

· 学科进展 ·

先进发动机燃烧基础研究的进展和关键科学问题*

刘涛^{1**} 纪军¹ 卫海桥² 罗坤³

(1 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085;

2 天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室, 天津 300072; 3 浙江大学能源工程系, 杭州 310027)

[摘要] 极端条件下的发动机燃烧技术以及燃料多样性是国际上的研究热点。国家自然科学基金委员会召开了以“先进发动机燃烧关键基础科学问题”为主题的第92期“双清论坛”。会议围绕先进发动机、燃烧机理研究、燃烧测量与数值模拟等3个专题深入探讨了发动机燃烧领域的研究现状、发展趋势及面临的挑战,在此基础上凝练出了该领域需要解决的关键科学问题,包括燃烧化学反应动力学和火焰动力学机理、燃烧与湍流的相互作用以及极端条件下燃烧的基本规律及其调控机制等,并就该领域未来急需开展的主要研究内容提出了建议,研讨了今后的重点资助方向。

[关键词] 先进发动机, 燃烧, 基础科学问题, 双清论坛

发动机是国防、交通等领域的基础装备,是一个国家综合国力的标志。当前世界各国在航空航天、汽车、舰船等领域的竞争在很大程度上表现为发动机技术方面的竞争。目前,国际上发动机燃烧技术正在向极端条件燃烧以及燃料多样性方向发展,高参数以及极端条件下的燃烧物理与燃烧化学问题成为国际燃烧领域的研究热点。由于我国燃烧基础研究起步较晚、底子薄弱,发动机燃烧技术缺乏基础理论的支撑,与国际先进水平有较大差距,成为国防装备和相关产业的发展瓶颈。为此,国家自然科学基金委员会于2013年4月10—11日在成都召开了题为“先进发动机燃烧关键基础科学问题”的第92期“双清论坛”。

本次论坛由中国空气动力研究与发展中心承办。乐嘉陵院士、庄逢辰院士、苏万华院士、范维澄院士共同担任论坛主席。国家自然科学基金委员会主任杨卫出席了会议。来自国内30余所科研院所的50多位燃烧、力学及化学等领域的知名专家参加了研讨,国内相关科研院所的其他70多位专家也参加了会议。

本次论坛共进行了18个主题报告,39个专题报告,乐嘉陵院士首先作了题为“航空航天吸气式推

进系统燃烧关键基础科学问题”的主题报告,指出要开展燃料的化学反应动力学和热力学、基于激光的高精度燃烧诊断和燃烧流动高保真数值模拟等方面的研究,掌握高速流动的湍流燃烧机理,最终实现对高速气流中的湍流燃烧控制。空军装备研究院甘晓华院士的报告题目为“军用燃气涡轮发动机燃烧室问题及研究建议”。他分析了现役发动机燃烧室主要问题,指出航空发动机要实现从测绘仿制到自主创新,必然要加强燃烧方面的基础研究和关键技术研究。苏万华院士作了题为“内燃机燃烧的几个基础问题”的主题报告,指出燃烧过程火用及火用/功转化率最大化是提高内燃机效率和功率密度的重要研究领域,应加强喷雾混合机理、碳烟生成机理以及高效清洁天然气燃烧技术等基础问题研究。装备学院庄逢辰院士做了题为“重型运载火箭大推力液体火箭发动机燃烧稳定性研究的火焰动力学问题和燃烧研究的方向”的主题报告,集中介绍了燃烧不稳定性问题。清华大学范维澄院士做了题为“发动机燃烧过程高性能计算理论与火灾防控原理”的主题报告,指出利用数值模拟方法来设计发动机,可以大大缩短研发周期,节省费用。与会代表还从先进发动机、燃烧机理研究、燃烧测量与数值模拟等3个

* 本文内容根据第92期双清论坛的讨论内容整理。

** Email: liutao@nsfc.gov.cn

本文于2013年7月23日收到。

专题深入探讨了先进发动机燃烧领域的研究现状、发展趋势及面临的挑战,凝练了科学问题,提出了今后的重点研究方向。

1 先进发动机燃烧基础研究的发展现状

1.1 燃烧化学反应动力学和火焰动力学研究

当前国际上先进发动机基础燃烧研究工作正在从单纯的燃烧物理向燃烧物理和燃烧化学相结合的角度转换,其基本思路是通过解析燃料在复杂热物理场中的物理和化学变化过程,发展发动机燃烧过程优化控制的新途径和新方法,实现发动机内的清洁高效燃烧。我国在燃烧反应动力学与火焰动力学方面起步较晚,基础薄弱,发动机燃烧技术缺乏基础理论方面的支撑。

在燃烧化学反应动力学研究领域,当前国际上的主要关注点集中于大分子碳氢燃料和生物质燃料燃烧过程中间物种的微观结构表征、详细燃烧化学反应动力学模型的构建与实验验证、燃烧污染物形成机理的发展、燃烧反应模型的误差分析与简化方法发展等方面。我国燃烧化学反应动力学研究经过10余年的发展,已经逐步建立起了燃烧化学反应动力学的实验、理论和模型研究体系,对碳氢燃料和生物质燃料的燃烧化学反应动力学开展了一定的研究和探索。

在火焰动力学研究领域,目前的发展趋势是从单组分燃料向多组分混合燃料转换、从常规条件向极端条件转换、从正常燃烧现象(稳定火焰传播)向临界燃烧过程(着火、回火、熄火等)转换、从定性认识向定量预测转换。关于常规条件下单组分燃料的火焰动力学特性,目前已经有了较为完善的认识,并发展出了较为系统的理论。然而,为了清洁高效地组织发动机内燃烧过程,还必须对多组分混合燃料在非常规条件下的火焰动力学特性进行深入系统的研究,必须对不同燃料在不同工况下的燃烧过程中所涉及的流动与化学反应耦合机制进行充分认识。

1.2 先进航空航天发动机燃烧基础研究

(1) 航空航天发动机燃烧过程的高效组织。

我国航空航天发动机与世界发达国家的综合差距为一代到一代半,大约25—30年,而且有不扩大的趋势。航空发动机要实现从测绘仿制到自主创新,尽快缩小差距,必然要从源头出发,加强燃烧方面的基础研究和关键技术研究。

先进航空发动机对燃烧提出了许多新的要求:

(i) 在更高的压力(总压比在30以上)、更低的油气

比、更宽广的工作范围内稳定可靠地工作;(ii) 工作条件由常规向超常规(超高压、超临界、超贫油)发展,燃料的喷射、蒸发、混合、点火、燃烧等物理化学过程将发生质的变化;(iii) 在某些极端条件下,如高寒、稀薄大气环境等情况下保持燃烧过程的高效组织和智能控制;(iv) 从未来节能、环保战略高度,要求在今后10—15年内发动机的推重比将达到15—20,效率提高25%—50%,耗油率需降低40%,NO_x和CO₂分别降低70%和15%,先进民用发动机的涵道比提高一倍。

为了实现上述航空发动机高效、稳定、清洁燃烧目标,必须提高现有空天发动机性能的燃烧过程组织。高效组织燃烧与智能控制是在点火熄火性能和污染排放性能之间的平衡优化,要掌握燃烧临界状态(指燃烧状态与非燃烧状态之间的转换点,如熄火、点火、自燃、回火和振荡燃烧等)发生的机理、影响因素及预估、控制方法,需要有大量的基础研究规律和理论体系作支撑。

(2) 航空航天发动机极端条件下燃烧过程。

(i) 超声速燃烧:超声速燃烧的物理机理主要是指燃料雾化、点火/熄火、火焰稳定、火焰传播、燃烧不稳定以及燃烧强化机制等基本规律,也包括大分子系统动力学和多相流物理问题。目前,国外依靠长期的国家计划开展湍流燃烧机理及其数值模拟技术研究,计算分析、地面实验、飞行试验三者结合的综合研究体系已基本建立。我国超声速燃烧技术需通过系统深入的基础研究,以支撑国家在先进航空航天吸气式推进系统方面近期和远期的科学和技术发展规划需求。(ii) 爆震燃烧:爆震燃烧是一种能自增压的先进燃烧方式,在燃烧过程的组织方面比等压燃烧复杂得多。脉冲爆震燃烧起步较早、在基础研究方面已经取得许多突破、但还需要进一步深入研究爆震总推进效率、爆震能量的高效利用及转化方法、等离子体起爆机理、爆震室与外部流动的耦合等。旋转爆震燃烧刚起步不久,需要研究反应剂喷射、旋转爆震起爆、传播、控制、出口解旋以及长时间稳定可靠工作等。另外,还需要对斜/正爆震等多模态组合、高频谐振爆震和微爆震等多种动力形式的机理开展积极的探索研究。(iii) 各类组合发动机燃烧:为了适应未来航空、航天军用和民用发展需求,世界各国正在研制各种先进的飞行器,要求与之相配的动力系统有宽广的飞行空域(0—100 km)及速域(Ma=0—25),目前尚无一种发动机能独立达到。因此,提出了各种组合发动机概念,如火箭基或

涡轮基冲压组合发动机(RBCC或TBCC)、亚燃/超燃冲压发动机、涡轮喷气+爆震发动机+超燃冲压发动机、冲压发动机+连续爆震波发动机等等。除了各子发动机系统本身的燃烧基础问题外,需要大力开展高温、高压和高速射流条件下,亚-跨-超声速流场内复杂波系非定常发展与燃烧耦合机理等。

(3) 航空航天发动机燃烧不稳定性。燃烧不稳定问题成为先进航空航天发动机燃烧的基础理论共性难题。目前的燃烧不稳定理论分析侧重于雾化和蒸发等物理过程,研究较为清楚的只有准稳态蒸发模型,但尚不清楚这个模型是否适用于高频高压振荡环境,因此没有办法建立燃烧不稳定的非线性激励模型。因此,需要进行大量基础机理研究,掌握高频高压振荡环境下各子过程的细节。

1.3 先进内燃机燃烧技术基础研究

(1) “极限”条件下的燃烧机理与燃烧控制。

未来先进内燃机的目标是在实现超低排放的同时大幅度提高其热效率,即内燃机有效热效率从目前的40%左右提高到60%以上,因此,内燃机燃烧过程组织正在进行革命性的变革,如大幅度提高发动机压缩比、改变缸内流体热物性参数(提高绝热指数)、降低发动机散热损失等。因此,先进内燃机燃烧正向高密度、高稀释和超高压等极端(极限)条件方向发展,“极限”条件下的燃烧机理与燃烧控制是先进发动机燃烧科学领域的重要方向之一。

极端(极限)条件使内燃机中的流体在热力学上超临界,人们对于超临界介质中的传热、传质和燃烧化学反应特性一无所知,因此,为了实现这种超临界条件下的燃烧过程组织,必须对极端条件下燃油喷雾雾化机理、混合过程、缸内湍流、燃烧化学反应机理以及热功转化等物理化学过程进行相关的基础理论研究,构建极端(极限)条件下内燃机高效清洁燃烧新的理论体系,实现内燃机新的技术变革。

(2) 多元燃料。应对气候变化和保障能源安全另一重要途径是使用石油替代燃料,低碳燃料或生物质燃料在内燃机得到越来越多的应用,内燃机燃料多元化是未来的发展趋势。燃料多元化不仅可以减少对石油的依赖,还可以利用燃料的物理化学特性对燃烧过程进行控制,从而实现高效清洁燃烧。目前,国内外大量开展了基于燃料特性控制的燃烧反应机理、混合燃料燃烧化学反应动力学耦合机理、燃料物理化学特性对燃烧物理时间尺度与化学时间尺度耦合作用机理、燃料设计理论、新型燃料物理化学特性评价等方面的研究,但这些研究仍是初步的,

还没有形成相对完整的理论体系。

(3) 有害排放。汽车内燃机排放法规正向超低排放甚至是零排放迈进。为了满足越来越严格的有害排放法规,内燃机都需要加装复杂的后处理系统。因此,发展先进内燃机清洁燃烧技术以减少对后处理器的依赖是内燃机技术发展必须解决的另一个重要课题。人们对NO_x排放生成机理及控制技术有较清楚的认识,但是颗粒排放仍是内燃机燃烧学研究的难点,机油颗粒物生成几乎是空白。发动机以重量计的颗粒排放限值仍进一步加严,同时对发动机颗粒排放颗粒数量进行限制,这使传统控制颗粒排放的技术措施难以满足日益严格的排放法规的要求。因此需要加强对碳烟前驱物化学动力学、碳烟前驱物与碳烟生长过程的物理化学机理、碳烟结构和氧化机理等方面的研究,并开展内燃机机油颗粒物生成机理的研究。

1.4 先进燃烧诊断方法和技术

基于激光和光谱的燃烧流场诊断技术是以激光技术、光谱技术、光电探测技术、数据图像处理技术等为基础的先进燃烧流场诊断技术,具有无扰动(非接触)、高空间分辨(微米/毫米)、高时间分辨(微秒/纳秒甚至更短)、测量信息丰富、测量精度高等优点,是获取发动机内复杂燃烧流场高精度数据和建立准确燃烧模型的基础,是燃烧基础科学研究的重要手段。

目前,国际上发展的基于激光和光谱的燃烧流场诊断技术已有二十余种,但每种技术都有其局限性和适用范围,且每种技术一般仅能测量1个或2个流场参数。当前的发展趋势是:针对不同类型发动机复杂燃烧流场测量的需求,研究多参数时空分辨、高精度定量综合测量技术,燃烧流场定量可视化技术,和瞬态流场的高速动态定量测量技术,研发满足工程应用的测量装置。

经过十余年的发展,国内多家研究单位在基于激光和光谱的燃烧流场诊断技术方面也取得了较大进展,有了一定的研究基础。但国内发展的诊断技术用于不同类型发动机测量尚存在很大局限性,需要对已有技术进行改进和发展,并开展新的高精度测量技术和方法研究,逐步发展2维、甚至3维定量可视化技术,通过选取适用的激光诊断技术进行组合,实现发动机复杂燃烧流场参数的高精度综合测量和可视化。

1.5 先进数值模拟方法和技术

发动机内的湍流燃烧涉及到一系列复杂的物理

化学过程,如燃料雾化、液滴蒸发、燃烧反应动力学、点火/熄火、火焰传播、燃烧不稳定等。对这一问题进行研究,必须要同时借助于高精度数值模拟、试验测量以及相关的理论分析。随着大规模并行计算机的飞速发展,数值模拟在发动机研究过程中扮演着越来越重要的作用,需要引起足够的重视和投入大量的资源进行深入研究。随着计算流体力学的飞速发展,很多学者通过采用它对两相界面进行捕捉来研究液体的雾化机理,发现采用该方法能够有效地对液体雾化,特别是稠密区的初始雾化这一实验不易测量的雾化区域的液体射流表面波不稳定性规律、液体条带形成规律、液滴形成规律等进行深入的研究。

对于液体雾化和蒸发后的液雾燃烧过程,国内外采用雷诺平均模拟(RANS),大涡模拟(LES)和直接数值模拟(DNS)进行了大量的研究。其中DNS具有独特的优势,不需要引入任何湍流和燃烧模型,为复杂多相流动和燃烧的研究带来了新的机遇。但其庞大的计算量极大地限制了其应用范围,当前主要用来开展机理方面的研究。而RANS虽然省时快捷,但无法捕捉流动和燃烧的细节,特别是无法描述瞬时流场结构和声场结构,不能用来有效地研究燃烧不稳定性。因此,介于DNS和RANS之间的LES方法和技术正迅速发展起来,采用它研究实际的发动机燃烧问题具有明显的优势,已受到科学界和工程界的普遍关注,成为国际燃烧学领域内的学术前沿和研究热点。

2 关键科学问题

经过研讨,专家们提出先进发动机燃烧基础研究领域未来发展中急需解决的科学问题如下:

2.1 燃烧化学反应动力学和火焰动力学机理

(1) 理论计算和实验测量相结合,获得燃料裂解和燃烧反应的热、动力学参数和中间物种浓度,构建和完善燃烧基础数据库;(2) 构建、验证并优化出兼具精确性和适用性的燃烧反应动力学模型;(3) 发现和阐明常规与极端条件下基础燃烧过程的基本规律及其中涉及的物理化学机制。

2.2 燃烧与湍流的相互作用

(1) 湍流对化学反应动力学和火焰动力学的影响规律;(2) 燃烧不稳定性的产生机制及火焰稳燃机理;(3) 液体燃料雾化机理及其与蒸发和燃烧的相互作用;(4) 燃烧火焰多模态的一体化描述及其与壁面的相互作用。

2.3 极端条件下燃烧基本规律及其调控机制

(1) 各种极端条件对各种形式的燃烧波的影响和控制规律;(2) 各种极端条件对各燃烧子过程(如雾化、蒸发和燃烧)的影响和控制规律;(3) 各种极端条件对燃烧现象(点火、熄火、火焰传播及火焰稳定)影响、临界条件和控制规律;(4) 各种极端条件下燃烧波、激波、声波、边界层等相互作用及耦合机理、相长相消(正/负反馈)控制规律;(5) 高强化(高密度)、高稀释、低温燃烧理论;(6) 燃料设计与多元燃料物理化学特性控制的燃烧理论。

3 若干建议

围绕上述科学问题,建议未来主要的研究方向和研究内容如下:

3.1 燃烧化学反应动力学和火焰动力学研究

(1) 燃烧化学反应动力学研究。大分子碳氢燃料、生物质燃料和多组分混合燃料的燃烧物种浓度和宏观燃烧参数的全面测量;各类燃料燃烧基础数据库的建立与完善;新型燃料理化性质及燃烧特性的确定;极端条件和新型燃烧方式下的基础燃烧实验研究;适用于大分子体系的理论计算方法的发展;宽广温度、压力条件下基元反应速率常数的精确计算;热力学数据和输运数据的精确计算;各类燃料精确、普适的详细燃烧反应模型的发展和全面实验验证;燃烧反应模型的误差分析及简化方法发展;燃烧污染物生成机理和非均相燃烧反应动力学模型的发展。

(2) 燃烧火焰动力学研究。常规与极端条件下着火、火焰传播、失稳、熄火等基础燃烧过程的规律与机理;临界燃烧状态之间的转换过程;层流与湍流火焰结构;关键自由基的输运特性和化学反应特性对基础燃烧过程的影响;传热、传质、层流、湍流等输运过程对基础燃烧过程的影响及其与化学反应的耦合作用机制;辐射、湍流、激波、声波等影响因素与火焰的相互作用机制;超临界条件下的基础燃烧特性;低温等离子体辅助着火与强化燃烧的机理。

3.2 先进航空航天发动机燃烧研究

扩散/预混、亚燃/超燃、爆燃/爆震多模态随工况变化的转换与控制机理;燃烧室冷/热态声学特性研究及其与燃烧各子过程的响应特性、燃烧与燃烧室声波的相互作用机制;燃烧室燃料能量转换规律、转化效率、热管理研究;多级配机械混合高能材料的细观燃烧机理;几何尺度对固体推进剂的火焰形貌和动态燃烧特性的影响规律;等离子体点火与助燃的机理研究;高压下燃料喷射、蒸发、混合、燃烧的机

理、火焰动力学;过度贫油燃烧机理、火焰热声耦合及其控制、燃烧过程组织与优化;超临界蒸发和燃烧现象物理描述及其动力学控制机理;煤油及其替代燃料在近临界、跨临界和超临界环境下的热力学特性、输运特性及化学动力学特性;极端(极限)条件下污染物及积碳生成机理与排放控制;极端(极限)条件下燃烧/传热/固体力学的耦合研究;多旋流、强旋流、多燃烧区之间相互作用与耦合机理;非正常条件下点火、火焰稳定、火焰传播、熄火过程规律及其控制机理;超声速流动系统中各种形式燃烧波的驻定与稳定问题;热声耦合现象与各种形式燃烧波的相互作用及控制规律;不同类型燃烧火焰的非正常热释放机制与压力波能量转换机制;各种燃烧室中燃烧过程组织与发动机其他系统耦合匹配机理;燃烧波与边界层相互作用机理;可变内流通道中燃烧波、激波的相互作用及控制规律;组合发动机内亚-跨-超声速流场内复杂波系结构非正常发展与燃烧耦合机理等。

3.3 先进内燃机燃烧研究

(1) 高密度、高稀释、低温燃烧理论。超高喷射压力、超高环境压力及复杂流动边界条件下喷雾场浓度和温度场微观结构和强化混合过程的机理研究;脉冲多次喷油混合气形成、浓度与组份分布特性;高强度、高稀释、低温等“极限”条件下燃烧反应机理及燃烧反应速率控制;多组分预混合气湍流混合过程与燃烧化学动力学耦合作用机理;燃烧过程可用能转化机理和基于 η_{max} 最大化燃烧化学反应途径研究;碳烟及前驱物生成动力学机理、生长过程的物理化学机理及碳烟结构和氧化机理;瞬变工况条件下缸内燃烧反应物理化场的交互耦合、演变规律及其对燃烧和排放影响的作用机理;瞬变工况着火、燃烧和燃烧稳定性机理等。

(2) 燃料设计与多元燃料物理化学特性控制。强化低温燃烧燃料特性与高效清洁燃料燃烧指数评价;燃料物理特性、化学特性与分子结构特性评价;适应高效清洁燃烧新型燃料设计理论;新型燃料、混合燃料着火、熄火和火焰传播机理;混合燃料组份燃烧化学反应动力学耦合机理;基于燃料化学活性及活性分层控制的高效清洁燃烧机理研究;高效天然气燃烧技术基础研究等。

3.4 先进燃烧诊断方法和技术

激光与发动机多物理过程燃烧流场介质作用机理;宽温度和压力范围燃烧流场分子光谱模型建立及验证方法;发动机复杂燃烧流场激光作用下光谱

特性及光谱数据分析反演方法;适用于发动机燃烧流场测量的光谱计算分析软件的建立与完善;极端条件下燃料破碎和雾化的高时空分辨定量测量技术与方法;适用于发动机复杂燃烧流场高精度定量测量的新技术和新方法;发动机燃烧流场定量可视化技术和方法;瞬态燃烧流场高速动态定量测量技术和方法;极端条件下燃烧流场多参数高时空分辨定量测量技术和方法;激光诊断系统高集成度设计和性能评估方法;发动机燃烧流场精细化高精度综合测量及实验数据库的建立;以及基于同步辐射真快紫外和 X 射线的新型诊断技术等。

3.5 先进燃烧数值模拟方法

(1) 燃烧流动高精度、高效率计算方法研究。

湍流燃烧高精度/高分辨率数值计算格式及边界计算格式;全速域流动计算格式研究;燃烧流动高效率计算方法研究及其边界计算格式;结构/非结构解算器耦合算法研究;RANS/LES/DNS 耦合数值计算方法研究;网格生成技术研究等。

(2) 燃烧流动计算模型研究。湍流燃烧介观尺度计算模型研究;湍流燃烧直接数值模拟研究;湍流燃烧大涡模拟的亚格子模型研究;湍流燃烧 RANS/LES 混合模型研究;面向燃烧流动 LES、DNS 与介观尺度计算模型的集成研究;直接数值模拟数据库建设;稳燃机理及模型;点火、熄火机理及模型;雾化机理及模型;统一考虑预混燃烧与扩散燃烧的模型;火焰-湍流、火焰-壁面、火焰-激波、激波-边界层相互作用机理及模型等。

(3) 面向燃烧流动的大规模并行计算技术研究。基于同构多核处理器计算机系统大规模并行计算技术研究;基于异构众核处理器(GPU)计算机系统的大规模并行计算技术研究;大规模并行自适应网格技术研究;超大规模网格数据预处理技术研究;负载均衡算法研究;超大规模网格并行 I/O 优化技术研究等。

(4) 大规模数值模拟平台的集成、验证和应用。燃烧流动标准验证实验研究;标准模型燃烧模拟;模型燃烧室模拟;极限条件下燃烧模拟;燃烧流动真实条件下计算模型的验证和确认;面向燃烧流动数据处理的超大容量数据可视化技术研究;各种真实发动机燃烧室模拟和设计优化。

致谢 衷心感谢范玮、黄震、黄佐华、李象远、齐飞、尧命发、郑忠华等教授对本文撰写所作出的重要工作及提出的宝贵意见。

Progress and Key Scientific Issues on Advanced Engine Combustion Research —Summary of the 92nd Shuangqing Forum of NFSC

Liu Tao¹ Ji Jun¹ Wei Haiqiao² Luo Kun³

(1 Department of engineering and material science, National Natural Science Foundation of China, Beijing, 100085;

2 State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin, 300072;

3 Department of Energy engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

Abstract Combustion technology of engines under extreme conditions and fuel diversity has been the research hot topic in the international community. The National Natural Science Foundation of China recently held the 92nd Shuangqing Forum themed as “Key Fundamental Scientific Issues on Advanced Engine Combustion Research”. Focused on three special topics, namely advanced engine, combustion mechanism research, and measurement and numerical simulation of combustion, the current research status, future develop tendency, and faced challenges on engine combustion field were discussed thoroughly. Based on these, key scientific issues in these fields that need to be resolved were addressed, including the mechanism of combustion chemical kinetics and flame dynamics, the interactions between combustion and turbulent flows, and the fundamentals as well as the control mechanism of combustion under extreme conditions. Meanwhile, the main future research context and funding directions in the field were suggested.

Key words advanced engines, combustion, fundamental issues, Shuangqing Forum

· 资料信息 ·

《中国科学基金》: 征稿简则

《中国科学基金》(双月刊)创刊于 1987 年,由国家自然科学基金委员会主管、主办,旨在成为国家自然科学基金委员会联系广大科学基金项目申请者、承担者、评审者和管理者的桥梁与纽带。

本刊已被 CSCI、CSSCI 等国内各主要检索系统及日本《科学技术文献速报》等国外部分重要检索系统收录。

欢迎学术思想新颖、观点明确、有学术水平和对科学基金工作者有指导意义的论文和评述文章,尤其是欢迎有关基金资助项目的研究进展及关于科学基金资助管理的研讨性论文。

本刊常设栏目简介:

学科进展:刊登有关学科的具有战略性、全局性、前瞻性的综述性和评论性文章,以促进学科间的了解、交叉与融合。

科学论坛:刊登的文章本着“百家争鸣,百花齐放”的原则,围绕科技界普遍关注的研究评价、科研

道德等热点与焦点问题,各抒己见,展开讨论。

成果简介:报道和选登重要的、有影响的、具有代表性的科学基金资助项目的研究进展以及优秀人才和优秀群体介绍。

基金纵横:及时报道国家自然科学基金委员会制定的各种重要的政策、规定和文件通告等;及时公布《国家自然科学基金项目申请指南》的核心内容,以正确引导广大科研人员申请基金项目。

资料信息:及时公布重大研究计划、重大、重点科学基金项目批准情况和重要的信息以及科学基金工作的海内外动态。

编辑部地址:北京市海淀区双清路 83 号,邮政编码:100085

期刊网址:<http://pub.nsf.gov.cn/sficc/ch/currentissue.aspx>

投稿邮箱:weikan@nsf.gov.cn

联系电话:010-62326893