建; 多模式能量转换的耦合机理研究; 中低温能源的高效转换与利用新方法; 新型热力循环工质的探索与研究; 复杂能量转化与利用系统的设计优化; 热力系统的精细化智能控制研究。

新型环保替代工质热物性, 重要研究方向包括: 新工质的热力学性质和输运性质基础数据的测定; 反映热物性内在规律的数理模型、关联方程和高精度专用状态方程; 混合工质状态方程和混合规则; 热物性数据的评估体系和数据库建立, 基于新的物理、化学原理的热物性测量方法; 高效、环保得循环工质以及新材料热物性研究等。

燃料化学能的综合梯级利用, 重要研究方向包括: 无火焰燃烧、部分氧化、高温空气燃烧、新型化学链反应燃烧等燃料化学能释放新方法、热力循环与非热力循环结合的动力系统、多功能的能源转换利用系统、多能源互补的燃料化学能梯级利用系统等^[11]。

5.2 热机气动热力学

新压缩原理和气动布局, 重要研究方向包括: 低熵增气动压缩流动组织与激波/边界层干涉的对转冲压新型气动增压布局非定常干涉效应与扩稳机制, 对转结构发动机的高速叶轮机械的匹配与气动效应, 以及新型气动布局中的非定常涡升力机理。

多物理场气动热力学与新型流动控制原理, 重要研究方向包括: 新一代高推重比、低耗油率航空发动机的多物理场耦合的解耦与简化、模拟与实验方法, 吸附对风扇/压气机气动载荷管理的物理机制、影响因素与规律, 等离子体激励产生方式与流动控制。

5.3 传热传质学

传热新理论与热传递规律, 重要研究方向包括: 热质的惯性效应、波动效应、耗散效应和转换效应; 材料的宏观、介观及微观结构的特点与热传递现象之间

基本关系、热质理论在设计微纳能源、微纳电子、功能材料等领域的应用研究。

多尺度物理问题, 重要研究方向包括: 提高介观和微观模拟方法计算效率, 发展高效、稳定、通用的耦合技术, 开展多时间尺度的耦合研究, 以从宏观、介观与微观相结合的角度更深刻认识流动、传热传质、燃烧等基本物理过程的基本规律, 拓展多尺度模拟方法的工程实际应用等。

5.4 燃烧学

燃烧机理与动力学, 重要研究方向包括: 关键燃烧基元反应的微观机制、基于反应微观机制的量子化学计算、基元反应速率常数的实验测量、基元反应类型及速率常数规律性、大分子碳氢燃料和生物燃料燃烧反应模型、燃烧污染物形成机理和结焦积碳机理、燃烧新技术中的燃烧反应动力学模型、燃料设计和改性等。

洁净煤燃烧, 重要研究方向包括: 整体煤气化联合循环、无焰燃烧、化学链燃烧、氧/燃料燃烧等新型燃烧方式下的洁净煤燃烧理论和技术; 多种污染物的一体化脱除和控制技术; 煤气化、液化及多联产等煤资源化利用; 温度、速度、浓度等燃烧物理场的诊断原理与技术, 燃烧中间产物的测量和分析; 先进燃烧模拟技术。

5.5 多相流理论

煤炭超临界水气化制氢发电多联产的多相流理论和技术, 重要研究方向包括: 超临界水煤气化过程的多相流热物理化学基础理论、超临界水煤气化炉内能源物质高效洁净转化规律、超临界水煤气化制氢耦合发电系统集成优化理论等。

非常规复杂气固两相流基础理论与数值方法, 重要研究方向包括: 高浓度、多分散度颗粒的气固相互作用机制; 小雷诺数流场内颗粒-颗粒间流体介尺度作用机制; 颗粒与流体间的多尺度耦合模型; 高温、高压气固两相流动和反应与传热传质规律; 超细、异形和湿粘性颗粒等特殊颗粒的动力学机理及尺寸效应和形状效应; 气固两相流多尺度和全尺度数值方法、高浓度气固两相流动过程的多尺度计算、多尺度气固两相流的介观模型和方法、多尺度气固两相流的微观模型和方法; 数值模拟结果到工业规模设备设计参数的放

大准则等。

气液两相流相界面特性及能质输运理论与技术, 重要研究方向包括: 气液两相流相界面特性及能质输运机理与多尺度协同及模型构建; 极端环境下多相流动与传热基本现象、机理与规律、过程控制及强化理论; 超常介质多相流动与传热传质基本现象、机理与规律、过程控制及强化理论; 二次再热超超临界锅炉和700℃电站锅炉水动力学理论与技术; 核反应堆严重事故的多相流传热机理及其预防缓解技术; 多尺度(跨尺度)多物理场关联的基础理论与数值方法; 多物理场与极端条件下实时原位的时空高分辨率流场测量与过程可视化方法。

5.6 系统节能及学科交叉

工业节能, 重要研究方向包括: 化学反应与能质传递过程的协同强化、余能资源的转化与综合利用、废弃物减排与资源化利用、复杂流程系统的热力学评价与优化集成、冶金-化工-电力大系统能源联产协同机制、高耗能行业能源资源结构重构、节能储能与环境前沿功能材料开发等。

分布式能源系统, 重要研究方向包括: 余能资源的转化与综合利用、化石燃料与可再生能源等多能源互补利用; 微小型动力与动力余热的新型转换与利用; 蓄能与全工况运行, 微能源系统的流动、燃烧与传热机理, 高效微型能源动力系统的集成理论, 智能化能源互联互通, 能量(冷、热、电等)网络调度及协调控制。

可再生能源利用, 重要研究方向包括^[12]: 可再生能源驱动的新颖的动力循环、逆循环及正逆耦合循环系统; 可再生能源转化中物质和能量传递及转化物理过程与化学反应的相互作用规律; 可再生能源高效转化与利用涉及的多相光化学反应体系内相界面及其能质输运机理; 多能源互补过程的能量转化、释放新机理及新方法; 多能源互补的品位耦合理论, 以及多能源综合互补的能源动力系统创新; 高活性、高选择性及高稳定性能源转化材料制备理论等。

交叉科学, 重要研究方向包括: 能量转换与二氧化碳控制的能量利用新原理, 燃料源头节能与二氧化碳捕集的能耗最小化理论, 能量转换与碳迁移耦合、捕集二氧化碳的燃烧革新, 二氧化碳与封存环境的相容原理; 等熵储能原理与新型高效储能方法; 非均相燃烧理论和多场作用下细颗粒多相流理论, PM2.5的

排放控制技术; 大尺度生物对象低温保存, 肿瘤能量协同治疗技术, 微纳尺度生物传热传质机理; 现代激光、光谱和电子信息技术融合的工程热物理先进测试技术.

6 结论

工程热物理学科是解决我国能源、动力和环境问题的主要基础学科. 本文基于工程热物理学科发展战略研究, 从能源发展历史与追求能源可持续发展的趋势出发, 阐述节能与科学用能的基本内涵, 提出能源、资源、环境一体化发展模式, 和面向构建清洁、低碳、安全高效能源体系的学科重要研究方向.

未来为促进我国能源结构调整和能源利用方式转型, 工程热物理学科将侧重开展化石燃料清洁高效利用基础研究, 同时加强可再生能源、清洁能源及环境相容问题的研究. 特别是在高碳能源低碳化利用方面, 着力探索燃料源头节能新方法, 开发煤炭清洁无污染综合利用技术, 研发二氧化碳分离、液化运输与埋存新技术, 建立适合中国高碳能源特点的温室气体控制体系; 在可再生能源、先进动力、工业节能、分布式能源系统等研究方向上, 着力推动工程热物理学科与物理学、化学、材料科学、信息科学等学科的综合交叉, 促进基础理论与关键技术的研究进展. 工程热物理学科的方向布局将实现我国能源科技创新, 保障能源转型升级, 助推能源技术革命.

参考文献

- 1 Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. *Climate Change: Scientific Basis*. IPCC TAR Working Group 1. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- 2 Rifkin J. *The Third Industrial Revolution* (in Chinese). Beijing: China CITIC Press, 2012 [杰里米·里夫金, 著. 第三次工业革命. 北京: 中信出版社, 2012]
- 3 Chinese Society of Engineering Thermophysics. *Using energy scientifically—An important guarantee for building a harmonious society* (in Chinese). Expert Proposal for China, 2005 [中国工程热物理学会. “科学用能——建立“和谐社会”的重要保障”. 院士专家对全国的倡议书, 2005]
- 4 Xu J Z. Using energy scientifically and distributed energy system (in Chinese). *Energy China*, 2005, 27: 10–13 [徐建中. 科学用能与分布式能源系统. 中国能源, 2005, 27: 10–13]
- 5 Chinese Society of Engineering Thermophysics. *Report on advances in engineering thermophysics (2007–2008)* (in Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 2008 [中国工程热物理学会. 工程热物理学科发展报告(2007–2008). 北京: 中国科学技术出版社, 2008]
- 6 Chinese Society of Engineering Thermophysics. *Report on advances in engineering thermophysics (2009–2010)* (in Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 2010 [中国工程热物理学会. 工程热物理学科发展报告(2009–2010). 北京: 中国科学技术出版社, 2010]
- 7 Chinese Society of Engineering Thermophysics. *Report on advances in engineering thermophysics (2012–2013)* (in Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 2014 [中国工程热物理学会. 工程热物理学科发展报告(2012–2013). 北京: 中国科学技术出版社, 2014]
- 8 Jin H G, Hong H, Wang B Q, et al. A new principle of synthetic cascade utilization of chemical energy and physical energy. *Sci China Ser E*, 2005, 48: 163–179
- 9 Jin H G, Zhang X L, Gao L, et al. Fundamental study of CO₂ control technologies and policies in China. *Sci China Ser E-Technol Sci*, 2008, 51: 857–870
- 10 Department of Engineering and Materials Sciences, National Natural Science Foundation of China. *Report on advances in engineering thermophysics and energy utilization (2011–2020)* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [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发展战略研究报告(2011–2020). 北京: 科学出版社, 2011]
- 11 Jin H G. Cascade energy utilization and total energy system (in Chinese). *Chin Sci Bull*. 2017, 62: 2589–2593 [金红光. 能的梯级利用与总能系统. 科学通报, 2017, 62: 2589–2593]
- 12 Xu J Z, Jin H G, Sui J, et al. Recent progress on renewable energy in engineering thermophysics. *Chin Sci Bull*, 2012, 57: 4400–4403

Engineering thermophysics and sustainable energy development

JIN HongGuang^{1,2}, XUAN YiMin³, HE YaLing⁴, GUO LieJin⁴ & ZHAO TianShou⁵

¹ Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

² School of Engineering Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³ College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

⁴ School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

⁵ Energy Institute, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China

Fossil energy supports the development of human society but is facing depletion because of industrialization. In order to solve the formidable problem in compatibility and coordination between energy utilization and the environment and accelerate the development of sustainable energy, it is pressing to realize the transition from fossil to sustainable energy as soon as possible to solve common challenges in human development. Energy technology revolution will bring new opportunities and challenges in the development of the engineering thermophysics discipline. According to urgent needs for energy, power and environmental issues and new progress in discipline development, the Chinese Society of Engineering Thermophysics is aiming for constructing a sustainable energy system and carrying out strategic research on the development of an energy paradigm and frontier growth point of the engineering thermophysics discipline in China. The new integrated development paradigm of energy, resources, and environment provides a promising support for the realization of a sustainable energy strategy. Key objectives of the new development paradigm is to open up new channels of sustainable energy, carry out an energy diversification strategy, and try to solve the formidable problems in compatibility and coordination between energy utilization and the environment, including clean utilization of traditional fossil energy sources, development of green energy, and integration of energy resources into the environment. Important research directions for future development in the engineering thermophysics discipline include: thermophysical properties of an environment friendly working medium; modern analysis methods for new energy sources; combustion under extreme conditions; theories and methods for efficient, clean, and low carbon conversion of fuels; efficient conversion and utilization of solar energy; regional, intelligent, and diversified utilization of wind energy; new methods and mechanisms for efficient and low-cost utilization of biomass; comprehensive cascade utilization of chemical and physical energy sources of fuels; distributed energy system with multiple energy source complementation and its optimization integration theory; energy consumption minimization principle on CO₂ capture based on comprehensive cascade utilization of energy; and novel high-efficiency energy storage method based on entropy principle.

engineering thermodynamics, sustainable energy system, development mode, research aspects

doi: [10.1360/SST-2020-0114](https://doi.org/10.1360/SST-2020-0114)