

# 走向自愈时代

机器是双刃剑,可以为人类带来福祉,也可能导致灾难。现代工业生产规模越来越大,设备故障导致的非计划停产和事故损失巨大。从1781年瓦特发明蒸汽机至今仅有200多年的历史,人与故障作斗争主要是靠“治愈”,即机器出了故障要停机由人来检修。上世纪60年代起,设备监测诊断技术向数字化、信息化、智能化发展,实现了紧急停车保护和预测维修,但出了故障必须依赖人这点始终没有改变。

工程实践表明,除少数突发故障外,大多数故障的发生均有一个渐进过程,由于从装备的设计制造到运行操作都没有重视故障发生的渐进过程,错过了调控和抑制故障的大好时机,导致设备故障乃至发生事故。任何机器都是设计在一定范围内可以有序稳定运行,而实际工况可能由于其内部的变化和外部干扰偏离原设计条件,出现故障或非正常工况。笔者总结多年工程实践,感悟到有必要深入研究机电装备复杂系统动力学行为,通过自诊断预测和主动控制在运行中抑制和消除故障。2003年,笔者在国际学术会议上首次提出故障自愈原理,受到学术界的关注。

中国自愈医学理论创始人张弦研究发现,人和动物都存在一个与生俱来、自发作用的自愈系统,使其得以维持健康状态,自愈力使其免于在来自外界的伤害中丧失生命力。中医学认为自主调理是治疗学的第一原理,可借鉴这一原理研究机器故障如何从完全依赖人工“治愈”到可以在运行中“自愈”,提出人工自愈(Artificial Self-recovery, AS)新概念。

依据仿生学原理,德国学者Rolf Isermann提出了“五块论”,即现代机电系统是由控制、动力、传感及检测、操作和结构等5大功能模块组成,将其类比于人的大脑、内脏、五官、四肢和躯体,得到世界仿生学界的认可,但这忽略了对人和动物维持自身健康的自愈功能



高金吉,辽宁本溪人,设备诊断工程专家,中国工程院院士。北京化工大学机电工程学院教授、名誉院长。主要研究方向为机械装备监测诊断与自愈化。

的仿生。人工自愈研究把自愈机制这个人和动物特有的概念赋予机器,机器产生自愈力可抑制可能产生的损坏力,使其不产生或在运行中自行消除故障,自愈力包含代偿力、清洁力、修复力、自适应调节力、应激力、自保护力和协同力等。

人工自愈和人工智能一样都是仿生机械学研究的领域。其共同之处是“人工”,即都是由人赋予机器功能。不同之处在于人工智能是对人脑思维控制行为过程的模拟,而人工自愈是对无意识思维(不经过大脑的)自愈机制的模拟。人工智能会使机器更聪明,人工自愈可让机器更健康。

维纳的控制论为生物系统与技术系统的连接架起了桥梁。但在1948年维纳发表控制论时,由于历史背景的限制,他是从研究火炮自动打飞机的实践中研究“目的性行为”。显然控制论中的目的性行为是不包含生命体内由自愈力驱动的自愈过程的。

工程控制论突破了动物和机器、控制工程和通讯工程的界线,将动物的目的性行为赋予机器共有的特征,概括综合形成新理论。本文提出将动物另一个共有的特征——自愈机制赋予机器,概括综合形成机器可以产生自愈力来遏制破坏力的理论——工程自愈论。工程自愈论是人工自愈的理论基础,可以指导设计制造,使机器实现自愈化。

自动化的研究对象是机器的目的性功能和优化运行,控制系统像人的大脑一样,模拟有目的的思维,控制机器保持其优化功能。自愈化旨在让机器系统像人一样具有自愈功能,自愈系统模拟无意识思维,抑制机器的异常行为,确保其自身的健康状况和长周期安全运行,自愈化是研究机器或装置及其监控系统在无人干预的情况下按设计的自愈机制自行抑制或消除故障的过程。

近20年来,北京化工大学诊断与自愈工程中心在快准溯源诊断、精稳自愈调控及应用研究取得了一些成果;透平压缩机轴位移故障自愈调控、基于电磁力的转子多频振动靶向抑制、动静压混合气膜端面密封的自愈调控以及电磁自动平衡与气压液式自动等技术。

中国科学院先进制造领域战略研究组指出,至2050年,装备的智能化水平将得到本质的提高。体现在根据环境和任务的变化,装备不仅具有参数调节的适应能力,同时也具有结构适应能力。结合材料、信息技术的进步,装备的自我进化和升级的能力,将会促进装备的智能化水平由可控化、自动化真正实现自维护、自适应和自进化的高级智能阶段。

中国工程院咨询项目“装备故障自愈工程及其在中国推广应用的建议”指出,故障自愈原理及其在装备复杂系统的工程应用,可以有效地预防和消除故障,减少装备对人的依赖程度,实现自愈化。

人工自愈是研发自主健康装备的理论基础,可创造出具有自愈功能的新概念机电装备系统,大幅度减少对人的依赖程度,具有广阔的应用前景。人工自愈能让未来的装备乃至制造系统自主健康,进入自愈时代。

高金吉

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)