



雷亚国 LEI Yaguo

教育部“长江学者奖励计划”

青年学者

Young Chang Jiang Scholar

西安交通大学教授

Professor of Xi'an Jiaotong University

教授、博士生导师、首批国家优秀青年科学基金获得者、中组部“万人计划”青年拔尖人才、德国洪堡学者、西安交通大学首批青年拔尖人才。担任美国机械工程师协会(ASME)会员、中国机械工程学会高级会员、中国自动化学会高级会员、中国运筹学会终生会员、MSSP等13种国际期刊副主编或编委、教育部专家信息库专家。主持国家优秀青年科学基金“机械系统动态监测、诊断与维护”等10余项；参加加拿大国家自然科学基金、国家自然科学基金重点项目及面上项目、国家科技重大专项、国家863、973课题等。发表学术论文50余篇，其中以第一作者或通信作者发表SCI收录论文30余篇，SCI他引总次数为1200余次，申请专利30余项。

大数据促使机械故障诊断智能化转变

——访青年长江学者、西安交通大学雷亚国教授

Big Data Promote Mechanical Intelligent Fault Diagnosis

本刊记者 海山

海山：您的科研团队目前围绕机械故障监测、诊断、维护等方面主要开展了哪些具体的研究工作？


雷亚国：机械装备是国民经济发展和国防建设的重要载体，而机械故障是整个装备安全服役的“潜在杀手”。故障诊断是保障机械装备安

全可靠运行的“杀手锏”。围绕机械故障监测、诊断、维护等方面，我们团队开展了以下5个方向的研究工作：

(1)机械系统动态建模：通过建立机械系统的唯象模型、动力学模型、有限元模型等，获取系统动态响应特性，考虑模型参数、故障类型等

各种因素对系统响应特性的影响，研究了机械系统在内外激励下的动力学行为。(2)机械信号处理与分析：通过研究集成经验模式分解、随机共振等先进的信号处理与分析理论，提出了能够准确反映机械健康状况的特色参数和自适应微弱特征增强方

法与技术,有效提取了机械装备的故障微弱特征。(3)大数据下智能故障诊断:通过研究机器学习等人工智能理论,建立人工智能诊断模型,自适应解析机械信号中蕴含的故障信息,探索了大数据中潜在的故障演化规律,实现了故障信息与故障模式的自动映射。(4)机械装备剩余寿命预测:通过提出基于衰退模型与数据驱动的剩余寿命预测理论与方法,实现了风电、高铁等大型机械装备中关键零部件的剩余寿命预测,为其预防性维修提供了重要的技术支持。(5)机械装备健康管理与智能维护:研究工作主要是集成了以上4个方向的新方法、新技术等,开发在线或离线监测、诊断和维护系统,对运载、能源、冶金、石化、国防等行业的机械装备进行远程监测、趋势预报、寿命预测,实现了对于装备运行状态的健康管理与智能维护。


:当前机械智能故障诊断研究存在哪些机遇与挑战?

雷亚国:机械故障是航空发动机等大型机械装备安全可靠运行的“潜在杀手”,需要依靠智能故障诊断等理论与方法保驾护航。

机械大数据促使智能故障诊断亟需在现有基础上做出转变,带来如下机遇:(1)学术思维的转变:由以观察现象、积累知识、设计算法、提取特征、智能决策为主线的传统学术思维转向以机理为基础、数据为中心、计算为手段、智能数据解析与决策为需求的新学术思维。(2)研究对象的转变:由针对齿轮、轴承、转子等机械装备关键零部件的单层次监测诊断转向针对各零部件相互作用、多故障相互耦合的整机装备或复杂系统的多层次监测诊断。(3)分析手段的转变:由人为选择可靠数据、采用信号处理方法提取故障特征的切片式分析手段转向多工况交替变换、多因素复合影响下智能解析故障整个动态演化过程的全局分析手段。

(4)诊断目标的转变:由准确、及时识别机械故障萌生与演变,减少或避免重大灾难性事故发生转向利用大数据全面掌控机械装备群健康动态,整合资源进行智能维护,优化生产环境,保障生产质量,提高生产效率。

为释放机械大数据所蕴含故障信息的潜能,需要智能故障诊断有可靠的理论和有效的技术进行支撑。现有的智能故障诊断面临着以下挑战:(1)如何建立标准大数据库:数据是机械智能故障诊断研究的重要基础和支撑资源,规划和建立标准大数据库是当前研究面临的首要挑战。(2)如何表征装备故障信息:传统方法需要诊断专家设计特征提取算法实现故障信息的表征,但面对多工况交替、多故障信息耦合、模式不明且多变的机械大数据,人为设计故障特征遇到瓶颈。(3)如何深度识别机械故障:现有智能故障诊断以浅层模型为主,自学习能力弱,面对机械大数据时,模型的诊断能力及泛化性能均有明显不足,难以满足大数据背景下机械装备故障诊断的实际需求。

:当接触一个全新的科研领域时,应当如何着手开展自己的研究?国外有哪些实验室在从事此方向的研究工作?在与国外合作交流中,发现其研究模式有哪些值得我们学习的地方?

雷亚国:国内在20世纪80年代就有一批科学家发起了机械故障诊断的研究工作,所以说故障诊断是一门“老”学科了。但是,当我刚开始接触这个领域的时候,是全新和陌生的,可能连一篇非常简单的中文论文都看不懂,归根结底是由于相关基础知识的欠缺。对此,我一方面向同行请教,更多的是自己到图书馆找相关书籍,补充欠缺的知识。此外,与工程实际结合至关重要。比如,我当时刚好参加了导师的科技部“十五”攻关项目,把自己研究的一些诊断技术用到这个科研项目中,使我的研究

动机更加明确,研究动力更加强大,研究信心更加坚定。正因为机械故障诊断是一门经典学科,所以想“玩出新花样”那可不容易。必须另辟蹊径,建立新的学术思路,寻找新的研究领域,探索新的科研方向。例如在机械系统动态建模方向,被普遍认可的是从动力学的角度建模,但是我们团队的思路是从唯象的角度建模。在一次学术大会的特邀报告上,听了我们团队的汇报,专家们认为我们在“机械系统动态建模”这个老方向做出了新点子。当然,一个新方向的提出可能会遇到阻力,比如近年我们团队提出了“大数据下智能故障诊断”这一新方向,我在一次国际学术会议上做大会特邀报告,汇报了这个方向的工作,遭到了国际著名专家的质疑。后来通过当面和邮件多次与这位国外专家交流和沟通,他认可了这一研究方向,并积极推荐我担任国际著名期刊 *Mechanical Systems and Signal Processing* 的编委,也使我成为了唯一一位来自中国大陆的编委。

美国国家航空航天局、英国无损检测学会是机械故障诊断领域的典型代表机构,他们的研究工作比国内大概早20年。现在欧美一些高校也在做故障诊断方向的研究工作。例如,我做博士后研究的加拿大阿尔伯塔大学、做洪堡学者的德国杜伊斯堡-埃森大学,以及目前跟我合作的英国和波兰的一些大学。客观地说,国内的科研环境、试验条件不比国外差,有些机构的试验条件甚至远优于国外,但我最大的感受有两点:国外团队的“单兵”作战能力强,一个博士后甚至一个博士生就可以挑起一个项目;国外在这方面的研究与行业、企业合作密切,基本上是工程实际需求驱动课题申报与研究。我认为这两点是值得我们学习的地方,即提高我们的博士生培养质量,将机械故障诊断研究与工程实际相结合。

(责编 大漠)