

潜心破解材料高温力学行为表征难题

——访重庆大学航空航天学院李卫国教授

本报记者 刘代荣



3月的重大校园,春风和煦,鲜花盛开,一派生机。

在重庆大学航空航天学院,记者见到了重庆市青年科技领军人才、力热能量密度等效原理原创者——李卫国教授。

李卫国长期从事极端高/低温环境下材料力学性能、强韧化理论及高温仪器设备研制的研究。他,原创性提出了一个可定量考虑温度对材料力学性能影响的新方法——力热能量密度等效原理。基于此原理,已针对金属、陶瓷、聚合物、岩石、半导体等多种材料体系建立了系列无需拟合参数的“温度/尺寸/压强相关性的力学/物理性能理论表征模型”;他,建立了适用于复杂热冲击环境的抗热冲击性能理论与实验表征方法,针对国外高温测试仪器设备对我国的技术封锁,自主研发了包括可实现复杂热冲击环境的高通量测试仪器在内的多类高温仪器设备。其在材料高温力学行为理论与实验表征方面的相关研究成果被国内外学者认为是该领域的重大突破。

谈及教学和科研工作,李卫国说:“作为一名从事航空航天教学的教师,必须深入学习、独立思考、立德树人,一心一意培养青年人才;作为一名青年科技工作者,要发扬科学精神、开拓创新、报效祖国,多出科研成果服务社会。”

创新

原创提出可定量表征温度对材料力学性能影响的新理论

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。随着现代科技的快速发展,各行各业对材料技术性能、技术标准和适应环境要求越来越高,极端环境下的材料力学行为表征成为科学研究的热点和难点。

李卫国作为一名长期从事航空航天相关领域研究的科技工作者,深知在极端高温、低温环境下,温度对材料力学性能有显著影响。他说:“从航空航天领域的角度来讲,高超声速飞行器在高速运行时其鼻锥、翼前缘温度可达3000摄氏度,在如此高温条件下,什么样的材料才能满足如此苛刻的服役需求,以及其力学行为会发生怎样的变化?这些问题一直困扰着科研工作者,也制约着我国相关领域的发展。此外,《我国未来航天科技战略规划》也指出:超高温下材料的热强度评价对国防武器装备的应用至关重要。”

早在2005年,还在清华大学做博士后研究工作的李卫国,便开始从事材料的高温力学性能表征的研究。“那时候,材料力学性能和温度之间的定量关系还没有被建立,例如要获取一种材料在不同温度下的断裂强度,只能靠实验。但材料高温断裂强度测试属破坏性实验,且存在样品制备周期长、试件难加工、测试样品尺寸局限、材料及测试费用高昂、特别是高温测试难以开展等难题。”李卫国说。



人物介绍

李卫国,现任重庆大学航空航天学院教授、博士生导师,重庆市青年科技领军人才,兼任中国力学学会固体力学专业委员会、力学名词审定工作委员会、对外交流与合作工作委员会等委员,国际应用力学协会 Fellow、中国空间技术研究院院士工作站专家委员会委员及材料技术专家咨询委员会委员,《固体力学学报》《力学进展》《表面技术》《应用数学和力学》等期刊编委。主要从事极端高/低温环境下材料力学性能、强韧化理论及高温仪器设备研制等研究,主持包括重大科研仪器研制项目、重大研究计划培育项目在内的国家自然科学基金项目6项,在包括 JMPS、IJSS、IJP、Eur. J. Mech. A-Solid、EML、JAM、JACerS、JECerS、CST、AIAA Journal 等期刊发表 SCI 论文 140 余篇,授权发明专利 10 余项。

从理论上进行研究,并寻找物理量之间的关联规律一直是科研工作者感兴趣的课题。为了从理论上定量表征温度对材料力学性能的影响,李卫国查阅了国内外大量相关资料,发现无现成的理论可供参考,因此亟须在高温强度理论上取得突破。经过不懈努力,并得益于他前期打下的坚实物理基础,2006年,李卫国原创性提出了一个可定量考虑温度对材料力学性能影响的新方法——力热能量密度等效原理。基于此原理,创新性建立了无需拟合参数的温度相关性断裂强度理论表征模型;提出了一个新的温度相关性屈服准则,首次建立了无需拟合参数的温度相关性屈服强度理论表征模型;并将力热能量密度等效原理成功拓展应用于金属、陶瓷、聚合物、岩石、半导体等多种材料体系的温度/尺寸/压强相关性力学/物理性能的理论表征,取得了系列创新成果,为材料在超高温、强辐照、超高压、强磁场、强化学环境、高过载和高应变速率及其组合等更广泛极端条件下服役行为的理论表征开辟了新途径。

李卫国的相关成果对国防和国家安全领域的部分关键材料温度相关性力学性能的获取节省大量实验成本,例如:单晶镍价格昂贵(单根试件高达60万-70万元),利用建立的相关理论模型可对其在不同温度下的强度进行准确预测,从而可避免高昂的实验成本;此外,李卫国的研究成果为不同服役温度下国防武器装备、航空航天所用关键材料强度的在线无损测量提供了一种新技术,避免了破坏性的高温强度实验,进一步为航天飞行器、在轨空间站等高端装备中关键材料的地面实时监测打下了坚实基础。

攻关

自主研发可实现复杂热环境的系列高通量测试仪器设备

在重庆大学航空航天学院,提及李卫国教授,都说他是一个科研上的“拼命郎”。为了解决材料高温力学行为表征难题,他会潜心科研,竭尽全力,不达目的不罢休。

谈及自主研发测试仪器时,李卫国说:“在世界航空航天发展史上,每前进一步都要付出巨大代价,甚至是用生命换来的。2003年2月1日,哥伦比亚号航天飞机在高温运行中左翼的隔热层被击中。在返回穿越大气层时与空气剧烈摩擦产生了高达1400摄氏度的高温,超高温气体进入机体融化了内部结

构,致使机翼和机体融化,7名航天员全部遇难。”这样的悲剧让科学家们更加重视对材料高温力学行为的研究。而拥有可实现复杂热环境下材料力学性能测试的仪器设备是开展相关研究必不可少的条件,但此类设备西方国家对我们国家技术封锁、进口受限,急需研发具有我国自主知识产权可实现复杂热环境的高通量试验测试仪器设备。”李卫国说。

对于载人航天、深空探测飞行器、火箭等高超声速飞行器热防护系统及发动机热端部件的超高温材料,在其服役历程中常常面临着复杂多样的热冲击环境。例如,高超声速飞行器在服役历程中常常经历上升—巡航—下降、快速跳跃等机动飞行过程,空域不同、氧氛围不同、不同阶段的速度不同,温度变化幅度大,不同部位热环境差异大,致使作为热防护材料的超高温陶瓷在服役历程中常经历复杂的热冲击环境:不同温度/氧分压及稀薄程度气氛,大跨度初始及目标温度热冲击,多环境连续热冲击等。

研发出一种能有效模拟高超声速飞行器复杂服役环境的测试仪器,成了李卫国攻关的重点。从2015年起,李卫国带领团队集中攻关,基于模块化设计的思想,首先研制了三个可实现宽温域、多气氛的环境模块,然后通过试件在不同的环境模块间的快速切换或环境介质在不同模块间的迁移等方式,实现对飞行器服役过程中复杂服役环境的模拟。为材料在复杂服役环境下的性能测试与表征提供了具有我国自主知识产权的创新型实验测试平台。

传道

积极当好青年学者成长成才的铺路石

“李老师以身作则对待科研的严谨态度,让我们受益匪浅。在学术研究上,李老师总是要求我们在保质保量完成学业的基础上,成为这一领域的全国优秀人才。”这是当年2017级在读博士邓勇对李卫国的评价。

李卫国作为重庆大学航空航天学院的一名教授,始终坚决贯彻执行党的教育方针,结合航空航天特色,把“学习、思考、立德、树人”的思想精髓贯穿教育工作的始终,言传身教,用自己对待科研严谨的态度影响着自己的学生。十余年来,坚持奋斗在青年人才培养和教学一线。

“教书和育人是我们导师的两大职责,既要做好学生的专业教育,又要培养学生正确的思想观念,全面关心他们的成长、了解他们思想状况,培养其科学精神、创新能力。”李卫国说。

近年来,李卫国先后培养出站博士后2名,指导毕业博士生7名、硕士生6名;目前在读博士生10名、硕士生10名;指导多届重庆市青少年创新人才培养雏鹰计划、SRTP、国创等项目。目前已毕业的7名博士生和2名出站博士后均在高校从事教研工作,其中有机会申请国家自然科学基金青年基金的8位学生均获得了资助,1人获全国首届博新计划,1人获重庆市首届博新计划,1人获巴渝学者青年学者。

面对取得的成绩,李卫国只是淡淡一笑,他说:“作为一名老师,就是要甘为人梯,当好青年学子成长成才的铺路石,为我国科研创新培养更多有用人才。”



李卫国(中)与科研团队在一起讨论研究项目。

图片由受访者提供