

“老科学家学术成长资料采集工程”系列报道 353

庄逢辰的一生,都在和“燃烧”打交道。初遇“燃烧”是他的生日。1932年1月28日,淞沪抗战爆发,战火燃烧到上海。这一天,庄逢辰在江苏常州出生。又遇“燃烧”是他求学时。1953年,哈尔滨工业大学(以下简称哈工大)开设我国首个锅炉制造专业,读大三的庄逢辰被提前调出当老师,开始锅炉燃烧的教学与研究工作。1962年调入新成立的液体火箭发动机专业继续开展燃烧教学科研工作。再遇“燃烧”便是一辈子。1970年,庄逢辰被调到国防科技大学(原长沙工学院),历任燃烧理论和热学教研室主任、火箭推进技术教研室主任等职。以后的几十年里,他一直致力于液体火箭燃烧等领域的研究和应用。



庄逢辰(1932— )

中国科学院院士,液体火箭发动机和工程热物理专家,我国火箭燃烧研究的先驱,我国液体火箭发动机学科首批博士生导师,液体火箭发动机喷雾燃烧模型和数值仿真研究的创始人和开拓者。创立了多项液体火箭发动机燃烧模型和数值仿真方法,为多种型号的液体火箭发动机研制提供了新的分析工具和技术支持。完成我国第一部系统论述液体火箭发动机燃烧性能计算的专著《液体火箭发动机喷雾燃烧的理论、模型及应用》。获国家科技进步奖二、三等奖各1项,部委级一、二等奖9项等。荣立二等功一次。

筑梦“燃烧”

庄逢辰出生在战火年代,生不逢辰。父母反其道而为儿子取名“逢辰”,希望他终有一天遇上好时代。他在苦难中度过了童年和少年时代。切身的经历让他认识到,在强权世界里,落后就要挨打。他很早就萌生了不屈外辱、强我中华之心。

1949年,新中国成立,他终于“逢辰”。怀着工业强国的愿望,他考入浙江大学,一年后为尽快学到苏联的先进科学技术转到哈工大,进入机械制造本科专业学习。1953年,哈尔滨锅炉制造厂开始建设,哈工大开设了我国首个锅炉制造专业。离正式毕业还有两年时,庄逢辰被选拔出来担任教师,他一边听苏联专家讲课,一边参加锅炉教研室筹建工作,由此开启了一生的科研之路。

那时,庄逢辰每年都带学生到火力发电厂实习,经常看到由于煤燃烧不充分,导致锅炉结渣或者烧坏使锅炉停运。是否能解决这个问题?如何解决这个问题?责任心和好奇心让他萌生出研究煤的燃烧过程及锅炉燃烧的想法。可是,无论从当时苏联专家的讲课内容中还是从教科书中,都找不到答案。

恰巧,庄逢辰读了诺贝尔奖获得者、苏联化学家谢苗诺夫写的《燃烧与爆炸》,书中提到,火和电是推动人类技术前进的两个主要杠杆,但我们对于“年轻”的电的了解,较之对古老的火的了解要清楚得多。这让年轻的庄逢辰坚定了开展燃烧研究的决心。他在校内建了一系列燃烧研究试验台,为学生开设炉内燃烧过程和燃烧理论新课程。

1960年10月,庄逢辰被派往苏联莫斯科动力学院进修。次年4月,苏联发射世界上首艘载人飞船。听到这个消息后,庄逢辰认识到苏联载人飞船的研究水平很高,于是开始大量阅读与之相关、也与燃烧有关的液体火箭发动机方面的书籍。

液体火箭发动机是指以液态化学物质作为液体推进剂,通过液体推进剂的燃烧为发动机提供能源和工质的化学火箭发动机。他相信“祖国将来也一定会发射卫星和载人飞船,也需要解决火箭发动机的燃烧问题”。

1962年10月,庄逢辰进修期满,莫斯科动力学院希望他留下来继续工作,并资助他攻读副博士学位。但他义无反顾按时回国。

当时,哈工大已设立火箭发动机专业,他回国后即被调到火箭发动机教研室负责教学工作,为学生讲授“液体火箭发动机燃烧理论”课程,同时开展相关科研工作。

“或许是命运的安排,但最根本的还是国家需要,历史让我最终走上了航天科研之路。”庄逢辰说。

半个世纪的“微薄贡献”

20世纪60年代,我国研制东风导弹时常出现液体火箭发动机损坏、烧毁甚至爆炸等故障。虽然通过大量试车解决了问题,但没形成有效的设计理论和方法。

当时的国内外学者提到燃烧问题都有些无奈和信心不足。世界著名燃烧专家、美国加利福尼亚大学圣迭戈分校能源和燃烧研究中心主任F.A.Williams教授曾说:“液体推进剂燃烧过程相当复杂,很难对其进行严谨的分析和描述。”

这让庄逢辰认识到,要真正解决火箭发动机的燃烧问题绝不是一个短期行为。但他没想到的是,这项研究持续了近半个世纪。

20世纪70年代后期,我国计划发射地球



父母及兄弟姊妹合影。20世纪50年代,庄逢辰(后排中间)与

同步通信卫星,其中FY-20发动机研制是关键。这是“长征三号”运载火箭的一级发动机,其研制过程中不断发生燃烧问题。庄逢辰到研制单位上海航天局801研究所深入了解FY-20发动机研制情况,当时801研究所从诸多设计方案中选出了3种,要求庄逢辰对这些方案进行理论计算以确定最佳方案。

这一看似“简单”的研究用了8年多时间。庄逢辰不但完成了FY-20发动机燃烧室计算模型的课题研究,还开创性地建立了自燃推进剂的高压蒸发和燃烧模型,采用计算机数值计算方法给出了燃烧室内推进剂蒸发和燃烧参数的定量变化。

上海航天局对这个项目进行了鉴定,鉴定



20世纪60年代,庄逢辰(左)在苏联莫斯科动力学院与苏联导师讨论问题。

庄逢辰：一生献身「燃烧」推进火箭腾飞

很多想学想做的没有做,还需要努力。今年92岁的庄逢辰常说:「我知道的要比我想知道的少得多。我现在还有

李清廉 刘卫东 吴晋湘 本报记者 王昊昊

委员会主任是当时液体火箭发动机研究所所长、航天工业部液体火箭发动机专业委员会主任刘传儒研究员。鉴定意见认为,该项目研究建立的模型是国内外当时已有模型中考虑因素最多、最完善的。运用该模型计算的结果与试验结果符合较好,随后将其用于对FY-20发动机推力性能和稳定性的预测,并提出了几项设计改进预案。

之后,该模型在我国多个火箭发动机研究中发挥了关键作用。1984年,使用FY-20发动机的“长征三号”运载火箭,成功发射了我国第一颗地球同步卫星东方红二号。

彼时,火箭发动机燃烧的研究已取得一些成果,而庄逢辰与钱学森的一次简单对话,则进一步增强了他研究燃烧的自觉性和责任心,



上世纪80年代,庄逢辰(左二)指导研究生。



1983年,庄逢辰(右一)向燃烧专家F.A.Williams介绍液体火箭发动机燃烧过程综合模型的研究思路。

坚定了他从事发动机燃烧研究的信心。

事情是这样的。1970年,因哈工大内迁及专业合并,他进入国防科技大学应用力学系(后改名为航天技术系)工作。1979年7月12日,时任国防科委副主任钱学森到国防科技大学应用力学系召开教师座谈会,特别谈到液体火箭发动机专业相关话题。他说:“第二次世界大战后,液体火箭发动机出现过高频振荡,当时我以为是旋转爆震,不知是否有人继续研究?到底是什么原因,一直是个谜。”

庄逢辰顺着话题提问:“我大学学的是机械工程,后又搞锅炉燃烧,现在研究液体火箭发动机燃烧,是否转行太多了?”

“学锅炉好啊!我大学学的是火车头,也是锅炉呢!”钱学森笑着说,“锅炉和液体火箭发动机只是研究的工程对象不一样,但很多基础理论是相通的。你不但可以研究液体火箭发动机燃烧,火箭导弹中的很多问题你都能研究。”

钱学森还特别提出要从发动机型号研制转到科学上来的问题,包括搞清楚先进的发动机需要什么技术、什么理论;不同推进剂、不同的设计,发动机燃烧性能会不一样,能不能不单纯依靠试验,在理论上先算一算等。

此后,庄逢辰开始制定系统的液体火箭发动机燃烧过程综合模型的理论研究和实验研究规划,提出要研究8个模型和相应的试验装置,同时建设液体火箭发动机燃烧实验室。

这是一个宏大的计划,要建立包括高压单滴蒸发系统、高压单滴着火燃烧系统、高压喷雾特性系统等一系列完备的实验装置。依托这一套实验系统,可对液体火箭发动机的喷雾燃烧机理和过程展开系统研究,建立液体推进剂的雾化与蒸发、着火与熄火、湍流两相反流等模型。

经过多年努力,燃烧实验室终于建成,产出了一批应用于液体火箭发动机研制的研究成果,也培养出一批航天领域杰出人才。在这个燃烧实验室里所展开的研究,奠定了我国液体火箭燃烧领域研究的基石。

1986年3月,我国开始研发“长征三号甲”运载火箭。为此,需要研制更大推力的YF-75氢氧发动机和能够将卫星送入更高轨道的远地点发动机。庄逢辰分别与上海801研究所和航空航天部

北京11所签订了多项关键技术合作课题。

20世纪90年代,他成功研究出氢氧发动机燃烧室热态模拟计算通用模型和设计软件,对YF-75发动机燃烧过程进行数值模拟计算,为设计人员了解燃烧过程、正确选择设计参数提供了重要依据,同时也为研制采用MMH/NTO推进剂的远地点发动机提供了重要依据。

“现在回过头看,我只是作了微薄的贡献。”庄逢辰感慨地说,他在20世纪60年代初的愿望,终于在20世纪末和21世纪初看到了结果。

打败不稳定燃烧的“幽灵”

庄逢辰总能面向工程实践提炼重大科学问题。他认为,燃烧基础研究一定要走在发动机型号研制的前面,为型号研制提供创新的思想、技术和方法。

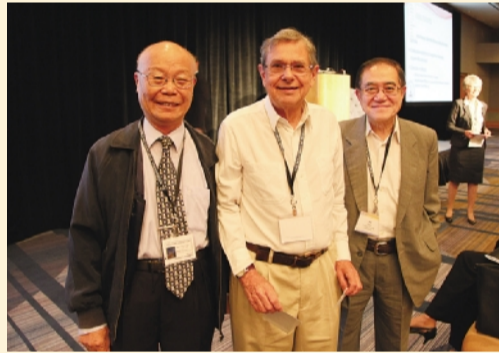
尽管燃烧现象很复杂,涉及诸多基础学科,但庄逢辰把重点放在钱学森说的分析问题、解决问题的方法上。他总结出一套独特而有效的燃烧理论学习方法,形成了观察现象、提炼模型、列出方程、计算结果、实验验证、做好分析的六步流程。

他善于抓住喷雾燃烧过程的本质特性,提出简单而又合理的模型,既解决了问题,又避免了复杂的计算过程。他的研究生阳波回忆说:“庄老师善于抓住物理要点的研究方法,深深影响了我以后的科研活动。”

早在1970年左右,庄逢辰就敏锐认识到液体火箭发动机燃烧过程的深入研究离不开计算机。据其学生陈新华回忆,那时计算机还很落后,用他们建立的液体火箭发动机燃烧模



1992年,庄逢辰(右一)带俄罗斯航空大学教授参观燃烧实验室。



2014年,庄逢辰(左)参加第35届国际燃烧会议,与F.A.Williams(中)和C.K.Law合影。

型对某型号发动机的燃烧过程进行数值模拟计算,需要通宵达旦连续计算。

“我们的计算程序内存要大,计算时间很长,往往在晚上进行,经常是在下半夜或第二天清晨才出计算结果。”经过许多次失败和挫折,庄逢辰终于了解了火箭发动机燃烧的具体过程及其与发动机结构参数、推进剂物性参数的关系,并与实际试车结果较好地契合。由此,他开创了我国液体火箭发动机燃烧数值仿真研究领域,研发了涵盖各种类型液体火箭发动机的数值仿真系统,并在我国的重大火箭型号中获得了应用。

20世纪90年代,庄逢辰将主要精力放在液体火箭发动机燃烧稳定性研究上。他一直记得钱学森说过的话,即液体火箭发动机不稳定燃烧问题还没有根本解决。因而,液体火箭发动机出现的不稳定燃烧的“幽灵”,一直萦绕在他的脑海中。

庄逢辰认为,液体火箭发动机发生不稳定燃烧,燃烧是主因,控制是外因,研究先要抓住根本再逐步进行。

当时801研究所承担神舟飞船推进系统研制任务,其中2500N推力的轨控发动机首次试车就遭遇不稳定燃烧导致失败,被列为载人飞船18项关键技术之一。

“此前国内没这方面的成功经验,更缺乏理论依据。”庄逢辰带领团队全力研究,用4年时间在国内外首次建立了MMH/NTO火箭发动机燃烧不稳定性数值评定方法,成功应用于神舟飞船的3种双组元发动机。2003年10月15日,我国首次载人航天飞行中,神舟五号飞船轨控发动机和姿控发动机的燃烧非常稳定,保证了飞船的成功变轨和返回。

1995年,庄逢辰出版了《液体火箭发动机喷雾燃烧的理论、模型及应用》专著。该书是我国第一部系统建立和详细阐述液体火箭发动机喷雾燃烧理论、建模和性能计算方法的专著。

值得一提的是,这本专著是他躺在病床上写出来的。1994年,庄逢辰因骨折需卧床治疗,这期间他整理了自己30余年的讲义、讲稿、研究报告、论文,对已有成果进行了系统梳理和凝练,创立了一个新的学科方向,即液体火箭

发动机燃烧理论与仿真。

专著出版后获得国内外航天专家一致好评。“两弹一星”元勋、中国科学院院士任新民以及中国工程院院士孙敬良都认为该书填补了我国该领域的空白。美国宾州大学推进研究中心Vigor Yang教授、俄罗斯莫斯科航天大学液体火箭推进教研室主任A.A.Sergienko教授以及F.A.Williams等科学家都给予了高度评价。

“他的指导极具大家风范”

从1954年开始,庄逢辰一直从事“太阳下最光辉的事业”,有近70年的教学经历。他一生奉行陶行知先生的教育思想,“千教万教教人求真,千学万学学做真人”,为国家培养了一大批高水平创新人才。

庄逢辰培养学生,首先注重学生的“德行”成长。他告诫学生,为人要“三老”,就是做老实人、办老实事、说老实话;做学术要“三严”,就是严谨、严密和严格。他为人师表,以身作则,与学生亦师亦友,注重用自己的榜样力量教育和引导学生成长。他表示,“教师的任务在于点燃学生心中的火种,激发学生自身的光和热。”

在哈工大留校之初,他就一心扑在教课上,曾带一批批学生到锅炉一线实习。其间因受限于空间狭窄,每次只得带几个学生进入锅炉内参观。他在二三十米高的锅炉上爬上爬下、钻进钻出,反复多次,每次都弄得又脏又累。

燃烧理论晦涩难懂,如何让让学生爱上这门课?20世纪60年代,庄逢辰花了一年多时间写出了当时作为保密材料的“5215”讲义,即燃烧理论讲义。70年代他编著出版了我国第一本液体火箭发动机推力室设计教材,其中两章专门讲燃烧,并于1977年出版。

为了使课堂上的抽象问题具体化,他做了很多形象的教具,尽管被玻璃多次划破手、胳膊曾二度烧伤、多次做自燃推进剂点火试验使身体受到毒性侵害,他也毫无怨言。为了让学生更透彻、全面地掌握燃烧理论,他总结出了一套学习方法。海军航空工程学院教授原渭兰说,庄老师的课极大激发了她的兴趣,让她爱上了这个专业。“我和很多同学一样,先是感觉‘原来燃烧这么有趣’,然后体会到燃烧学在理论和应用技术上的专深和广博,接着就以极大的热情投入到学习中”。

庄逢辰把创新作为博士研究生培养的基本标准。他认为学生也是科研团队成员,必须从实际问题中找研究方向,培养学生独立开展科研的能力。他对研究生的指导有三个特点:一是给予学生充分独立的探索空间,二是提供开放且前沿的引导,三是营造一个活泼严谨的讨论氛围。学生评价说,他的指导极具大家风范。

他培养的博士、中国工程院院士王振国说,庄老师对我国火箭发动机燃烧、超燃冲压发动机燃烧有历史性贡献,一是发展了液体火箭发动机燃烧理论,二是培养了一批燃烧研究领域人才。“庄老师不单是一位科学家,更是一位教育家。”

“燃烧”一甲子仍继续

庄逢辰一生都在不停学习,孜孜不倦地探索学科领域科技前沿。

20世纪70年代,承担研制变推力液体火箭发动机项目,开创液体火箭发动机燃烧数值仿真研究,80年代,解决“长征三号”运载火箭发动机燃烧问题,提出研究超燃冲压发动机的思想;90年代,出版我国第一部液体火箭发动机喷雾燃烧专著,倡议研究天地往返运输技术;2000年左右,推动爆震发动机技术研究;2010年之后,大力支持推动激光推进技术……

直到今天,已92岁高龄的庄逢辰仍坚守科研一线,他的一生都在“燃烧”自己,助力火箭腾飞,点亮星海长空,播撒航天火种。

他当年指导的前瞻性研究方向,如今已经结出累累硕果:变推力火箭发动机早已应用于我国探月工程,超燃冲压发动机技术取得了革命性进展,爆震发动机正在成为新型航天发动机的研究热点,并取得了重要突破。

庄逢辰始终保持对科学的好奇心,把热爱科学、探求真理作为毕生追求,把自己的全部智慧奉献给了对科学真理的不断探索。他时刻谨记钱学森说过的“Nothing is final”。他总是说,“我知道的要比我想知道的少得多,我能做的比我想要的少得多,我做的又比我能够做的少得多。我现在还有很多想学想做的没有做,还需要努力”。

作为我国液体火箭发动机燃烧模型和数值仿真研究的创始人和开拓者,庄逢辰因为在火箭燃烧领域作出的杰出贡献,于2001年当选中国科学院院士。2012年5月,中国工程热物理学会授予他“杰出贡献奖”,颁奖词是“他传承着‘两弹一星’的‘艰苦奋斗、无私奉献’之精神……六十载潜心燃烧研究,终硕果累累。一甲子燃烧精神绽放,溢桃李芬芳遍神州……”

但他认为,这是对他的鼓励和要求,他还要继续努力。他用128字的总结,表达了自己一生的思想、工作和追求:

一名教员,从事科研。党的教导,祖国需要。忠诚使命,追求理想。学实践论,深入实际。学习矛盾论,潜心钻研。勤学苦练,自己领悟。看准方向,迎难而上。哲人指点,好友相助。漫漫长途,上下求索。功夫到家,终有所获。以研促教,以教促研。教书育人,教学相长。培育后生,今已胜昔。科研成果,用于航天。夙愿虽遥,仅是起步。航天强国,尚需奋蹄。(作者李清廉、刘卫东为国防科技大学教授,吴晋湘为河北工业大学教授)