

2024 年度工程热物理与能源利用学科国家自然科学基金管理工作综述

关永刚¹ 周天^{1,2} 汪辉^{1,3} 樊傲然^{1,4} 王磊^{1,5}

- (1. 国家自然科学基金委员会工程热物理与能源利用学科, 北京 100085;
2. 中南大学能源科学与工程学院, 长沙 410083;
3. 西安交通大学能源与动力工程学院, 热流科学与工程教育部重点实验室, 西安 710049;
4. 清华大学航天航空学院, 热科学与动力工程教育部重点实验室, 北京 100084;
5. 浙江大学能源高效清洁利用全国重点实验室, 杭州 310027)

摘要 统计和分析了 2024 年度国家自然科学基金委员会工程热物理与能源利用学科自然科学基金的申请、受理、评审和资助情况。介绍了 2024 年度学科面向加强“双碳”目标在能源动力领域开展的战略研究与立项工作。介绍了学科 2024 年度亮点资助成果和 2025 年度工作展望。

关键词 国家自然科学基金; 工程热物理与能源利用学科; 申请和资助; 学科动态; 工作展望

中图分类号: TK; N01 文献标识码: A 文章编号: 0253-231X(2025)01-0001-07

Management Review of Engineering Thermophysics and Energy Utilization Discipline of National Natural Science Foundation of China in 2024

GUAN Yonggang¹ ZHOU Tian^{1,2} WANG Hui^{1,3} FAN Aoran^{1,4} WANG Lei^{1,5}

- (1. Engineering Thermophysics and Energy Utilization Discipline of National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;
2. School of Energy Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
3. MOE Key Laboratory of Thermo-Fluid Science and Engineering, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
4. Key Laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education, School of Aerospace Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
5. State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract The application, screening, evaluation and funding of National Natural Science Foundation of China programs in Engineering Thermophysics and Energy Utilization Discipline in 2024 are summarized and statistically analyzed. The strategic research, funding proposals in the field of energy and power under the carbon peaking and carbon neutrality goals are introduced. The outstanding achievements funded by the discipline in 2024 and future work in 2025 are introduced as well.

Key words national natural science foundation of China; engineering thermophysics and energy utilization discipline; application and funding; discipline development; future work

0 引言

2024 年, 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 (以下简称“学科”) 继续着力于推动基础研究高质量发展。学科围绕国家“双碳”目标, 布局了一系列紧密相关的发

展战略调研和重要类型项目, 扎实推进科学基金深化改革, 顺利完成了各项评审工作。此外, 本文还对学科 2024 年度所有基金项目申请与资助情况、学科典型亮点资助成果等进行了总结。

收稿日期: 2024-12-06; 修订日期: 2024-12-26

作者简介: 关永刚 (1974-), 男, 研究员, 工学博士, 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项目主任, 主要从事国家自然科学基金项目管理工作, guanyg@nsfc.gov.cn。

1 2024 年度申请、受理、评审与资助情况

1.1 总体情况

2024 年,学科共接收各类自然科学基金项目申请总计 4686 项,与 2023 年 3680 项相比增长了 27.3%。其中,面上项目增加了 715 项,地区项目增加了 19 项,较 2023 年分别增长 51.6% 和 12.4%,而青年科学基金项目减少了 13 项,较 2023 年减少了 0.8%。2024 年新增青年学生基础研究项目(博士研究生),申请量为 36 项,资助量为 21 项。2024 年学科共资助各类项目 641 项,较 2023 年增长了 5.8%。2024 年学科各类基金项目申请和资助情况见表 1。

表 1 2024 年学科各类基金项目申请和资助情况
Table 1 Application and funding statistics in the discipline in 2024

资助类别	申请量	资助量	资助率/%
面上项目	2100	235	11.2
青年科学基金项目	1631	284	17.4
地区科学基金项目	172	20	11.6
优秀青年科学基金项目	127	9	7.1
国家杰出青年科学基金	67	7	10.4
重点项目	78	9	11.5
联合基金项目	172	22	12.8
国际(地区)合作与交流项目	165	9	5.5
国家重大科研仪器研制项目	16	2	12.5
面向全球的科学研究基金项目	21	3	14.3
专项项目	59	33	55.9
外国学者研究基金项目	70	5	7.1
创新研究群体项目	5	1	20.0
科学中心项目	3	2	66.7
合计	4686	641	—

1.2 面上、青年、地区科学基金项目

2024 年学科共接收面上、青年、地区科学基金项目(分别对应:面上项目、青年科学基金项目 and 地区科学基金项目,以下简称“面青地”项目)3903 项,比 2023 年增长 22.7%。经初审,本年度不予受理面上项目申请 4 项、青年科学基金项目申请 3 项,共计 7 项,主要原因是未按要求提供专家推荐信或相关材料等问题。2024 年 7 月,学科在工程与材料科学部的统一安排下组织专家对“面青地”上会项目进行会议评审,共遴选出 539 项项目给予资助。其中,面上项目 235 项,资助率为 11.2%;青年科学基金项目 284 项,资助率为 17.4%;地区科学基金项目 20 项,资助率为 11.6%。

按照学科二级申请代码来分类,2024 年和 2023 年的申请量对比情况如表 2 所示。其中,“E0607 可再生能源与新能源利用中的工程热物理问题”二级申请代码的申请量最高。其他占比较大的学科二级申请代码是“E0603 传热传质学”和“E0604 燃烧学”。有少量项目没有选择具体的二级申请代码,只选择了 E06 一级申请代码。此类申请实际资助比例极低,因此,建议申请人在项目申报时尽量选择二级申请代码,不要简单选择 E06 一级申请代码。

2024 年与 2023 年学科各申请代码批准项目情况对比如图 1 所示。

2024 年,学科接收的“面青地”项目选择的研究方向共计 146 个,其中,申请量排名前 20 的研究方向如图 2 所示。申请量大的研究方向包括:生物质热解转化、内燃机、热质耦合传递、微纳尺度流动与换热、多孔介质传热传质和储热等。获批量排名前 20 的研究方向分布情况如图 2 所示,其中生物质热解转化排名第一,后面依次是生物质水热

表 2 学科“面青地”项目各申请代码申请量与增长率统计情况
Table 2 Application and growth rate statistics of general program, young scientists funds and funds for less developed regions in the discipline

申请代码	2024 申请量	2023 申请量	2024 增长率/%	2023 增长率/%
E06(工程热物理与能源利用)	29	29	0.0	−9.4
E0601(工程热力学)	433	341	27.0	−3.1
E0602(内流流体力学)	319	269	18.6	−1.1
E0603(传热传质学)	825	676	22.0	−1.2
E0604(燃烧学)	774	657	17.8	0.9
E0605(多相流热物理学)	342	294	16.3	14.4
E0606(热物性与热物理测试技术)	97	87	11.5	−2.2
E0607(可再生能源与新能源利用中的工程热物理问题)	1084	829	30.8	6.7

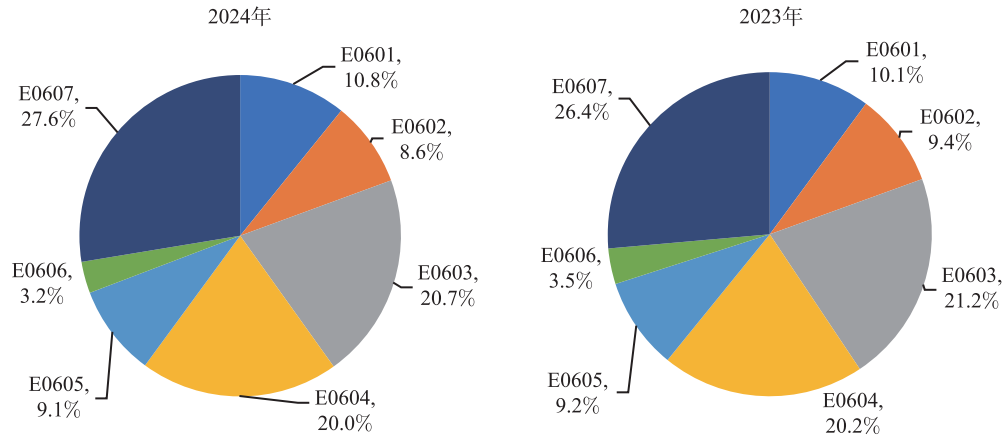


图 1 2024 年与 2023 学科各申请代码批准项目对比图
Fig. 1 Funded projects comparison between 2024 and 2023 according to application codes

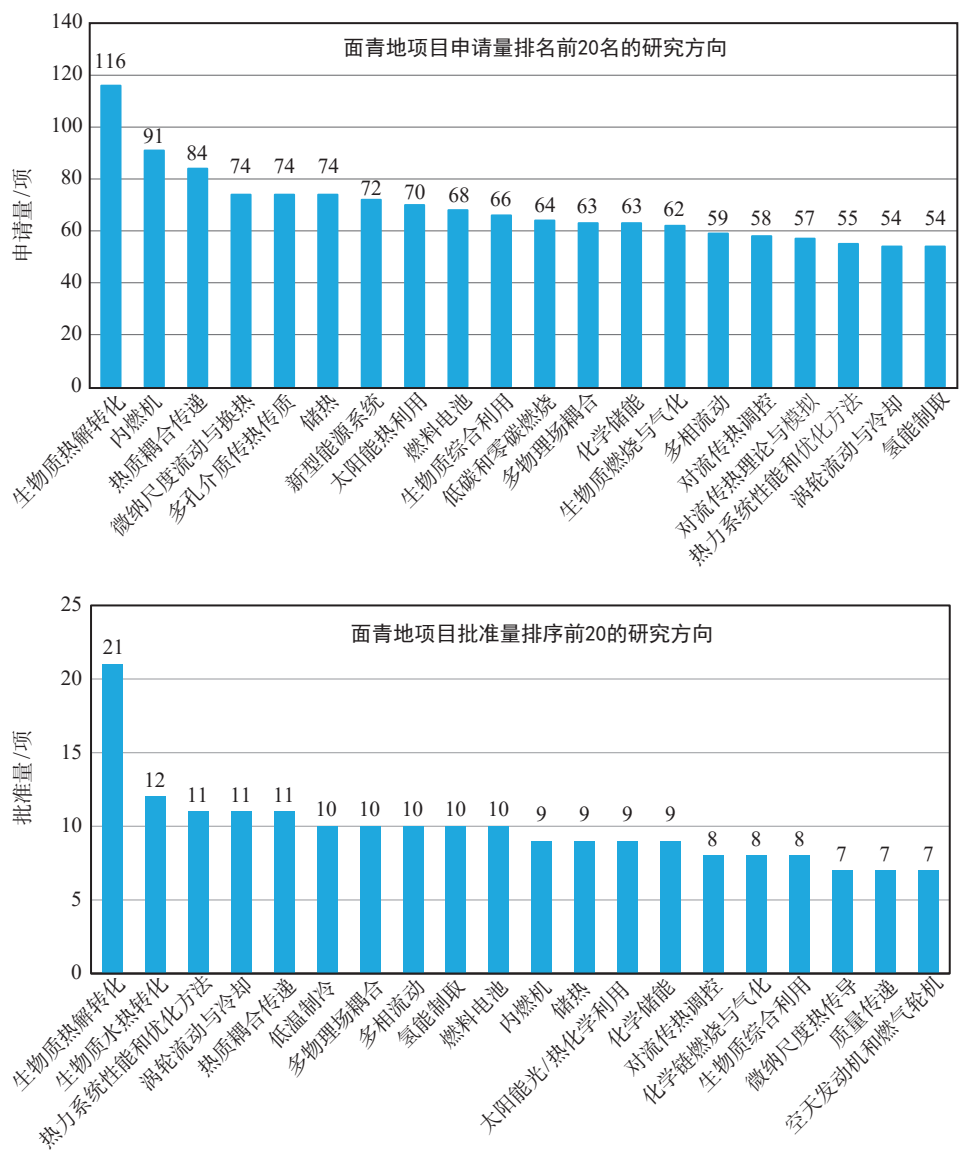


图 2 学科 2024 年“面青地”项目申请量与获批量前 20 的研究方向
Fig. 2 Top 20 research areas according to the application and funding statistics of general program, young scientists funds and funds for less developed regions in the discipline in 2024

转化、热力系统性能和优化方法、涡轮流动与冷却和热质耦合传递等。

基于科学问题属性的项目分类评审是科学基金改革的重点任务,2024 年国家自然科学基金委员会将 2023 年四类问题优化为两类科学问题属性,即分别是 M 类“自由探索类基础研究”和 N 类“目标导向类基础研究”。从学科 2024 年申请情况来看,N 类项目的申请量占比最高,达到 83.4%,其次是 M 类占为 16.6%。在所有获资助项目中,N 类项目占比为 84.0%,M 类项目占比为 16.0%。

1.3 RCC 评审机制试点与维护评审公正性

2024 年,学科继续开展“负责任、讲信誉、计贡献”的 RCC 评审机制工作,涉及的项目类型为面上项目和重点项目。面上项目和重点项目两类项目共计发送 11005 份评审通知。在临近审回日期前,通过电话和邮件等方式,一对一提醒尚未登陆系统和未下载申请书的专家,最终回收专家函评意见 11005 份,回收率为 100%。本年度因主动表达不愿继续评审基金项目、存在长期身处国外或不再从事科研工作等情况的专家标记为“不再评审”,对于没有充分理由成批拒绝指派的专家也进行了标记。2024 年,共收到 RCC 有效反馈意见 3421 份:其中面上项目有效反馈意见 3273 份,占调查总数的 31.2%;重点项目有效反馈意见 148 份,占调查总数的 28.2%。在函评通知邮件中添加了 RCC 评审机制试点简要说明。学科面上项目和重点项目 RCC 意见显示,未获资助面上项目和重点项目申报人对评审意见的正面评价(很有帮助+有帮助)比例分别为 77.0% 和 89.2%,远高于负面评价,表明大部分评审专家提供的学术意见得到了申请人的普遍认可。此外,RCC 机制有助于识别负责任和不负责任的专家群体,为学科建立评审专家信誉库提供支撑。2024 年,由于面上项目申请量大幅增加,拒绝指派评审数量和延误提交评审意见数量明显增加,重置评审意见受理的数量比 2023 年增加 43.0%,申请人申请复审意见的情况与 2023 年相比略有降低(由 2023 年的 5 项减少到 2024 年的 3 项)。

学科强化评审保密措施、优化评审专家构成,扎实开展评审专家被“打招呼”顽疾专项整治工作。压实和规范科研人员、依托单位、评审专家、自然科学基金委工作人员等“四方主体”的责任和行为,营造风清气正的科研生态。学科坚决拥护委党组会同纪检监察组开展专项整治,通过“正面引导、极限防守、严肃惩戒”等措施,维护了自然科学基金的科学性和公正性。

2 加强“双碳”目标下能源动力领域战略研究与立项工作

2.1 重大项目相关情况

2024 年 3 月 16 日,重大项目“电制合成燃料设计与制备基础理论与关键技术”启动会在上海召开,专家组对项目的研究思路和方案设置给予了肯定,对项目的具体实施规划提出了建设性的指导意见。项目面向电制合成燃料规模化高效制备和高效利用需求,系统开展电制合成燃料设计与制备基础理论及关键技术研究,解决电制合成燃料制备和燃烧过程中的跨尺度能量转换与能质传递的基础科学问题以及突破相关关键技术瓶颈,为电制合成燃料高效制备与利用奠定理论和技术基础,对保障我国能源安全,实现能源绿色转型与碳中和目标具有重大意义。

2024 年 5 月 7 日,学科组织召开重大项目“功率器件能量输运机制与热调控”立项建议研讨会。与会专家就当前功率器件热调控研究的重大意义和面临的关键科学技术问题进行了深入的讨论,对如何总结梳理学术思路与提炼凸显创新性提出了建设性意见,进一步明确了科学目标、研究内容及课题之间的相互支撑,并建议补充预期成果的拓展性,以体现对拟立项领域的重大影响。

2.2 组织“多能互融”战略研讨会

2024 年 7 月 29 日、8 月 9 日,学科组织召“多能互融”战略研讨会。与会专家围绕多能互融的总体目标、重大科学问题、共性关键技术、重点任务和实施路径展开了深入研讨,一致认为多能互补与深度融合(简称:多能互融)是实现我国能源体系多元化、低碳化、智能化的综合解决方案。面对大规模可再生能源并网消纳对能源系统安全可靠运行的重大需求,以及我国碳减排幅度要求全球最高、低碳转型时间窗口期短等重大挑战,多能互融理论和技术不仅为推动能源高效低碳转化提供了新思路,还为能源利用开辟了新场景,也为可再生能源与化石能源协同发展提供了新范式,将强力助推能源利用提质增效和能源结构绿色转型,为系统性、变革性地构建新型能源体系提供有力支撑。但是,多能互融相关研究目前尚处于探索阶段,是“深水区”和“无人区”,也是能源利用领域的科技制高点。此次研讨会对凝聚共识、加快推动多能互融基础理论和关键技术研究具有重要意义。后续应继续汇聚力、协同攻坚,组织重大任务,有力推进相关工作。

2.3 组织专项战略研讨会

2024 年,学科共计部署了四个方向的战略研讨会。

8 月 30 日在黑龙江召开太阳能高效转换及空地利用发展战略研讨会, 面向国家“双碳”目标和新型能源体系构建的重大需求, 聚焦太阳能综合利用, 研讨了太阳能与其他能源互融利用的发展趋势和需要解决的关键理论技术问题, 凝练了太阳能在空、天、地等多领域利用的优先发展方向, 梳理了太阳能高效利用的多学科交叉发展路线。

10 月 27 日在内蒙古召开面向沙戈荒新能源大基地的风能利用及变革技术发展战略研讨会, 组织风能利用全链条和跨行业、跨学科的专家围绕沙戈荒新能源大基地的风能高效利用技术、先进消纳技术和风能产业变革技术开展研讨, 并以此为依据归纳总结了相关建议。

11 月 2 日在重庆召开储能科学与学科发展战略研讨会, 组织跨领域、行业、学科的专家围绕不同储能方向发展的瓶颈、前沿发展趋势、基础研究发展、储能与综合能源系统多能互融等主要内容进行了充分的研讨和交流, 明确了储能领域未来发展的目标和方向, 对储能科学与工程学科基础研究的发展提出了建议。

11 月 30 日在上海召开氢能基础科学与前沿技术研讨会, 组织跨领域、行业、学科的专家围绕氢能高效制取、安全储输及综合利用议题展开深入研讨, 凝练了氢能领域当前亟待解决的前沿技术瓶颈和共性基础科学问题, 明确了氢能技术在工程热物理与能源利用学科领域的优先发展方向。

2.4 举办第二届工程热物理与能源利用创新论坛

2024 年 10 月 12 日, 由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资助、大连理工大学主办的“第二届工程热物理与能源利用创新论坛”在大连顺利召开, 来自全国工程热物理学界近 90 多所高校及科研院所近 600 位专家学者参会。论坛邀请了 10 位工程热物理与能源利用领域知名专家学者作大会特邀报告。各位专家面向国家重大需求和学科发展前沿, 结合自身科学研究历程, 深度分享了如何精准凝练关键科学问题、如何选择自己的研究方向、如何坚守自己的学术特色、如何围绕国家重大需求实现基础研究的原始创新、如何切实推动科研成果应用落地等方面的成功经验。在对话交流环节中, 专家们针对学者们关注的议题深入讨论, 激发了学术碰撞、促进了思想交流。

本届论坛的召开为与会专家学者搭建了高水平的学习和交流平台, 有助于提高学科未来重点支持

领域项目的立项水平, 助力学科相关领域基础研究实现高质量发展。

3 学科亮点资助成果

2024 年, 在国家自然科学基金项目的资助下, 本学科领域内涌现出一批优秀资助成果, 具体形式包括关键基础突破、重要成果应用、国家科技奖励、高水平期刊论文等。学科对这些资助成果进行了跟踪报道, 现将一些具有代表性的亮点成果简介如下。

3.1 能源有序转化领域的新进展

西安交通大学郭烈锦院士主持的国家自然科学基金基础科学中心项目“能源有序转化”(批准号: 51888103) 围绕能源传统转化方式无序释放或转变造成的巨大能势、能质降低、能量损耗和严重环境污染问题, 率先提出能源有序转化的核心思想及能势匹配、碳氢循环和多子耦合三个基本原理, 在国际上首次建立了基于能量流与物质流有机关联的能势匹配、多子耦合、碳氢循环能源有序转化理论体系, 并将其应用于超临界水相热化学还原、太阳能光热电一体化制氢/碳氢燃料、聚光太阳能与化石燃料多能互补转化体系, 形成了多类能源转化的原创方法和技术, 建成/在建超临界水蒸煤制氢发电多联产、太阳能有序转化制氢/碳氢燃料、太阳能甲醇多能互补发电与制氢等示范。项目成员在 Nature 等国际著名期刊发表论文 739 篇、英文专著 4 部和 9 章节, 授权发明专利 191 项 (含国际专利 8 项); 入选世界科学院院士 1 人, 杰青、长江、万人领军 11 人, 四青 15 人, 获江苏省基础研究重大贡献奖 1 项、全国创新争先奖 1 项、腾讯科学探索奖 1 项、中国青年科技奖 1 项; 教学成果获国家教学成果一等奖 1 项、省部级特等奖 2 项, 科技成果获省部级一等奖 7 项、全国一级学会奖一等奖 2 项; 创立 MTCUE 全球协会, 创办 WCMTCE、ISTFD 系列国际会议, 在中、英、法等国主办国内国际会议 33 次, 受邀在新西兰、札幌、北京等地作大会特邀/主旨报告 266 人次。项目以“能源有序转化”为核心, 通过工程热物理、材料、化学、数学、物理、生物等多学科的交叉融合, 构建了能源有序转化新体系, 建设了多个多学科交叉实验测试平台, 支撑国家双碳发展战略。该科学中心获得了国家自然科学基金延续资助。

3.2 能源高效利用中关键热流科学问题研究领域的新进展

西安交通大学何雅玲院士主持的国家自然学科

基金创新研究群体项目“能源高效利用中关键热流科学问题的基础研究”(批准号: 51721004) 针对我国能源动力及装备、节能减排及新能源技术发展的重大需求, 在多物理场/多尺度耦合热质传递机理及数值预测、复杂介质热物性和热质传递表征、新能源利用及新型热力系统构建三个方面取得了系列创造性成果。群体成员获国家级科技二等奖 3 项、省部级科技一等奖 8 项, 入选杰青 2 人、长江学者 4 人、优青 1 人、青年长江学者 2 人, 发表期刊论文 394 篇, 做国内外特邀报告 77 次, 授权发明专利和软著 100 余项。群体形成了能支撑本领域产业发展和满足国家重大需求的核心技术, 并应用于动力装备、民用核电、军用核动力、氢能、储能、航天航空等领域中, 取得了显著的经济和社会效益, 技术很好地指导了工程应用, 以解决我国能源利用效率低、可再生能源规模化利用难的基础热物理问题。

3.3 微纳尺度导热领域的新进展

清华大学曹炳阳教授主持的国家杰出青年科学基金“微纳尺度导热”(批准号: 51825601) 围绕微纳尺度导热和芯片热管理开展研究, 阐明了纳米尺度、高热流和超快速条件下非傅里叶导热机理的不同和内在联系, 建立了统一描述热波、非局域和弹道机制的普适导热模型, 揭示了增强导热的低维效应和抑制导热的弹道热阻和基底效应机理, 自主研发聚乙烯纳米线薄膜的热导率达到 $20 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 比体材料高 2 个量级, 构建了纳米颗粒旋转扩散与定向的输运理论, 基于电场控制纳米颗粒定向度的原理研发的石墨烯基热智能材料的热导率调控范围达 200%, 研究成果已应用于微电子器件热管理和航天器功率组件热控制, 获教育部自然科学一等奖。该杰出青年基金项目获得了国家自然科学基金延续资助。

3.4 “煤/生物质燃烧过程 PM_{2.5} 生成与调控”

获国家自然科学基金二等奖

在国家自然科学基金项目(批准号: 50325621、50721005、51021065、52036003、50720145604、51520105008 和 51661125011) 等资助下, 华中科技大学徐明厚教授团队开展了煤/生物质燃烧过程 PM_{2.5} 生成与调控研究, 建立了完整的 PM_{2.5} 生成理论, 构建了全尺寸颗粒物生成预测模型, 创立了减少细颗粒物生成的定向调控方法, 实现了 PM_{2.5} 源头控制, 在大型燃煤/生物质发电机组示范应用。相关成果作为主要创新内容支撑了 2023 年度国家自然科学基金二等奖《煤/生物质燃烧过程 PM_{2.5} 生成与调控》。

3.5 “空气源热泵多品位热能高效供应关键技术与应用”获国家科技进步二等奖

在国家自然科学基金项目(批准号: 52036004 和 51706131) 等资助下, 上海交通大学王如竹教授团队提出了空气源热泵闭式预热耦合开式闪蒸压缩及压缩-吸收耦合变温提质大温升热泵循环, 提出了水蒸气的准饱和和压缩理论, 为工业蒸汽的高效低碳供应开创了变革性路径, 相关成果作为主要创新内容支撑了 2023 年度国家科技进步二等奖《空气源热泵多品位热能高效供应关键技术与应用》。

3.6 “面向新型电力系统的燃煤发电机组瞬态过程灵活高效关键技术及应用”获国家科技进步二等奖

在国家自然科学基金项目(批准号: 51125027、51436006 和 51776146) 等资助下, 西安交通大学严俊杰教授团队提出了燃煤发电机组瞬态过程蓄热有序利用的新思想, 发明了以蓄热的焓和热功转化速率为准则, 调控风煤水等物质流的方法, 为燃煤发电机组瞬态过程的灵活高效技术的开发奠定了理论基础, 相关成果作为主要创新内容支撑了 2023 年度国家科技进步二等奖《面向新型电力系统的燃煤发电机组瞬态过程灵活高效关键技术及应用》。

3.7 “复杂多变工况离心泵关键技术及工程应用”获国家科技进步二等奖

在国家自然科学基金项目(批准号: 51536008 和 52076196) 等资助下, 浙江理工大学朱祖超教授团队突破了多尺度低温空化流动仿真技术, 发展了多相多场耦合离心泵弱可压流动预测模型, 建立了考虑流体激励作用的转子系统分析及设计方法, 相关成果作为主要创新内容支撑了 2023 年度国家科技进步二等奖《复杂多变工况离心泵关键技术及工程应用》。

3.8 电卡制冷研究领域的新进展

在国家自然科学基金项目(批准号: 52076127) 等资助下, 上海交通大学钱小石教授团队实现了超越“巨电卡效应”的“庞电卡效应”, 在 20% 击穿电场的低电场下, 改性后的材料熵变达到 $100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 电卡强度超过 $1 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}\cdot\text{MV})$, 所得的界面增强聚合物的制冷能力达到 $5\times 10^3 \text{ J}/\text{kg}$, 并且保持 300 万次稳定循环运行, 相关成果发表在《科学》(Science) 杂志上。此外, 该团队研制了高效自驱动高分子制冷器件, 在 4 K 工作温宽条件下, 器件可以输出 $2.7 \text{ W}/\text{g}$ 的制冷功率密度, 对应的 COP 为 24, 实现了约 32% 的热力学完善度, 单位空间上的制冷功率密度相比于其他电卡制冷器件提升了近百倍, 相关研究成果发表在《自然》(Nature) 杂志上。

4 2025 年度工作展望

4.1 继续加强学科发展战略调研工作

2025 年, 学科将继续贯彻落实国家自然科学基金委员会和工程与材料科学部的决策部署与工作要求, 响应国家“双碳”目标, 坚持“四个面向”, 继续深入推进学科发展战略调研工作。通过专项项目资助, 组织专家在能源动力及重要学科交叉领域开展战略研讨, 为基础研究重要类型项目资助布局提供依据, 促进本学科主导的复杂科学技术问题的多学科协同攻关, 努力推动形成新的学科增长点。

4.2 继续推进学科代码、研究方向和关键词的优化调整工作

2025 年, 在前期专家研讨等系列举措的基础上, 学科将继续深入开展调研与研讨, 通过设立专项项

目, 组织战略研讨会与专题会议, 充分论证学科申请代码增减和修订的必要性和可行性, 进一步梳理研究方向和关键词, 突出学科主体方向和优先发展领域。

4.3 继续加强项目申请和管理工作的

2025 年, 学科将进一步规范面青地项目基金进展交流会的组织与管理, 切实提升项目完成质量。继续推动能源领域国家重点研发计划重点专项立项动议跨学科跨领域的深入研讨, 充分凝练核心科学问题与关键技术需求。努力提升重要类型项目资助效能, 助力学科相关领域基础研究实现高质量发展。继续鼓励并推动中青年科研人员承担重要类型项目, 助力青年科技人才的快速成长。继续加强宣传, 激发本学科科研人员的积极性, 吸引更多有识之士参与学科发展相关工作。