

巡礼 CSNS 之小角散射仪

让纳米世界“视而可见”

■本报见习记者 田瑞颖

2018年春节,万家团圆迎“福”时,位于东莞的中国散裂中子源(CSNS)灯火通明,所有一线建设人员都在为CSNS的调试驻守岗位,送出了最亮的“敬业福”,点亮了中国的探微之路。

截至目前,CSNS已顺利完成两轮开放运行,即将在今年9月迎来第三轮。作为中子源与用户之间的“桥梁”之一,CSNS一期3台谱仪中的小角散射仪(SANS)在前两轮运行中共收到54份用户课题申请,28份通过同行评议,并已全部完成实验。第三轮SANS的用户课题申请数已超过前两轮之和。

中国科学院高能物理研究所(以下简称中科院高能物理所)东莞分部副主任梁天骄告诉《中国科学报》,SANS的设计、制造、安装、调试等环节面临诸多困难,正是大家团结一致、共克难关,才使SANS如期通过验收并顺利对用户开放。

而SANS这张来之不易的成绩单背后,又有怎样的故事呢?

探微“慧眼”力填空白

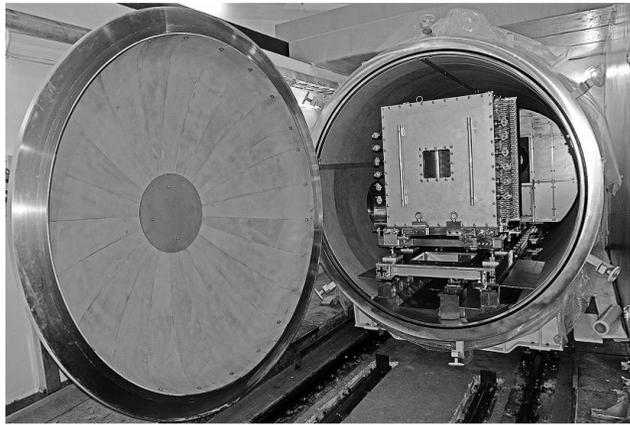
如何看清微观世界?现代科学诞生前,人类通过肉眼来观察物质,光学显微镜诞生后,人们看到了肉眼无法直接观测到的细胞、细菌等微观世界,而拥有更高分辨率的电子显微镜可以看到更小的病毒。随着人类对微观世界的探索,更高的需求和技术催生了超级显微镜——散裂中子源。

SANS是我国首套脉冲中子小角散射仪,是CSNS一期建设的3台谱仪之一。它用于探测物质体系在1~100nm尺度内的微观和介观结构,广泛应用于化学、物理、生物、材料、地质等学科,服务于国家能源、环境、生物和新材料等诸多高科技研发领域。

“小角散射仪是散裂中子源用户需求最多的谱仪之一,国外散裂中子源在建设之初也都包括小角散射仪。”梁天骄告诉记者。

SANS谱仪现负责人柯于斌解释道,物质内部存在不同尺度和层级的结构,对于纳米尺度的结构,通常使用透射电子显微镜(TEM)进行观测,但其样品制备非常困难,并且可能在制备过程中影响甚至改变样品结构。典型的TEM样品厚度一般在100nm左右,所获得的微区形貌也不足以论证样品的整体结构。

实际上,纳米结构观测还有另一种常用技术——小角散射,例如小角中子散射技术。通俗来讲,中子就像是



小角散射仪(SANS)

具有高穿透性的微小“弹球”,这些“弹球”会和材料内部存在的微观不均匀结构相互作用,被弹射向不同的方向。一个安装在一定距离外的灵敏的二维探测器就可以捕捉这些“弹球”飞行的角度和数量,进而得到二维的散射角分布图,“弹球”的分布图,该分布图就包含了检测材料内部cm<sup>2</sup>范围的纳米结构的平均尺度信息,例如材料内部纳米尺度的颗粒、析出相、孔洞、畴结构等。“纳米尺度的结构信息对众多学科领域的研究十分重要。”

柯于斌进一步解释说,以页岩气和页岩油为例,人们需要通过对页岩中孔隙结构的表征来对油/天然气的富集度做出评估。其中,纳米孔隙(尤其是闭孔)结构的表征就需要用到小角中子散射技术。

“在SANS建设前,国际上其他散裂中子源都已有自己的小角散射仪。例如,美国SNS有EQ-SANS,英国ISIS有LOQ和SANS2D,日本的J-PARC有TAIKAN。但中国还没有基于脉冲中子源的小角谱仪。”柯于斌说。

戮力同心 攻坚克难

2010年中科院高能物理所在北京航空航天大学举办了一场关于散裂中子源的宣讲会,刚刚硕士毕业、已得到伦敦大学留学机会的柯于斌被散裂中子源深深吸引。“我原本是学金属材料,但当我听到大学科学装置时,觉得很神秘、很高大上,激起了我的兴趣,

所以就放弃去英国留学转而加入CSNS的建设了。”

为了更快地学习SANS的设计和技术,在系统负责人陶举洲的支持和指导下,柯于斌多次前往美国、英国、日本的散裂中子源开展中子散射实验,借实验之机学习建造之术。柯于斌说,“陶老师带领大家开展物理设计、工程设计、加工制造与现场安装调试,我也从中受益匪浅。同时,国外谱仪科学家也给予了我们很多帮助。”

然而有些技术,必须自主研发。“SANS将近8m的准直器关键部件全部由我们自主研发。”柯于斌回忆道,“我们参考能找到的很少的文献,开始摸配方、选原料,自己设计模具和压制平台,硬是一步步做出来了。”

为了达到更好的设计精度,需要多次重做和打磨,其中的光阑和阻挡块部件所用的烧结碳化硼材料熔点在2350℃,硬度仅次于金刚石,要在上面打孔,加工难度非常大。团队前后尝试了激光、超声波打孔,但加工深度都不够,于是他们又跑到大连,和厂家一起碎掉一大批板子之后,终于攻克难题。

柯于斌说,“通过摸索和积累,我们不仅解决了工程应用需求,陶老师还带领我们申请到了2016年广东省产学研项目的200万经费,为我们在该领域继续展开研究提供了支持。”

中子小角散射探测器作为SANS的关键设备,犹如SANS的“眼睛”,其研制也面临在真空环境使用、空间有限和3He管安装要求高等诸多关键技术

难点。在探测器和电子学/数据获取团队“7×12”的工作模式下,经过两年技术攻关,最终攻克了这些关键技术,在CSNS获得首束中子的前三天成功安装。

中国速度 创新不止

2017年11月,SANS开始带束调试,接踵而至的状况让大家心里没底:“亮点问题”“圆晕问题”“透过率异常”“虫洞问题”等应接不暇。“由于没有经验,我们一开始也不知道问题症结在哪儿。”柯于斌回忆时不由得感慨,“我们不得不沉住气,开展多种测试查找原因,CSNS相关领导也加班协助我们反复研讨,凌晨两三点到家都是常态,即使躺下脑海里也是白天的测试结果。最终,我们解决了这些问题,如期通过工艺测试和国家验收。”

“SANS的成功调试保障了CSNS的按时验收,而CSNS调试速度之快让国际专家惊叹。”梁天骄说。

随着用户数量的增加和学科领域的扩展,SANS也在进行相应的优化和升级。“我们事先预留了SANS的升级空间,正在制定谱仪的优化和升级方案。短期内,我们正积极配备不同的样品环境装置,例如正在采购的5T的超导磁体、1500K的高温炉、低温恒温器等,以期满足更多领域用户开展原位SANS实验的需求。”柯于斌说,“此外,我们也在计划对谱仪的光路和探测器等进行升级,以提升谱仪的探测范围和综合性能,满足高难度的用户实验需求。”

随着CSNS运行功率的提高,中子强度和信噪比将会提高,进而提高实验效率和数据质量。

展望未来谱仪发展,柯于斌说,我们的谱仪科学家人才缺口很大,应加强与国外散裂中子源的合作。

所以我们就放弃去英国留学转而加入CSNS的建设了。”

为了更快地学习SANS的设计和技术,在系统负责人陶举洲的支持和指导下,柯于斌多次前往美国、英国、日本的散裂中子源开展中子散射实验,借实验之机学习建造之术。柯于斌说,“陶老师带领大家开展物理设计、工程设计、加工制造与现场安装调试,我也从中受益匪浅。同时,国外谱仪科学家也给予了我们很多帮助。”

然而有些技术,必须自主研发。“SANS将近8m的准直器关键部件全部由我们自主研发。”柯于斌回忆道,“我们参考能找到的很少的文献,开始摸配方、选原料,自己设计模具和压制平台,硬是一步步做出来了。”

为了达到更好的设计精度,需要多次重做和打磨,其中的光阑和阻挡块部件所用的烧结碳化硼材料熔点在2350℃,硬度仅次于金刚石,要在上面打孔,加工难度非常大。团队前后尝试了激光、超声波打孔,但加工深度都不够,于是他们又跑到大连,和厂家一起碎掉一大批板子之后,终于攻克难题。

柯于斌说,“通过摸索和积累,我们不仅解决了工程应用需求,陶老师还带领我们申请到了2016年广东省产学研项目的200万经费,为我们在该领域继续展开研究提供了支持。”

中子小角散射探测器作为SANS的关键设备,犹如SANS的“眼睛”,其研制也面临在真空环境使用、空间有限和3He管安装要求高等诸多关键技术

难点。在探测器和电子学/数据获取团队“7×12”的工作模式下,经过两年技术攻关,最终攻克了这些关键技术,在CSNS获得首束中子的前三天成功安装。

匠人匠心

喻之斌:甘为人工智能“打地基”

■本报见习记者 丁宁宁 通讯员 严偲偲

在“人工智能+”时代,人工智能(AI)无疑成为各个行业变革的使能器,其中行业应用场景成为AI最大投资热点。人们迫切地希望看到,我们的未来究竟能被AI变成什么样子?

上层应用虽引人浮想联翩,但有这么一批人,却致力于挑战难度大、门槛高的底层技术研究,推动AI领域的内核发展快速前行。中国科学院深圳先进技术研究院(以下简称深圳先进院)数字所副所长喻之斌就是其中之一。

在人工智能时代“打牢地基”

如果说各类AI应用是华丽的高楼,喻之斌研究的则是如何为高楼打下坚实的地基。

“所有应用都基于底层技术。然而目前我国在底层技术方面十分薄弱,从硬件到操作系统,再到各类中间件,大部分依赖进口。”谈及研究领域的国内现状,喻之斌言语中透露着不甘。

喻之斌带领团队致力于处理器体系结构、性能评估、体系结构支持的云计算、大数据及AI系统等底层技术的研究。经过多年积累,团队的科研成果多次发表于ASPLoS、MICRO、ISCA等计算机系统结构领域的国际顶级学术会议。上述会议的论文平均录取率仅为16%~20%,中国大陆科研机构的占比更是寥寥无几。

就在今年6月举办的ISCA国际计算机结构会议上,喻之斌团队针对

云计算系统的论文被录用为长文。ISCA是由ACM SIGARCH(计算机系统结构特殊兴趣组)和IEEE TCQA(计算机架构技术委员会)联合举办的国际顶级学术会议,自1973年创办以来,国内中科院所被该会议录用的总论文数量不超过20篇,这也是华南地区首篇被该会议收录的长文。

“长坐冷板凳”解锁行业难题

在这篇获得ISCA青睐的论文中,喻之斌团队首次提出了“时空共享任务调度”(TPShare)的概念,在保障云计算系统性能的前提下,降低处理器能耗,提升资源利用率。

“目前云计算行业面临的最大困难是资源利用率低。”喻之斌打比方说,“在云计算平台花100元买的CPU,实际上只有12元的性能被有效利用,还有88元被浪费了。”这种浪费现象源于云计算系统上运行的应用多且复杂异构、调度层次多,且各层次间的调度状态互无感知、不协调。

喻之斌团队提出的“时空共享任务调度”相当于为云计算系统搭建了一个“天梯”,通过传递垂直信息、协调调度,实现相邻调度层之间调度状态、资源需求等关键信息的协调和有效利用。“通俗地讲,该项技术能让一个人在单位时间内做两个人的事情,且反应速度提高将近一倍。”该研究有望广泛应用于阿里云、华为云等平台。

由于概念超前,论文一经发表,很

快在ISCA上引起参会者热议。而在喻之斌看来,科研灵感靠的不是创意,而是扎实肯干的精神。“必须深入实践,动手研究,摸爬滚打,才能发现真正需要解决的问题。在大量的劳动和坚持后,自然就有解决问题的灵感了。”喻之斌同时强调,搞底层研究需要“长坐冷板凳”,沉下心来,保持从容的姿态。

科学家精神是真正的热爱

朝七晚十、一周七天,是喻之斌的科研生活常态。

在深圳先进院,他不仅要承担许多重大科研项目,同时还要带学生、带团队,担任中国计算机学会和IEEE会员,以及多个重要期刊和知名国际会议的审稿人。对他来说,高强度的工作是家常便饭。

这样的工作状态下一干就是六年,喻之斌却乐此不疲。问及工作动力,他毫不犹豫地说:“Enjoy the research!”在他看来,“科学家精神”最重要的是真正热爱科学。“很多值得研究的问题只有在科研一线才能发现,只要自己体力够,就会坚持在科研一线工作下去。”

在计算机系统底层研究的道路上,喻之斌的脚步从未停歇。从华中科技大学获得博士学位后,喻之斌先后赴美国德克萨斯大学奥斯汀分校、意大利锡耶纳大学、比利时根特大学做访问学者或博士后研究,曾任华中科技大学计算机学院副教授。如今,喻之

斌带领团队“7×12”的工作模式下,经过两年技术攻关,最终攻克了这些关键技术,在CSNS获得首束中子的前三天成功安装。

中国速度 创新不止

2017年11月,SANS开始带束调试,接踵而至的状况让大家心里没底:“亮点问题”“圆晕问题”“透过率异常”“虫洞问题”等应接不暇。“由于没有经验,我们一开始也不知道问题症结在哪儿。”柯于斌回忆时不由得感慨,“我们不得不沉住气,开展多种测试查找原因,CSNS相关领导也加班协助我们反复研讨,凌晨两三点到家都是常态,即使躺下脑海里也是白天的测试结果。最终,我们解决了这些问题,如期通过工艺测试和国家验收。”

“SANS的成功调试保障了CSNS的按时验收,而CSNS调试速度之快让国际专家惊叹。”梁天骄说。

随着用户数量的增加和学科领域的扩展,SANS也在进行相应的优化和升级。“我们事先预留了SANS的升级空间,正在制定谱仪的优化和升级方案。短期内,我们正积极配备不同的样品环境装置,例如正在采购的5T的超导磁体、1500K的高温炉、低温恒温器等,以期满足更多领域用户开展原位SANS实验的需求。”柯于斌说,“此外,我们也在计划对谱仪的光路和探测器等进行升级,以提升谱仪的探测范围和综合性能,满足高难度的用户实验需求。”

随着CSNS运行功率的提高,中子强度和信噪比将会提高,进而提高实验效率和数据质量。

展望未来谱仪发展,柯于斌说,我们的谱仪科学家人才缺口很大,应加强与国外散裂中子源的合作。

对此,梁天骄认为,加强谱仪科学家队伍建设,需要“引进”和“培养”。

“引进”将更加开放,不必拘泥于“全职”或“华裔”等条件,只要是能够有助于CSNS的人才我们都欢迎;“培养”将通过多种途径为年轻人创造谱仪各专业领域的学习、培训、交流和工作条件,国内同类谱仪专家的“传、帮、带”与到国外散裂中子源对口谱仪学习相结合等。

为在有限的机时内充分发挥SANS的效用,梁天骄表示,在扩大用户群体和扩展研究领域的同时,将进一步加强与用户的沟通,加强对重点领域研究的支持。

智造论坛

机器“人工自愈”概念的提出

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强研究发现,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,自愈力使其免于在受到来自外界的伤害后丧失生命力。笔者认为,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”,即现代机电系统是自控、动力、传感及检测、操作、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的仿生。

如今,人工自愈研究正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。

让机器更健康

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,人工自愈能让机器更健康。

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,

智造论坛

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。

机器“人工自愈”概念的提出

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强研究发现,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,自愈力使其免于在受到来自外界的伤害后丧失生命力。笔者认为,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”,即现代机电系统是自控、动力、传感及检测、操作、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的仿生。

如今,人工自愈研究正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。

让机器更健康

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,人工自愈能让机器更健康。

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。

机器“人工自愈”概念的提出

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强研究发现,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,自愈力使其免于在受到来自外界的伤害后丧失生命力。笔者认为,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”,即现代机电系统是自控、动力、传感及检测、操作、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的仿生。

如今,人工自愈研究正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。

让机器更健康

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,人工自愈能让机器更健康。

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。

纵览

智能化伸缩式无摩擦球阀投用

据新华社电 航天科技集团六院11所和中国石化销售华南分公司联合研制出智能化伸缩式无摩擦球阀,并于近日投入使用,标志着我国油、气长输管道自主创新能力实现新的进步。

与普通球阀相比,该伸缩式无摩擦球阀采用全新的四阀瓣式主阀结构和双螺旋传动结构,适用于易燃易爆、杂质多等条件苛刻的环境,满足防火防爆的要求。一旦发生突发状况,它能实现上、下游同时关断,并形成独立的

零泄漏密封,这对于管道安全有很大的保障,标志着我国油、气长输管道自主创新能力实现新的进步。

此前,我国油、气储运长输管道所用的球阀大多依赖于进口,不仅成本高昂,售后服务欠缺,而且备件供应周期长,难以满足应急维修要求。传统球阀由于结构性缺陷,在使用过程中容易发生密封面磨损导致内漏,严重影响使用寿命,并且不具备在线检测和维修功能。

新型矿用智能链臂锯切顶机在山西大同问世

本报讯 记者近日从大同煤矿集团公司(以下简称同煤集团)获悉,由该公司自主研发的KLJ7型矿用智能链臂锯切顶机,7月29日在井下开采试验取得成功,开创了机械装备井下快速切顶、开槽卸压的先河。据悉,这种机械精准切顶工艺,在全国乃至全世界煤矿井下均属首次应用。

据了解,此项目是同煤集团2019年十项重点科技攻关项目之一。立项以来,研发团队认真分析井下现场实验数据,改造元件、增加配件、调整切顶工艺,使智能链臂锯切顶机更加智能化,实现了“装备改变工艺”的革命性变革。

据同煤集团综采装备分公司总工程师王自卫介绍,采用链臂锯切顶板,简化了定向聚能爆破切顶过程中打眼、装药等繁琐工序,机械化程度大幅提高,切缝贯通率可达100%,并且切面光滑,沿空侧侧向悬顶给巷内支护产生的附加作用力较小,大大降低了沿空巷道顶板压力。(程春生 邵丰)

太钢集团产品开发项目获冶金科学技术奖特等奖

本报讯 记者8月9日从太原钢铁集团有限公司(以下简称太钢集团)获悉,2019年中国钢铁工业协会、中国金属学会冶金科学技术奖获奖项目日前揭晓,该公司“宽幅超薄精密不锈钢工艺技术及其系列产品开发”项目获特等奖。