



胡昌华,教授,火箭军工程大学导航制导与控制国家重点学科带头人,教育部自动化类教学指导委员会委员,中国自动化学会常务理事,中国自动化学会技术过程故障诊断与安全性委员会主任委员,陕西省自动化学会副理事长。主要从事自动测试、故障诊断与寿命预测等方面的教学科研工作。先后当选国家教学名师、全国优秀科技工作者、国家级人才,国家有突出贡献的中青年专家,获中国科协“求是”杰出青年实用工程奖,带领团队入选全国黄大年式教师团队。先后获国家自然科学二等奖1项,国家科技进步二等奖1项,省部级科技成果一等奖4项、二等奖9项,发表学术论文338篇,出版专著6部,其中1部入选国家规划教材、首届全国优秀教材二等奖。

# 卷首语

Foreword

## 装备智能健康管理技术

胡昌华

当前,国家正经历从制造大国向制造强国转型的过程中,2023年10月,中国工程院院士周济在国家制造强国论坛指出:“新一代智能制造的基本特征是数字化、网络化和智能化,智能贯穿于装备的生产、产品、服务全寿命周期”。装备健康管理重点解决的是装备的运行服务智能化问题。

装备健康管理是通过各类传感器和测试装备实时监测装备运行状态和参数;借助各种智能推理模型算法,预测装备故障的时机,评估装备的健康状态;是结合各种可利用的维修信息和资源,进行维护维修决策,实现基于状态的维修。装备健康管理包括3个核心要素:一是状态监测,通过各类传感器和测试装备,获取反应装备健康状态的技术指标及参量;二是模型预测,基于状态检测所获取的数据,采取数据驱动的方法,建立装备故障预报/寿命预测模型;三是管理决策,基于故障预报/寿命预测模型,预测装备的剩余寿命,进而进行维修时机、备件订购计划、维护维修及退役报废方案制定等管理决策。装备健康管理的架构包括信息感知、信息处理和管理决策,其中信息感知包括传感和测试两个方面。

装备健康状态传感、测试技术首先通过光纤光栅、应力应变、温度等传感器,传感力、热、电、磁、振动等反映对象健康状态的有关信息,然后通过专用测试装备、通用测试装备、嵌入式测试/机内测试技术、有线/无线分布式网络化测试技术,将传感器感知的装备健康状态信息变换为表征装备健康状态的数字信号。

装备健康状态预测能力是健康管理的显著特征,支撑装备健康状态预测的核心技术是装备故障预报技术和装备寿命预测技术。装备故障预报即通过综合利用装备的各种历史数据信息(如监测参数、使用状况、当前环境、早期经验),建立装备性能退化规律回归预测模型,预测装备达到失效阈值对应的时间(预测故障时间/寿命时间)。装备故障预报的核心和关键是建立装备故障预报模型。现有的装备故障预报模型建模方法主要有:时间序列预测模型建模(自回归滑动平均模型、灰色预测),融合主客观信息的回归预测模型建模(贝叶斯、D-S理论、推理模糊),基于机器学习的回归预测模型(神经网络、支持向量机、粒子滤波、遗传进化算法、免疫算法)建模。

装备寿命预测的目的是基于装备的寿命相关数据,建立装备的寿命预测模型,预测装备的寿命。装备寿命相关数据主要包括机理知识、经验知识、失效时间、性能退化数据4类。对应的寿命预测方法有基于机理分析的寿命预测方法,基于经验知识的寿命预测方法(专家系统、模糊逻辑、D-S理论、BRB),基于失效数据统计分析的寿命预测方法,基于退化建模的寿命预测方法。对于连续运行的装备,随着时间的积累,可得到关于装备运行性能指标的海量观测数据,能否从这些海量观测数据中自动提取装备寿命规律信息呢?我们结合深度学习和退化方法建立了一种融合深度置信网络与扩散过程的装备剩余寿命预测方法——智能数据驱动的寿命预测。

装备健康管理决策是一种精准维修决策技术(在正确的时间、正确的部位采取正确的维修活动)。根据健康传感测试所获得的数据,采用故障预报和寿命预测建模方法,建立装备的故障预报或寿命预测模型,来预测装备故障时间或寿命时间,进而超前制定装备维修计划、备件订购方案,实现装备的预测维护。装备的健康管理决策本质上是一个多约束条件下的多目标优化决策问题。

装备健康管理技术的主要发展趋势有:机理建模与深度学习混合驱动的装备健康状态数字孪生建模与仿真,嵌入式实时健康监测,健康监测、寿命预测、管理决策集成一体化,设计芯片化微系统。