

让机器「自愈」引领新科技变革

高金吉



作者高金吉肖像画

本版画家 张武昌绘

18世纪60年代，发端于英国的第一次工业革命开创了以机器代替手工劳动的时代。然而，机器是把“双刃剑”，可以为人类带来福祉，也可能造成灾害。随着高危流程工业装备和空天飞行器的发展，故障导致非计划停机和空难事故，危害巨大。20世纪60年代起，设备监测诊断技术和状态维修兴起，逐步实现了数字化、网络化智能运维，但排故检修必须靠人的状况始终没有改变。

人类历史就是与各种疾病作斗争的历史，在各类传统医学和现代医学还没有诞生前的漫长岁月中，人类是靠自身的抵抗能力，战胜疾病而“自愈”并生息繁衍下来。从生物演变历程看，机器是生物以另一种方式的延续，活着的人和运行的机器都属于耗散结构开放系统，与机器故障和人的疾病作斗争可遵循某些共同规律。随之而来的问题是，机器的排故检修能否不需要人去“治愈”，而能像人一样可以“自愈”呢？

笔者的回答是肯定的。在石化企业一线工作三十多年的实践中，我认识到，除少数突发故障外，大多数故障发生均有一个渐进过程，而相互作用是故障的终极原因。如能早期发现并及时采取恰当的调控措施，在运行中抑制或抵消产生故障的原因和条件，故障完全可以防止。通过学习医学、控制论、系统论、耗散结构和仿生学等经典著作。借鉴中华传统医学“自主调理”经验，特别是疾病痊愈很大程度上是靠人体自愈机制，我深切感悟到，机器故障从“治愈”到“自愈”是现代化大工业生产发展的重大需求，也是必然趋势。2003年，笔者在国际学术会议上首次提出了过程装备故障自愈调控原理，受到学术界广泛关注。

德国罗尔夫·艾恩曼教授曾提出，现代机电系统是由控制、动力、传感及检测、操作和结构等五大功能模块组成，将其通俗地类比为人的大脑、内脏、五官、四肢和躯体，得到世界仿生学界的认可。但他忽略了对人体自愈功能的仿生。笔者由此提出了人工自愈(AS Artificial Self-recovery)的概念，研究把自愈机制这个人和动物特有的概念赋予机器，拓展了仿生学研究领域。自愈功能可抑制故障萌头或在运行中自行消除故障，包含代偿、清洁、修复、自适应调节、应激、协同、自保护等。

人工自愈和人工智能(AI)共同之处是“人工”，都是由人赋予机器功能。不同之处在于，人工智能是对人脑意识思维控制行为的模拟，而人工自愈是对人脑无意识思维(不经过大脑)的自愈机制的模拟。人工智能仅仅对人脑进行仿生，忽略了遍布人体全身的神经—神经—内分泌—免疫网络形成的自愈功能的研究。

维纳的控制论为生物系统与技术的连接架起了桥梁，提出目的性行为可以用反馈来代替，从而突破了生命与非生命的界限，把目的性行为这个生物所特有的概念赋予机器。但由于历史背景的限制，1948年发表控制论时，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不包含自愈机制。

工程控制论突破了动物和机器、控制工程和通信工程的界限，将动物的目的性行为赋予为机器共有的特征，概括综合形成新理论。2010年，笔者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功能遏制破坏力的理论——工程自愈论

科技名家笔谈

本版携手科学出版社推出

(Engineering Self-recovery)。工程自愈论是一门跨学科的学科群，是一种科学的哲学理论或从一种新的角度来观察世界的系统观点和方法，是人工自愈的理论基础，可以改变理念，指导设计制造使机器实现自愈化。

自愈化是研究机器或装置及其健康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。自愈化技术大致可以分为四类：一是自修复，二是自代偿，三是自保护，四是自愈调控。2021年7月，“首届人工自愈与自主健康学术论坛”在北京理工大学举行，与会学者兴趣十足，研讨热烈。出乎意料的是，该学术论坛吸引了超过1.2万人线上关注。

2006年，中国工程院咨询项目提出“装备故障自愈工程及其在我国推广应用的建议”。现



▲辽阳石化纤维公司试运转期间，高金吉(右)在裂解气压缩机现场向毕振德总工程师汇报商讨机组改进方案。(1979年)

▼时任辽阳石化纤维公司副总工程师的高金吉，在压缩机房观察机组运行状态。(1988年)



代社会是生物—社会—机器(人造物)—赛博(Cyber)共存的时代，可称其为BASOMAC(Biology—Society—Machine—Cyber)。工业互联网和AI与AS两个轮子驱动，应用赛博赋能技术，将嵌入式技术、智能材料和工业软件与装备本体技术深度融合，可实现装备辅助康复和自主健康，以及高危流程装置本质安全化和无人化，引领新科技变革。

2001年起，北京化工大学诊断与自愈工程研究中心开展基于因特网的装备远程监测与智能诊断研发及工程应用，并在快准溯源诊断、

科学家寄语

赛博功赋智能机
故障真快准新
自主健康安稳序
人工自愈展新机

高金吉

精稳自愈调控研究取得若干成果，如透平机械轴位移与气膜端面密封故障自愈调控、转子多频振动电磁力靶向抑制、电磁与气液式转子自动平衡等。2012年，笔者出版了《机器故障诊治与自愈化》专著，拟于明年出版《人工自愈论》中英文专著。

2009年，IBM提倡的“智慧地球”和“智慧工厂”战略得到了普遍认可，但仅有“智慧”是不够的，在未来世界，装备安全与自主健康会越来越成为生产力和战斗力的最重要组成部分。人工智能会使机器更聪明，人工自愈可让机器更健康。中国具有门类齐全、世界上数量最多的工业装备和制造厂，在学习国外构建智慧工厂的同时，应在世界上最先揭开“健康工厂”乃至“健康地球”发展战略的序幕。

日前，教育部举行新闻发布会，公布了第八次全国学生体质与健康调研结果，并解读近日印发的《关于全面加强和改进新时代学校卫生与健康教育工作的意见》。

本次调研于2019年由教育部等六部门联合启动，在全国31个省(区、市)和新疆生产建设兵团的93个地市1258所学校进行调研，调研学生超37万人，覆盖全日制普通中小学、普通高等学校学生。

达标优良率总体呈上升趋势

调研结果显示，我国学生体质健康达标优良率逐渐上升。2019年，6—22岁学生体质健康达标优良率为23.8%，优良率较高的地区为东部经济发达和沿海地区。13—22岁年龄段学生优良率从2014年的14.8%上升到2019年的17.7%。

调研表明，学生身高、体重、胸围等形态发育指标持续向好，各年龄组男女生身高、体重、胸围指标均继续呈现上升趋势。此外，学生肺活量水平全面上升。肺活量显示人的心肺功能，肺活量大的儿童，身体供氧能力更强。

调研显示，小学生柔韧、力量、速度、耐力等素质出现好转，其中柔韧素质、力量素质小学生和初中生改善较其他年龄段明显，中学生速度素质和耐力素质有所改善。

“此次调研结果反映农村学生体质健康水平的指标有不同程度提高。”教育部体卫艺司一级巡视员郝凤林在会上介绍，农村学生生长发育水平全面提高，健康状况明显改善，身体素质测试成绩总体表现优于城市学生。例如农村男生立定跳远平均成绩比城市远1.37厘米。

第八次全国学生体质与健康调研结果发布

新时代的 中华少年强

本报记者 王美华

增加运动时间效果显著

在学生体质健康达标优良率、肺活量水平、柔韧素质和力量素质等方面，初中生体质健康改善最为明显，这是为何？

教育部体卫艺司司长王登峰表示，这与政策措施牵引密不可分。近年来，随着中考体育考试分值提高，中学生尤其是初三学生体育活动时间显著增加。调研数据显示，在校体育锻炼1小时比率，初三学生为42.7%，高于高一学生的30.6%。体质健康达标优良率初三学生为29.2%，高于高一学生的22.6%。

数据表明，校园足球等体育特色学校建设对增强学生体质与健康起到了非常积极的作用。校园足球特色学校学生体质健康达标优良率为29.2%，高于非校园足球特色学校的22.3%。

此次调研发现，家庭和学校的教育与引导对提高学生健康素养起着至关重要的作用。得到父母支持的孩子体质健康达标优良率高于没有得到父母支持的学生。

破解健康课教学难题

近日，《关于全面加强和改进新时代学校卫生与健康教育工作的意见》(以下简称《意见》)下发，要求将健康教育与德育、智育、体育、劳动教育相结合，融入教育教学、管理服务全过程。

“这是一个历史性的突破。”王登峰说，在我国的课程体系中，体育与健康课既包括体育，也包括健康，但是健康教育仍面临诸多问题。对此，《意见》作出了系统化安排。

针对“谁来教”，《意见》提出，发挥学校卫生专业技术人员、体育与健康课教师和教职员工等全员育人作用。针对“教什么”，《意见》明确，引导学生主动学习掌握日常锻炼、传染病预防、食品卫生安全、合理膳食、体格检查、心理健康、生长发育、性与生殖健康、心肺复苏、安全避险与应急救护方面知识和技能等。针对“怎么教”，《意见》强调，以中小学为重点，注重大中小幼衔接，完善以课堂教学为主渠道、以主题教育为重要载体、以日常教育为基础的学校健康教育推进机制。

《意见》要求，各地各校要增加体育锻炼时间，强化学校体育教学、训练，健全体育竞赛和人才培养体系。严格落实课间操制度等，提倡中小学生在到校后先进行20分钟左右的身体活动。保障学生每天校内、校外各1个小时体育活动时间。



浙江绍兴

浙江绍兴上虞区客运中心2000千瓦分布式光伏项目，是该区首个采用BIPV建筑一体化光伏安装技术项目，实现了新型光伏板融合屋顶一体式安装。

该项目可实现年发电量182万千瓦时，相当于节约标准煤556吨，减排二氧化碳1030吨。

图为近日客运中心棚顶光伏板安装作业场景。

史家民摄

辽宁沈阳

全面治理校外培训广告

据新华社电(记者王莹)近日，辽宁省沈阳市有关部门下发通知，加强对校外培训广告治理，即日起在全市范围内开展全面深入排查，对发现的校外培训广告，能下架清除的立即下架清除，不能立即清除的要限时清除。

通知规定，严控校外培训广告宣传投放。确保主流媒体、新媒体、公共场所、居民区各类广告和网络平台等不刊登、不播出校外培训广告。

通知明确要求，不得在中小学校、幼儿园内开展商业广告活动，不得利用中小学校和幼儿园的教材、教辅材料、练习册、文具、教具、校服、校车等发布或变相发布广告。依法依规严肃查处各种夸大培训效果、误导公众教育观念、制造家长焦虑的校外培训违法违规广告行为。

近日，中国扶贫基金会、内蒙古曲棍球学会等机构举办“让爱回家 关爱农村幼儿”中国扶贫基金会文体向善活动。

中国扶贫基金会为玉泉区民族幼儿园教育集团3所幼儿园捐赠了全套的软式曲棍球器材及装备，内蒙古曲棍球学会将为3所幼儿园的12名教师提供曲棍球教学培训。

图为呼和浩特市玉泉区民族幼儿园教育集团第二幼儿园的孩子们在练习曲棍球。

(人民视觉)



乡村娃喜玩曲棍球