



# 建设高温气体动力学国家重点实验室支撑我国高超声速科技发展

姜宗林

高温气体动力学国家重点实验室(筹), 中国科学院力学研究所, 北京 100190

高温气体动力学国家重点实验室(筹)(State Key Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, LHD)以空天科技发展为主要背景, 致力于高温气体动力学的基础学科研究, 以支撑我国高超声速技术发展的需求. LHD 是 20 世纪 50 年代末在钱学森和郭永怀先生建立中国科学院力学研究所气动科研力量和学科方向的基础上发展壮大, 作为中国科学院重点实验室正式成立于 1994 年. 十几年来, 在俞鸿儒院士的指导下, LHD 以创新求发展, 逐步建设成为理论、实验和数值模拟研究相结合、装备配套的高温气体动力学开放研究基地. 1998 年、2004 年和 2005 年, LHD 先后多次以优异成绩通过中国科学院或国家重点实验室评估. 特别是在 2009 年的中国科学院重点实验室评估中, 在 20 个数理领域的重点实验室中取得了排名第一的优秀成绩.

建设国家重点实验室是 LHD 多年的奋斗目标, 在所领导和主管部门的高度重视和支持下, 2010 年 10 月 29 日 LHD 正式启动了国家重点实验室申请筹备工作. 2011 年 1 月 26 日上午, 由“国家科技部”基础研究司组织的专家组对 LHD 进行了国家重点实验室申请现场评估. 2011 年 1 月 27 日下午, 评估专家组听取了实验室主任有关国家重点实验室的申请报告. 2011 年 3 月 27 日, “国家科技部”正式批准了 LHD 的建设申请报告, LHD 进入了国家重点实验室的建设实施阶段.

高温气体动力学国家重点实验室将继续坚持钱学森先生倡导的科研理念, 遵照中国科学院开展基础性、前瞻性和战略性研究的办院方针, 面向国家航空航天和国民经济的重大战略需求, 以突破高超声速科技的关键技术为主要目标, 研究在高温高超声速极端条件下, 具有分子振动和转动激发、分子离解、电离等内态变化介质的复杂流动规律; 建立、完善高温气体动力学理论体系, 支撑高超声速科技关键技术的突破; 建设具有国

际水平和持续创新能力的高温气体动力学科研与人才培养基地.

## 1 实验室主要研究方向

高温气体动力学国家重点实验室(筹)以开展高温气体流动的学科研究为基础, 以支撑高超声速关键技术攻关为目标, 以实现科研战略从关键技术研究到关键技术集成研究的提升为宗旨, 进一步强化科研团队建设, 布局 5 个相互支撑的主要研究方向.

(1) 高焓热化学反应流动: 高温气体介质微团形态的物理化学变化, 通过热力学、热传导、热辐射、气动光学等过程显著地改变了高温气体宏观流动规律, 也改变了高超声速飞行器的气动力/热特性, 是高超声速飞行器设计必须解决的关键问题. 在该研究方向, 实验室重点研究: 先进的高温气体流动模拟试验技术; 高温反应气体流动机理; 激波支配的高超声速流动; 高超声速飞行器气动力/热规律; 高超声速飞行器热防护技术.

(2) 超声速燃烧与推进技术: 高超声速飞行发展的一个主要关键问题是吸气式推进技术, 其中很重要的一个研究方向是超燃冲压发动机. 构成该发动机的主要部件是进气道、燃烧室和尾喷管, 研究其性能以及部件之间的匹配机理和相互作用规律, 能够提高发动机的整体性能. 同时还需开展热防护研究, 保证轻质(满足飞行重量)发动机在恶劣热环境下长时间正常工作. 实验室重点研究: 不同物态碳氢燃料组织燃烧与推力特性; 气/固/液耦合传热机理与发动机主动热防护; 发动机轻量化结构设计方法.

(3) 气动构型理论与优化设计: 气动构型设计是高超声速飞行器研制的关键技术之一. 通过发展气动布局理论和优化设计方法, 开展一体化设计, 提升飞行器整体气动性能, 是飞行器工程设计思想的重大变革, 也是国际发展趋势. 实验室重点

研究: 鲁棒高效的优化设计方法; 优化气动构型的流动机理与几何参数关联规律; 普适的气动构型优化方法.

(4) 稀薄气体非平衡流动: 高超声速飞行器在 60 km 以上高空飞行时, 气体流态已经属于稀薄气体流动范畴, 具有高温的分子内态非平衡、高速流动结构非平衡等特点. 实验室重点研究: 高效稀薄气体数值模拟与地面实验技术; 稀薄气体效应及其影响规律; 飞行器稀薄环境下的气动性能和喷流控制规律.

(5) 热等离子体流动: 高超声速飞行器的飞行过程中, 空气的高温离解和部分电离将在飞行器的周围形成一个等离子体层. 等离子体的形成、流动、传热、传质等规律的研究是研究飞行器光/电/热/力特性的基础. 该研究方向的主要研究内容包括 3 个方面: 热等离子体的产生与流动状态控制; 热等离子体射流参数诊断; 热等离子体应用技术与高超声速气动烧蚀和热烧蚀实验研究.

## 2 建设期间的重点研究项目与进展

高温气体动力学重点实验室(筹)在建设期内除了继续开展在高焓热化学反应流动、超声速燃烧与推进技术、气动构型理论与优化设计、稀薄气体非平衡流动、热等离子体流动等 5 个方面基础研究的同时, 根据国家需求和实验室的发展规划, LHD 将重点完成复现高超声速风飞行条件激波风洞调试与测量系统研制, 开展突破主动冷却发动机关键技术的研究.

(1) JF12 高超声速激波风洞建设及高温气动问题研究: 实验室目前建设的 JF12 长实验时间高超声速激波风洞的装备总长 265 m, 试验段直径 3.5 m, 喷管出口直径 2.5 m, 具有复现马赫数 5~9 飞行条件的能力, 已经成为能够支撑国家重大科技专项高端实验的唯一设备, 也成为实验室深入开展高温气体流动实验的主要装备, 目前已经顺

利完成设备安装, 正在进行运行调试. 在国家实验室建设期间, 完成 JF12 激波风洞建设, 并开展相关气动问题研究是实验室的重点项目之一. 建设计划主要完成两个方面的科研工作, 一个是 JF12 激波风洞调试与先进测量技术发展; 另一个是应用 JF12 开展超声速燃烧基础研究. 研究目的在于探索地面模拟实验与飞行状态的差别来的高温气体方面的问题, 澄清困扰高超声速推进技术研究多年的难题, 支撑高超声速技术和国家重大专项的发展.

(2) 主动冷却发动机研制及超声速推进技术: 主动冷却发动机研究的核心是在保证发动机燃烧与推力性能的前提下, 把应用燃料的冷却过程与燃烧过程高度耦合起来. 该项目属于高超声速主要难题之一, 科研难度很大, 极富挑战性. LHD 突破了马赫数为 6 的飞行条件下矩形燃烧室主动冷却的主要关键技术. 即在马赫数 2.5、来流总温 1 500~1 900 K、总压 1.1~1.5 MPa、燃烧用油当量比 1.0、冷却用油当量比 1.8~2.4 等条件下, 主动冷却燃烧室分别顺利通过了 10 s, 20 s, 30 s, 60 s, 120 s, 200 s, 256 s 等多次燃烧试验考核. 通过试验, 摸清了主动冷却过程燃料温度、压力、流量等演化规律, 根据这些规律, 发展了燃料流量分配与控制技术. 试验结果表明, 燃烧约 60~80 s 后, 冷却系统出口油温与燃烧室结构温度达到热平衡. LHD 将重点开展以下 4 个方面的基础研究: 超声速燃烧机理与发动机推力性能优化研究; 发动机热环境研究; 气/固/液耦合传热机理与主动冷却技术研究; 发动机起动过程与亚燃/超燃模态转换技术.

高温气体动力学的学科研究进展是高超声速技术创新发展的原动力. LHD 将全力以赴完成高温气体动力学国家重点实验室的建设, 为推动我国新世纪空天科技的发展而努力工作, 艰苦奋斗.

# ESTABLISHING STATE KEY LABORATORY OF HIGH TEMPERATURE GAS DYNAMICS FOR NATIONAL DEVELOPMENT OF HYPERSONICS

JIANG Zonglin

Key Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China