

近代空气动力学研讨会论文集

祝贺庄逢甘院士八十华诞

俞鸿儒 主编

中国宇航出版社

近代空气动力学研讨会论文集

祝贺庄逢甘院士八十华诞

俞鸿儒 主编

中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

近代空气动力学研讨会论文集:祝贺庄逢甘院士八十华诞/俞鸿儒主编. —北京:中国宇航出版社,2005.1

ISBN 7-80144-900-2

I. 近... II. 俞... III. 空气动力学-文集
IV. V211.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127564 号

ISBN 7-80144-900-2



9 787801 449009 >

责任编辑 曹晓勇 装帧设计 姜旭 责任校对 朱叶

出版 中国宇航出版社

地址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2005 年 1 月第 1 版

2005 年 1 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 23 彩插 4 面

字数 620 千字

书号 ISBN 7-80144-900-2

定价 89.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部调换

《近代空气动力学研讨会论文集》

编委会

主编 俞鸿儒

编委	崔尔杰	郭尚平	何友声	乐嘉陵	李椿萱
	李家春	童秉纲	吴承康	张涵信	周 恒
	邓小刚	李 锋	毛国良	安复兴	曹建国
	邓宁丰	樊 菁	方 方	符 松	李 桦
	刘 桦	龙垚松	陆夕云	马晖扬	苗瑞生
	倪嘉敏	余振苏	孙 茂	屠恒章	王键平
	翁培奋	伍贻兆	叶正寅	于 涛	张庆兵

序

这本论文集,是由近代空气动力学会议部分论文选编而成。中国空气动力学的发展,特别是近代空气动力学的发展,庄逢甘院士做出了重大的贡献。这次会议,恰逢庄院士八十华诞,因此,也是对庄院士的祝贺。借助这一个序言的篇幅,我们介绍一下庄逢甘院士。

庄逢甘是继钱学森、郭永怀后我国空气动力学研究与发展工作的组织者、领导者和指挥者。他的工作业绩和科研活动无可争辩地说明,他是我国空气动力学界著名的专家和权威。在与他共同从事科研的工作中,我们觉得可在以下5个方面学习他的品德和立业精神:

1. 应用是气动研究工作的归宿

这不仅是因为他长期主管航空航天飞行器气动工作,而且是因为他抓住了学科的重要性。他认为,力学不仅是一门基础科学,尤其是空气动力学,它是一门技术科学。它把数学、物理、化学等基础知识融汇在一起形成近代气动力学知识,解决工作中提出的问题。因此,他主张气动工作者要钻研各方面有关的知识,了解世界学科发展的前沿,引进之后为我所用;他主张我们自己要奋发图强,创造解决气动难题的方法;他主张老、中、青学者要结合起来,集思广益发展解决问题的方法;他主张高等学校,产业部门和科研部门的同志要结合起来,取长补短,建立解决问题的新思路,他主张要建立必要的地面实验装置,计算机和飞行实验设备,用理论、计算及实验相结合的方法解决实际的气动问题。就是在这种思想指导下,我国航天飞行器发展中实际的气动问题基本上得到解决。在他这种思想指导所建立的四大项目组织:为解决飞机气动问题的7210学术组织,为解决战术导弹气动问题的8410学术组织,为解决航天再入飞行器气动问题的910学术组织,为解决神舟飞船气动问题的攻关组织,都取得了圆满的成功。

2. 重视基础研究

飞行器的设计,总要经过探索研究、预先研究,研制,改进等几个阶段,特别对于前两个阶段,已有的气动力学知识常是不够的,它要求有新的概念、新的方法和新的技术,因此必须进行创造新概念、新方法、新技术和新理论的基础研究。从学

科技发展上来看,进行基础研究也是完全必要的。学科发展上的每一新概念、新知识的提出,必能引起飞行器的更新换代:升力理论和阻力理论的发现,导致飞机的发展;可压缩气体力学的发展,导致跨、超声速的飞行;脱体涡流型的发现导致第三代飞机的发展;非定常动态流型和隐身技术的发展,导致第四代飞机的诞生。庄逢甘非常重视这些基础空气动力学的研究的发现。提倡要把基础研究搞好。他身体力行,在国家自然科学基金委的支持下,作为负责人、团结全国近20个单位约200人参加,先后组织了“激波、旋涡和非平衡起主导作用的流动问题”研究和“复杂气体流动中旋涡、分离的流动机理与控制”两个重大的基础研究项目,历时八年之久;接着他又作为顾问,支持组织国家教委和科学院负责的“流体及空气动力学关键基础问题研究”的重大攀登项目,历时4年之久。3个重大课题,均取得重大进展。最近,他又策划关心“空天安全”新基础研究和“湍流基础研究”两大课题的建立,并给这两大课题的研究提出了很多指导性建议。他还关心国家未来的气动发展,在制订发展规划中努力献计献策。

3. 重视研究中的创新

庄逢甘认为,基础研究必须创新。要站在学科前沿的基础上,走与众不同的道路,要有根本意义上的发展,要有重要的学术意义,在他这种创新工作思想指导和组织下,包括他在内的我国的气动工作者在基础研究上,确实有很多创新工作,例如,烧蚀理论,云粒子侵蚀相似理论,无波动无自由参数耗散差分计算和高阶紧致计算理论,分离旋涡流动的机理和控制,差分计算的摄动理论,无波动无自由参数的有限元理论,由自由分子流到连续流的离散算法及信息保存算法,爆轰风洞,冷冻风洞,流动显示技术,力、热量测技术等,都具有国际影响,使我国气动事业在国际上占有一席之地。

4. 重视人才问题

庄逢甘认为,一个研究单位,设备、仪器和建筑固然重要,但更重要的是人。他很赞同清华大学原校长梅贻琦的话:大学者,非谓有大楼之谓也,乃谓有大师之谓也。在对待人才问题上,和他同辈的一代人,他们相互分工协作,团结起来攻克要解决的难题,同时带动一批年轻人;和他晚一辈的一代人,号召他们刻苦钻研,能占有充分的资料,站在学术的前沿,站在已有知识的基础上开展工作。他提倡学术讨论不要害怕权威,敢于在学术上向权威挑战。他对年轻人取得的突破性进

展倍加赞赏,同时又指出学无止境,要谦虚谨慎,他最反对学术上弄虚作假。他在几个学校内任兼职教授,他热切地期望青年学生,能够成为有真才实学的空气动力学的接班人。庄逢甘对人才培养是做出很多成绩的,人们常说,他有“几大金刚”。人们也能看到,在空气动力学领域新当选的院士中,有不少是直接受过他教诲的人。

5. 甘为人梯

庄逢甘为人正直,他从不夸张自己的科研成绩,对于学术论文,他从不与合作者争名次。他在国际会议上作报告,总是分清自己和他人的工作,并力争把他人的工作介绍清楚。我们的不少同志,所做的工作只在国内发表,但国外很快就知道了,并且加以引用,这都是庄逢甘同志实事求是介绍的结果。他这种甘为人梯的精神,使很多人受益。

庄逢甘先生以他崇高的做法和睿智影响着无数的气动人。他主张的“气动实验设备建设是基础,实验是重点,计算是关键,创新是核心”,指导着我国气动事业的发展。他以他坚实的业绩在空气动力学界建立了丰碑。今天,在庄逢甘院士八十寿辰之际,让我们祝他健康长寿,为我国的空气动力学事业做出更大的贡献。

本次会议,由中国空气动力学会、中国空气动力研究与发展中心和中国航天空气动力技术研究院主办,由中国力学学会、中国宇航出版社、中国航空工业空气动力研究院、中国科学院力学研究所、清华大学、北京大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、国防科技大学、上海大学、上海交通大学、中国科技大学、北京理工大学、装备指挥技术学院、中科院研究生院、中国航天科技集团公司一院一部、一院十四所、五院和中国航天科工集团公司二院二部、三院、066基地等二十二个单位协办,在此一并表示深切感谢!

俞鸿儒 张涵信

2004年10月

目 录

庄逢甘院士传略与学术成就简介	张涵信	崔尔杰(1)
庄逢甘院士和航空气动力技术研究院	毛国良	李 锋(7)
庄逢甘先生与中国空气动力研究与发展中心建设	王希山	张志忠(13)
空天技术发展与现代空气动力学		崔尔杰(18)
飞行和游动生物流体力学研究在国内的若干进展	童秉纲 孙 茂	尹协振(27)
爆轰驱动现象的发现和应用		俞鸿儒(39)
基于动态演化的最优化方法	张涵信	沈孟育(49)
层流—湍流转捩的“breakdown”过程的内在机理	周 恒 罗纪生	王新军(54)
非对称涡流动特性和主动控制及其应用		邓学莹(61)
非烧蚀热防护与非烧蚀机理		姜贵庆(74)
空气动力技术和特种飞行器的发展		李 锋(80)
充分发挥小风洞在型号气动研究中的作用	陈 谟	马汉东(86)
微可压缩模型(SCM)的研究及应用	邓小刚 庄逢甘 向大平	毛枚良(94)
基于变可信度模型管理的气动外形优化设计方法	高正红	左英桃(108)
不可压和可压缩湍流的多尺度方程组	高 智	庄逢甘(116)
平板边界层转换过程中的低频信号	龚安龙 李睿劬	李存标(135)
庄逢甘与现代飞行力学研究		关世义(144)
空中发射高超声速飞行器投放过程数值模拟	郭 正 刘 君	王 巍(148)
飞行器气动隐身一体化设计方法研究	何开锋 钱炜祺 刘 刚	许 勇(154)
多块对接网格技术在电磁场散射问题中的应用	赫 新 陈坚强	邓小刚(161)
返回舱跨声速动稳定特性	贾区耀 陈 农 杨益农	方 方(169)
运载火箭—卫星热耦合分析的方法		李凰立(175)
细长机翼摇滚的数值模拟及物理特性分析	刘 伟	张涵信(181)
我国运载火箭气动设计回顾		倪嘉敏(189)
求解 Euler 和 Navier-Stokes 的多维迎风格式	任玉新	孙宇涛(196)
超声速自由剪切层二次失稳过程的数值模拟	沈 清 袁湘江	张涵信(205)
W 型无尾气动布局流动机理研究	孙 静	张彬乾(214)
横向喷流干扰流场结构研究	童木华 李素循 倪招勇	王军旗(220)
重复使用运载器气动性能 CFD 研究	王国辉 王小军 杨 勇	余梦伦(228)
机翼弹性振动对气动特性影响的实验研究	王晋军	伍 康(237)
一个统一的空气动力与力矩的导数矩理论	吴介之 陆夕云	庄礼贤(243)
双方程湍流模型源项数值处理的进展与研究	杜 涛	吴子牛(253)
采用 LES/RANS 混合模式研究分离流动	肖志祥 陈海昕	符 松(263)
栅格翼水洞测力	姚 琰 罗金玲	毛鸿羽(274)
高超声速远程机动飞行器气动特性研究	叶友达 卢 笙	张涵信(281)

弹性振动翼对流场和气动性质的影响·····	叶正寅(288)
球形 Couette 流多重周期解的数值研究 ·····	袁 礼(293)
基于非定常流场数值模拟的俯仰阻尼导数计算方法·····	袁先旭 张涵信 谢昱飞(301)
激波、分离等复杂流动现象对扰动波传播的影响 ·····	袁湘江 张涵信 沈 清 涂国华(310)
混合网格上的湍流模型应用研究·····	张来平 杨永健 王振亚 张涵信(318)
再入飞行器气动设计·····	张鲁民(328)
子母弹分离非定常气动特性数值模拟·····	张玉东 纪楚群(333)
Kolmogorov 方程、Yaglom 方程和亚格子模型 ·····	张兆顺 崔桂香 许春晓(339)
庄逢甘院士对我国风洞建设做出的重大贡献·····	朱孝业 贾英胜(344)
空气动力外形的优化计算·····	朱自强(348)

庄逢甘院士传略与学术成就简介^①

张涵信¹ 崔尔杰²

(1 中国空气动力研究与发展中心, 绵阳 621000;

2 中国航天科技集团航天空气动力技术研究院, 北京 100074)

庄逢甘 1925 年 2 月 11 日出生在常州。1931 年“九一八”事变, 日本帝国主义侵略我国东三省。不久, 日本侵略军打到上海, 中华民族遭到空前劫难。对侵略者的仇恨, 使他从小立志寻求航空报国之道。1942 年, 庄逢甘中学毕业后, 他决定学工程, 进入交通大学, 选择了航空工程系航空发动机专业。二战后, 世界航空技术发展的重心由德国转移到了美国。为了实现在航空工程领域有所作为的梦想, 庄逢甘考虑应该跨出国门, 去接受更优越的现代教育, 去学习更多的科学知识。1947 年仲夏, 在上海交通大学毕业后留校任教的庄逢甘, 远涉重洋, 来到美国加州理工学院求学。加州理工学院云集着爱因斯坦、摩根、冯·卡门等世界级科学大师, 被誉为“诺贝尔奖”得主的摇篮。1949 年在加州理工学院建立古根海姆喷气推进中心, 钱学森时任该研究中心的主任。庄逢甘有幸得到钱学森学识上的指导。这样一个优越条件对于立志献身于航空事业的庄逢甘来说, 无疑是千载难逢。从此, 庄逢甘师从国际著名流体力学家李普曼教授, 继续致力于航空工程和数学专业研究方向, 开始了力学领域最艰巨的湍流难题的研究工作。庄逢甘凭借着正确的物理模型和擅长的数学分析方法, 揭示复杂现象的本质, 准确估计物理量之间的数值关系。在湍流统计理论的论文中, 以其杰出才华和独到见解, 1950 年获得了加州理工学院航空和数学博士学位。1950 年 6 月到 1950 年 8 月, 受聘担任加州理工学院研究学者。

新中国诞生的喜讯传到大洋彼岸。祖国需要发展科学技术, 祖国需要建设人才。庄逢甘毅然放弃了在美国已经获得的荣誉、地位和优裕的工作、生活条件, 听从祖国召唤, 重新踏上了阔别多年的故土。当年的《人民日报》在显著位置刊登了庄逢甘等首批回国人员的名单。庄逢甘满怀振兴中国航空的宏图大愿, 全身心走进发展我国近代力学事业的浩荡行列。1979 年, 庄逢甘加入中国共产党。

1950 年庄逢甘回归祖国后, 很快受聘担任他的母校上海交通大学数学系副教授。一年之后, 经知名学者周培源、钱伟长推荐, 他被调入中国科学院数学研究所任副研究员, 来到数学家华罗庚和物理学家周培源的身边。1953 年, 哈尔滨军事工程学院成立。经上海交通大学马明德教授推荐, 陈赓大将点将, 调庄逢甘到哈尔滨军事工程学院任空军工程系教授, 主讲空气动力学。时年 28 岁。

1956 年 4 月, 周恩来主持中央军委会议, 听取了钱学森关于发展导弹技术的意见。同年 10 月 8 日, 中央决策成立了国防部第五研究院, 即导弹研究院。1957 年 2 月 18 日, 周恩来签署国务院令, 任命钱学森为五院院长。由钱学森提名, 庄逢甘博士担任五院下属的空气动力研

① 注: 有关庄逢甘的史实性记载, 散见于书刊报章, 本文引述时不一一注明出处, 谨此向作者们深表谢忱; 作者还特别感谢陈河梧同志为准备此稿所付出的努力和作出的贡献。

究室主任。1956年到1985年,空气动力研究室建制扩大成研究所,隶属五院三分院,庄逢甘在此期间出任空气动力研究所副所长、所长、三分院副院长。从此,在学界泰斗钱学森的直接指导下,庄逢甘开始了作为新中国航天空气动力学学科带头人的长期经历:1978年到1983年任七机部一院副院长,兼中国空气动力研究与发展中心副主任,1982年到1988年任航天工业部总工程师,1989年到1993年任航空航天部科学技术委员会副主任,1993年到1998年任中国航天工业总公司科学技术委员会副主任、常务副主任,1999年到2002年任中国航天科技集团公司科技委主任,2002年6月起,担任中国航天科技集团公司高级技术顾问。庄逢甘是第三届全国人大代表,全国政协第五届委员、第八、第九届常务委员。

1980年3月,庄逢甘当选中国科学院物理学数学部学部委员(院士)。1985年,庄逢甘当选国际宇航科学院院士。1985年,钱学森为首的7位专家因对我国战略导弹技术的重大贡献而获得全国科技进步特等奖,庄逢甘是获奖者之一。中国科协第三次全国代表大会在1986年6月23日推选庄逢甘为中国科协副主席。庄逢甘并且担任国家科委理论与应用力学学科组副组长。1990年庄逢甘享受政府特殊津贴。1991年被航空航天部批准为有突出贡献的老专家。1993年获航天奖。1995年获何梁何利基金奖。2004年获得光华科技成就奖、载人航天突出贡献者奖章和证书。此外还曾获美洲中国工程师学会成就奖。

20世纪中叶,人类进入了空间技术时代。美苏大国之间在洲际导弹、卫星、载人飞船等方面的竞争日趋激烈。空气动力学家面对的已是航空领域少见的复杂而严峻的气动力/气动热环境。于是,空气动力学自然成了力学研究的前沿领域。庄逢甘正是在这种学科大发展的形势下,接受了发展中国导弹和航天气动事业这一庄严的历史使命。在已经过去了的将近半个世纪的日子里,庄逢甘不负重托,以一个科学家特有的稳健和睿智,始终思索着航天技术的需求,从宏观上牢牢把握住学科发展的方向,运筹和组织中国航天空气动力学研究事业的开创壮大和发展。

1956年,钱学森要求庄逢甘三年内完成四项任务:提供设计各种型号所需的空气动力资料;编撰高速空气动力学手册;着手建立现代化的空气动力学实验室;适当开展具有关键性及有发展前途的空气动力研究工作。随即,庄逢甘统领当时全部18位刚迈出校门的大学毕业生,借居北京车道沟空军疗养院,开始艰苦的创业。由于空气动力学的发展极大地依赖于实验设备的建设,庄逢甘按照钱学森的指示,于1957年8月起草了第一份中国航天空气动力学试验基地的设备建设规划,其中包括16座各种类型和尺寸的风洞。1957年10月,中苏双方签订了五院空气动力研究所建设工程协定,庄逢甘任工程的负责人。1960年8月苏联单方面撕毁合同,协定的实施受阻。在外援中断和严重自然灾害的困难条件下,老一辈革命家邓小平、陈毅、薄一波、刘澜涛、安子文等亲临空气动力研究所视察,鼓励科技人员奋发图强,继续试验基地的建设。从风洞设计、加工、安装、调试到投入型号实验,庄逢甘一直在第一线主持和领导了设备建设的全过程。在不到五年时间里,建成了从低速到高超声速风洞试验设备9座,风洞性能指标达到预期的设计要求,全面完成了北京基地工程项目的建设,满足了火箭、导弹技术发展配套试验项目的基本需求。钱学森对此做过高度评价:在基础条件不好的条件下,我们只用了美国一半时间,建成空气动力试验基地,初步掌握了跨、超声速生产性风洞的型号试验工作。此后,庄逢甘非常重视该项工程的扩展,进一步规划新型风洞的建设。1960年庄逢甘责成有关人员完成《新型风洞汇编》之后不久,就已经意识到激波风洞作为模拟高温环境和高超声速流场一种有效手段,因投资少,见效快,应当成为脉冲式设备的主要发展方向。他并且积极支持利用电弧技术开展材料烧蚀试验,使北京基地扩大了模拟马赫数和焓值效应的基本能

力,并针对航天器的特点,建立了高马赫数高雷诺数设备。

为了适应航空航天飞行器研制发展的需要,1962年庄逢甘作为中国专家代表团的成员赴苏商谈位于四川省境内的气动试验研究基地的建设。但对方不同意兑现原先的承诺,会谈未取得任何实质性成果。在这种情况下,聂荣臻元帅明确指示,第二基地的建设由我们自主承担。国防科委1964年成立的以钱学森为组长,沈元和庄逢甘等专家为副组长的空气动力学专业组(第16专业组),对全国空气动力学试验基地的设备建设作了全面规划。1970年5月“风洞建设指挥部”(后更名中国空气动力研究与发展中心)成立。钱学森、郭永怀和庄逢甘等领导了这个基地风洞布局的决策和风洞发展规划的深入论证。从1965年首座风洞设计起,到20世纪80年代陆续建成,庄逢甘一直是技术负责人之一。在他的正确决策和指导下,先后建成了1.2 m跨超声速风洞、0.5 m高超声速风洞、2 m激波风洞和200 m自由飞弹道靶,形成了气动试验新的规模,缩短了与世界先进水平地面试验能力之间的差距。

北京基地和四川基地的建成,奠定了我国航空航天空气动力学发展的基础,为我国的飞机、导弹、运载火箭、卫星、飞船等各种飞行器的气动试验和研究设计起到了重要作用,是我国空气动力学事业的重大成就。中国空气动力试验基地能有今天的发展规模,应当归功于先驱者的努力,而庄逢甘正是这样的先驱者之一。

1963年5月,钱学森指出空气动力研究所的首要任务是“保证型号研制及仿制中必要的气动试验,应以FD-06(0.6 m×0.6 m跨超声速风洞)、FD-08(0.76 m×0.53 m亚跨声速风洞)、FD-09(3 m×3 m低速风洞)为重点,搞好设备配套,使这三个风洞的潜力充分发挥,力争完成吹风任务和校正任务。”庄逢甘遵照钱学森的指示,在1963年10月主持召开了国内第一届气动力试验工作年会,确定了生产性风洞流场的合格标准和常规试验技术过关的要求。他并且带领科技人员通过导弹型号的气动反设计,综合发展了尼尔逊、列别捷夫等国外专家的理论工作,组织编撰了《有翼飞行器气动力计算手册》,这一系列举措对风洞试验和流场规范的建立,以及理论工作在更广泛层面上的展开,起到了重要的推动作用。

1963年,庄逢甘为了全面贯彻钱学森关于气动研究要为型号服务的思想,专门制定了国内第一个战术导弹气动研究大纲。大纲的实施,为战术地空导弹1965年12月飞行试验圆满成功创造了条件,有效地推动了战术弹气动研究的深入。

20世纪60年代初,针对导弹飞行通过跨声速区可能产生严重的弹体抖振,庄逢甘授命崔尔杰创建航天领域国内第一个非定常气动力与气动弹性研究工程组,并亲自指导了非定常流场和复杂结构的模拟,以及抖振问题的攻关。他特别强调要从理论和风洞试验的结合上找到与抖振载荷相关的特征量,给出可用于导弹气动设计的工程预示方法。经过10年的努力,北京空气动力研究所在国内率先建立起完整的抖振脉动测量和数据处理系统,并使动力响应和结构载荷的工程预示进一步实用化,对完成地地弹道导弹和运载火箭等多种航天型号的试验、保证型号研制和成功试飞具有重大的实用意义。

在高超声速飞行范围内,由于飞行器周围空气的强烈压缩和摩擦,造成了摄氏几千到上万度的高温环境。庄逢甘早就认识到,远程导弹弹头的再入和人造卫星的返回,必须跨越“热障”这一关。从1961年开始立项“战略弹头烧蚀防热研究”,亲自参加和指导展开这一方面的研究工作。1963年8月28日,钱学森提议由庄逢甘负责烧蚀防热气动理论、烧蚀实验和测试技术的研究。庄逢甘针对钝头体弓形激波后混合流区域中高温气体引起防热材料产生熔化、碳化、升华等物理、化学现象,确定理论计算和地面模拟的各项研究课题,构建全国性的联合攻关网络,共同探索再入弹头行之有效的防热途径。1964年1月,庄逢甘在《115烧蚀会议》上报告了

“关于烧蚀理论计算方法的探讨和有关问题”。接着3月2日在《全国烧蚀研究座谈会》上作了“有化学反应和质量引射的附面层若干理论问题”的报告,以他的才学和预见,带领着有关研究人员向烧蚀防热这一重要领域全面地进军。学界公认,庄逢甘是国内最早从事弹头烧蚀防热研究及多学科综合分析工作的开拓者之一。

20世纪60年代中期以后,远程火箭及返回式卫星列为航天工程新的发展目标,再入气动研究成为关键技术之一。钱学森以航天科技战略家的远见卓识,精心运筹再入飞行器的气动研究,并将之定位为远程火箭研制中的一次“淮海战役”。为了打好这场战役,庄逢甘组织了全国性的理论—实验—设计人员参加的三结合小组,充分发挥风洞试验、理论计算和飞行试验三大手段的优势,集中力量攻克型号研制中急需解决的关键技术,先后在国内外学术会议上发表了“再入问题的理论与实验”、“再入气动理论和实验评述”、“气动方程的数值模拟”等多篇论文,从型号需求和学科发展更广泛的层面上专门论述再入飞行器应着重研究的气动力、气动热和气动物理等多方面的问题。到70年代中期,这一组织形式进一步形成一个跨部门多学科的横向联合攻关的、以系统工程管理为模式的协作攻关机构。庄逢甘一直是这个机构的技术负责人。再入气动研究这一工程突破“热障”关,取得了解决气动外形设计和再入稳定等重要成果,攻克了再入飞行器的气动、防热和再入物理多项重大技术关键。一系列研究成果为1980年5月我国远程火箭的飞行试验成功起到了重要的保障作用。

作为航天型号气动研究的带头人,庄逢甘还出色地领导了返回式卫星和各类战术导弹型号的气动问题研究,相继解决了型号研制中的诸如稀薄气体动力学、多体分离、气动布局、动稳定性、回收气动技术等大量气动问题,为这些飞行器的研制成功建立了不可磨灭的功绩。

进入20世纪80年代,世界各国掀起了载人航天的热潮,各类空间计划相继出现,空间竞争此起彼伏。面对国际上耗资巨大的航天开发计划,庄逢甘思索着航天高科技给国民经济发展所带来的活力,倍感肩负重任。为此,他全力投入到中国空间计划发展蓝图的制订中去,亲自主持载人航空气动力学关键问题的研究,准确地提出载人航天涉及的空气动力十大关键课题,带领我国气动研究工作者迎接新的挑战。

随着计算机技术的发展,计算空气动力学成为空气动力学学科领域研究中的又一重要手段。早在1960年,在计算机初具运算能力条件下,庄逢甘就组织人力着手相应的研究,先后开展了积分关系法(1960年)、半特征线方法(1961年)、费里反解法(1963年)、线化特征线法(1965年)、时间相关法(1968年)、NS方程求解(1971年)和直线法(1977)等计算工作。他更对有随机边界条件的NS方程进行了长期的研究,早期在“论湍流衰变”一文中,引入了双尺度湍流概念,引起学术界高度关注。庄逢甘一直积极倡导发展计算空气动力学,1978年4月,他策划倡导召开了全国宇航飞行器计算空气动力学会议。会上他做了题为《计算空气动力学的发展和任务》的报告。根据钱学森的指示,庄逢甘筹划了中国空气动力研究与发展中心计算空气动力学研究所的具体组建工作。庄逢甘亲自承担了计算空气动力学研究课题,在国内外学术会议上先后发表了《计算空气动力学的发展、意义和作用》、(1981年全国第一届流体力学数值方法讨论会)、《再入空气动力学问题与计算空气动力学》(全国计算物理会议)、《高速黏性流的数值计算》、《跨声速空气动力学的有限元法研究》等多篇论文。1982年7月,在他主持召开的“第1届全国计算流体力学学术会议”上,发表《计算空气动力学的回顾和展望》的主题报告,全面论述计算空气动力学研究工作的最新进展,积极推动计算结果实用化、计算基本方法、数值方法与工程模型结合、计算理论与力学计算模型,以及计算机用于推导公式、网格生成、流场显示等方面的研究工作。1986年,庄逢甘担任“第10届国际流体力学数值计算会议”主席,

并与张涵信合作研究和发表了《求解气体动力方程的匹配迭代方法》一文,解决了在计算流场内存在局部亚声速小区时的计算不稳定难题,在国际上引起广泛的重视。1987年,他在美国航空和宇航学会的“AIAA第8届计算流体力学会议”上以《中国计算流体力学》为题,全面介绍我国计算流体力学的最新成就。他和同行一起用NND格式求解复杂流动问题,已获得很有价值的计算结果。1989年庄逢甘成为国际计算流体力学会议科学委员会成员,为祖国争得了很高的荣誉。

世界航空航天技术的突飞猛进,推动着流体力学跨向一个全新的发展平台,正在引起流体力学研究领域产生深刻的变化。为此,庄逢甘非常重视流体力学前沿问题的研究,十分注重新观点、新概念、新方法和新理论的探索。他经常强调:空气动力学研究没有创新,也就不会有发展。1989年,庄逢甘知难而上,主持建立了国家自然科学基金重大项目《旋涡、激波和非平衡起主导作用的复杂流动》课题,带领百余名学者,对非定常流和旋涡运动,从理论、实验和数值模拟等方面,开展了系统研究,取得了重大进展,发表研究论文300多篇。1993年,该项目通过了由国家基金委组织的专家组评审验收。专家组认为,该项研究工作总体上处于国际同类工作的前沿,许多研究成果具有明显的创造性和特色,如分离流和旋涡的流场分析、数值计算的高精度和高分辨格式、涡控制技术、稀薄气体流动的数值方法和激波动力学研究等成果,均达到国际先进水平。在“第18届国际航空科学大会(ICAS)”上,庄逢甘根据本项目的研究成果以《涡控制技术》为题所做的专题演讲(后收编入《非定常流与涡运动》专著),荣获大会颁发的古根海姆奖。该前沿课题包含旋涡的生成、发展与控制,复杂激波系相互作用,以及非平衡流动极其丰富的物理内容,孕育着下一代航空航天飞行器的很多新概念,有很大的发展前景与应用价值。在庄逢甘的指导下,其后续课题《复杂气体流动、旋涡分离机理与控制的研究》又被列为国家自然科学基金重大项目,研究工作继续活跃在国际流体力学的前沿领域。

近年来,庄逢甘院士又投入很大力量关注我国空天技术的未来发展和国家空天安全等重大问题。1999年前后,他与中科院的郑哲敏、张涵信、崔尔杰、周恒等院士就对有关国家空天安全重大基础科学问题做了深入考虑。2001年上半年他带领由中国科学院数学学部和技术科学部中与力学有关的部分院士组成的考察团对位于成都地区、沈阳及北京的与航空航天有关研发及生产单位进行了调研,就其中的关键问题与有关科技人员进行了广泛的交流。后又主持召开了针对空天技术发展的“香山科学会议”和多次专题研讨会。在充分调查研究的基础上,明确提出:空天安全是国家安全的命脉,为发展未来空天技术,需要人力加强有关重大基础科学问题的研究,而目前对基础研究重视不够是一个相当普遍存在的现象,严重制约了自主创新和形成适应未来发展所需技术储备的能力。他一再呼吁:要将与空天技术发展有关的若干重大基础科学问题列入国家重大研究计划。2001年12月他在题为《空天安全的若干重大基础问题》的专题报告中,强调指出:我国与国际总体水平相比还存在较大差距,因此,需要我們加强基础研究,立足源头创新,抓住若干重要方向,组织好跨学科、跨部门的合作,给予稳定支持,并加大支持力度,提供宽松的科研环境,完全有可能取得世界领先水平的成果。他与多位院士们在这方面所做的努力,对推动我国空天技术的发展起到了重要作用。

庄逢甘长期担任科研机构的领导和技术攻关指挥,他深知要使一个研究所能够站在当代科研发展前沿,必须大力培养业务骨干和学术带头人。忽视这一点,这个所肯定形不成主攻方向,形不成“拳头”,没有特色。所以,庄逢甘一直十分注意发现人才,培养技术“尖子”。1956年创业之初,他就亲自为刚到工作岗位的大学毕业生讲授空气动力学,让大家充分掌握必须的基础科学知识。在不断的研究实践中,他更摸清了研究人员的成长规律,择优而进,物色苗子,

压重担,很快地把他们带到学科发展的前沿阵地,一批学术带头人脱颖而出。他的许多学生和助手始终活跃在气动研究的各专门领域,独树一帜,成为学科攻坚团队的重要骨干。现在,庄逢甘仍担任北京空气动力研究所名誉所长,北京航空航天大学兼职教授、博士生导师,直接指导空气动力学及实验力学两个博士研究生点。他治学严谨,为学生讲课一丝不苟,严肃认真。他培养的人才一个个走向科研第一线,担纲重要课题,成为有创造性,有独立见解,有开拓能力的新生力量。

系统工程是20世纪60年代开始兴起的一门新学科。庄逢甘作为中国航天型号发展中空气动力学总的技术负责人,具有比旁人更敏锐的眼光去接受钱学森的系统工程思想,并应用于再入弹头气动攻关工程中,建立一个全国跨部门、多学科、横向联合的研究体系,以型号为牵引,围绕若干技术关键问题,有效地利用人力、物力和现有科技成果,解决了再入弹头的气动、隔热和再入物理多项重大技术关键问题,形成了具有特色的中国气动研究和发展模式。

钱学森始终认为“空气动力学是一门非常重要的、富有生命力的学科”,他在1978年的全国力学规划会议建议成立全国空气动力研究会。庄逢甘为此进一步提出建会的框架构想。1980年6月中国空气动力研究会第一次会议在上海举行,庄逢甘当选为第一届以及后来改称为中国空气动力学会的历届理事长。自1980年以来,他与陆士嘉等著名学者倡导国内极有影响的“分离流与涡运动学术会议”、“跨声速流学术会议”、“高超声速流学术会议”,并亲自主持历届学术会议的召开,为促进国内和国际学术交流做出了重大贡献。庄逢甘曾担任中国力学学会理事长,中国航空学会的副理事长,是《空气动力学报》和《宇航学报》的主编。他还是美国航空和宇航学会的高级会员,并曾担任美国《飞机杂志》的国际编委。1989年11月到1990年9月,他接受美国加州理工学院的荣誉特邀,以 Sherman Fairchild 卓越学者身份去美国进行学术访问讲学,并且多次出访美、英、法、德、意大利、比利时、日本、俄罗斯等国家,活跃在国内外力学界、航空航天界的学术论坛。他并在不同时期以负责人或顾问的身份在空气动力学的发展方向研讨和制定全国性研究规划等方面起了决定性的作用。

庄逢甘共发表论文(专著)100多篇(部),对空气动力学技术做出多方面开拓性贡献。他集群雄,建设备,攻难关,克关键,承先启后,开拓新兴领域,推动气动事业大发展。他为航天的矢志,他的为政,他的为人,乃至他的为师,在气动学界堪称典范。

庄逢甘院士和航天空气动力技术研究院

——祝庄院士八十华诞

毛国良 李锋

(航天空气动力技术研究院,北京 100074)

1 前言

中国航天空气动力学的发展经历了几十年的历程。当神舟飞船胜利升空和成功返回时,航天空气动力学研究工作者们可以为之骄傲的是,我国航天空气动力学的研究已步入世界先进行列。而与此同时,我们由衷地回忆起庄逢甘院士——我国航天空气动力学的奠基人——在它的发展中作出的不可磨灭的贡献;当航天空气动力技术研究院不断发展壮大时,我们真切地感受到庄逢甘院士——航天空气动力技术研究院的创始人——在它的成长中所作出的巨大努力和继续给予的不断关心。今天,值此庄逢甘院士八十华诞之时,愿从我们体会到和感受到的若干方面回顾庄逢甘院士在我国航天空气动力学的发展和航天空气动力技术研究院的成长中所做出的重要贡献,也愿以此表达我们对庄逢甘院士的崇敬之情。

2 早期创业呕心沥血

1956年12月,航天空气动力技术研究院的前身——国防部第五研究院空气动力研究室(代号七室)成立,刚过而立之年的庄逢甘受钱学森的委托,担当了空气动力研究室的技术负责人。从此,这位才华出众的、师从国际著名流体力学专家李普曼教授的、美国加州理工学院的航空和数学博士带领18位刚刚跨出大学校门的学子,开始了中国航天空气动力学的创业生涯。

受命之初,钱学森要求庄逢甘三年之内完成四项任务:提供设计各种型号所需的空气动力资料、编撰高速空气动力学手册、着手建立现代化的空气动力学实验室和适当开展具有关键性及有发展前途的空气动力研究工作。我们今天来重温这创业的源头,实际上就是研究手段的建立以及空气动力学为型号设计服务和空气动力学的学科发展,它仍然是我们空气动力学研究工作者的任务。

首先,庄逢甘为研究手段的建立付出了艰辛的努力。1957年8月,庄逢甘按照钱学森的指示起草了第一份中国航天空气动力学试验基地的设备建设规划,其中包括了16座各种类型 and 尺寸的风洞。几经变化,后来就形成了著名的8108工程。在20世纪50年代末到60年代初,庄逢甘领导了这一庞大工程的建设,在中国第一个空气动力研究和试验基地,即北京基地,先后建成了低速风洞、跨声速风洞、跨超声速风洞、高超声速风洞、电弧加热器和电弧风洞等共9座风洞,同时建设了配套的高压气源和中压气源系统。从此,中国有了自己的比较完整的航

天空气动力学的实验研究手段,并立即投入了各种型号的空气动力性能的试验工作。在第一基地建设的中后期,庄逢甘在以钱学森为组长的空气动力学专业组(16专业组)担任副组长,参与了空气动力学研究和试验的四川基地建设的全面规划、风洞布局的决策和发展规划深入论证的领导工作,并充分利用北京基地的技术力量,为四川基地设计了众多风洞。

其次,庄逢甘遵照国防部五院空气动力研究室建立的宗旨,以为我国发展各种型号提供气动性能参数为己任。当时明确规定七室的基本任务是:保证各种型号气动设计需要的气动资料,并在设计院成立之前直接负责型号的气动设计。为了完成当时仿制和自行研制型号对气动的需求,庄逢甘带领年轻的气动研究人员从建立初步的试验和测量手段以及理论计算两方面同时着手进行工作。在庄逢甘的领导和组织下,20世纪60年代初,分别为低速风洞研制塔式机械四分量天平、跨声速风洞配置外框式油压膜盒天平、三声速风洞配置外式四分量天平,为高超声速风洞也研制了尾支杆式三分量应变天平。同时,为风洞配备了多管成组压力计,开展了薄壁热交换技术的研究。因此,在风洞建成后,具备了基本的测力、测压和测热手段,从试验方面保证了当时型号研制的气动性能参数的基本需求。在此基础上,庄逢甘不失时机地主持召开了第一届气动试验工作年会,确定了生产性风洞流场的合格标准和常规试验技术的基本要求,对以后的型号气动试验具有十分重要的指导意义。他又主持制定了我国第一个战术导弹气动研究大纲,为我国型号气动研究的规范化、程序化开创了先河,奠定了基础。庄逢甘也十分重视用理论和工程预示的手段提供型号的气动性能数据,在设备建设的同时,他又带领科技人员进行了理论上的探索,通过对导弹型号的气动反设计,掌握和发展了尼尔逊、列别捷夫等国外专家的理论工作,组织编撰了《有翼飞行器气动力计算手册》。正是在这些理论计算方法的指导下,在台式手提计算机上诞生了我国的第一批型号气动数据!

第三,庄逢甘十分重视学科建设和发展。他非常明确地指出,学科的发展是为了解决型号研制中提出的新问题和更好地为型号服务。20世纪60年代初期,大批刚跨出大学校门的学子,来到了这个从事国防科学研究的殿堂,学习的兴趣十分浓厚,研究的气氛非常活跃。庄逢甘给他们讲授第一课,确定研究方向并亲自组建课题组。在这一时期,开展了烧蚀防热理论研究,根据钱学森的建议,由庄逢甘直接领导该项研究。在相关会议上他提出了烧蚀理论计算方法的有关问题以及有化学反应和质量引射的附面层的若干理论问题;庄逢甘指示创建了航天领域国内第一个非定常气动力和气动弹性研究组并亲自指导了非定常流场和复杂结构的模拟和抖振问题的攻关;在具备计算机的初步能力之后,庄逢甘就组织人力开展了计算流体力学的研究,先后开展了积分关系法、半特征线法和费里反解法进行无黏流场的数值模拟;同时他指导进行了近似理论的研究,从严格的量纲理论分析出发的熵层理论的出现为以后的工程计算奠定了相应的基础。

总之,从创建到20世纪60年代前期这一艰苦创业的过程中,庄逢甘倾注了他的全部精力,为设备建设、型号气动研究和学科的发展做出了不可磨灭的贡献。

3 型号研究统率三军

作为中国航空气动力学研究的开创者,如前所述,庄逢甘一开始就带领了航空气动力学技术研究院的前身——北京空气动力研究所的年轻空气动力学研究工作者进行了型号气动研究工作。随着型号研制发展的需要,很多研究工作需要调动全国的气动研究力量。从远程火箭研究开始,庄逢甘自然成为了全国航天气动研究工作的统帅。他组织了全国性的理论一