

# 攻克整机正向设计难、加工精度提升难、机床性能保持难三大难题 高性能“工作母机”助力中国智造



们调研了很多企业,进行了长时间的分析、综合,克服了许多意想不到的困难。”谭建荣院士回忆起当时的情景感慨道。也正是团队成员们百折不挠、精益求精的付出,开启了高性能龙门加工中心整机设计与制造工艺的“逆袭之路”。

“长行程精度失衡”是摆在团队面前的又一难题。传统事前设计和事后装配调节无法有效控制制造精度,那么该如何提高整机精度的均衡性?“长行程龙门加工中心全尺寸链的高精度互反馈均衡设计技术”由此应运而生。

整机-部件-零件-结构的精度正向递推分配和结构-零件-部件-整机的精度误差逆向修正相辅相成,团队通过提出自顶向下和自底向上的几何误差双向反馈修正方法,实现了精度均衡性能的突破。运用此发明点研发的高架桥式五轴高速铣削中心,整机几何精度达到发达国家同类产品I级标准。

“数控机床领域,一个很突出的问题就是在低速重载情况下,机床容易出现爬行现象。”何谓爬行现象?简言之就是机床进给系统的运动件,当其运行速度低到一定值时,不是作连续匀速运动,而是时走时停、忽快忽慢。这会对加工精度和工件表面质量产生非常不利的影响。

“我们要找出爬行的临界点、爬行存在的条件,将其排除掉、避免掉,从而使得机床克服爬行,得以正确运行。”谭建荣院士说道。通过一次次的尝试、失败、再尝试,团队发明了高可靠龙门加工中心动部件大惯量的低速补偿进给工艺技术,成功解决了大惯量运动部件低速失稳的难题。而利用该发明点研发的重型双柱精密数控立式车床工作台,在平台跳动、加工工件表面粗糙度等技术指标上都取得了大幅度的提升。

本报记者 林洁 通讯员 金云云 卢绍庆 撰

本报讯 氢气来源多样、利用高效、清洁环保,广泛应用于能源、化工、炼油、交通等行业。国际氢能委员会预计,到2050年,氢能将在全球能源中所占比重有望达到18%。作为能源战略重点支持的方向,近年来我国氢气需求量激增。2019年,我国氢气产量超2000万吨,居全球第一。

“我们的总体思路是,瞄准国家重大需求,攻克关键技术,创建检测平台,制定技术标准,研制核心装备,实现我国氢气规模化提纯装备与高压储存装备自主可控。”“氢气规模化提纯与高压储存装备关键技术及工程应用”项目第一完成人、浙江大学能源工程学院院长教授郑津洋带领项目组,紧盯高压氢脆防控、氢气高效储存和规模化提纯三大世界难题,取得三大创新成果,经过近20年的科研攻关,将我国大容量高压氢气储存装备技术和大型高压氢气提纯装备技术推至国际领先水平。该项目也于近日获得2020年度国家科技进步奖二等奖。

氢能应用的关键之一在于储氢技术,即如何实现安全、高效、经济的氢气储存。要实现安全高效高压储氢,首要和最基础的任务是揭示高压氢脆机理并实现性能调控。

郑津洋介绍,氢脆是一个古老的话题,100多年前就有研究介人。但是项目实施前,国内外普遍测试手段是预充氢检测,即将已预先充氢的材料在空气环境中进行力学性能测试。显然,这种方法无法模拟储氢装备的实际工作环境。

基于产业需求,郑津洋带领团队攻克高压氢气密封、加载杆轴向力平衡等关键技术,发明了140MPa快开式材料高压氢脆原位检测装置,解决了传统预充氢试验中长期困扰的“充氢和加载不同步”这一突出问题,为高压氢脆研究提供了不可或缺的关键设备,使我国成为继美国、日本后第三个在140MPa压力下开展高压氢脆科学研究能力的国家。

30CrMo、S30408、S31603等6种国产金属材料,在我国高压储氢装备中最为常用。团队对这6种材料,在5至140MPa的高压氢气环境中原位测试力学性能,并在此基础上建立了国内首个材料高压氢脆数据库,为高压氢气储存装备研制提供了关键基础数据。

除了厘清材料成分及性能、应力水平、工作环境等因素和高压氢脆之间的关系,团队还揭示了冲压、旋压、热处理等制造工艺与微观组织、氢偏聚、氢致开裂之间的关联机制,为实现形性协同制造提供了关键核心技术。

基于以上研究结果,团队创建了以抗氢脆设计制造为主、安全状态监控并重的防控技术体系,并成为国家标准,从而为设备的安全可靠加装了全生命周期的保险阀。

机理研究先行,紧跟而上的还有产品制造。项目组根据氢气高效储存装备和规模提纯装置的研发需求,开展产学研融通协同攻关,取得了特色鲜明的系统创新成果。

项目实施前,我国压力超过35MPa的储氢装备长期处于空白,难以满足加氢站、氢燃料电池汽车发展的需要。

世界各国也曾研发了多种结构形式的高压储氢装备。例如单管无缝瓶式钢制容器、钢内胆碳纤维环向缠绕容器、塑料内胆碳纤维全缠绕容器等,但是存在单台体积小,钢制容器用高强度钢对高压氢脆敏感,复合材料容器成本高的问题。

基于现实矛盾,团队另辟蹊径,提出以抗氢脆焊接薄内筒为核心的全多层储氢容器设计思想。“简单理解,就是与高压氢气接触的薄内筒采用抗高压氢脆性能优良的材料,其余则采用普通高压容器用钢。”郑津洋解释。不仅如此,团队建立了专门针对这类储氢容器的设计方法,形成了制造过程中提高容器抗氢脆性能的技术,并牵头制定了首部储氢高压容器产品国家标准。

此外,团队还发明了小孔内筒式曲面耦合超声相控阵检测技术,即在储氢容器服役周期内,通过特制的检测设备,深入储氢容器内部对容器安全状态进行“体检”,解决了全多层储氢高压容器氢致损伤无损检测的难题,从而打通了全多层储氢高压容器从设计、制造到检验检测的全技术链。

除了解决固定安装的大容量高压储氢难题,团队在车载轻质高压储氢技术研发方面也产生了一系列成果。

开发随车运动的高压储氢气瓶,需要考虑火灾、频繁快充、碰撞等极端服役条件,并尽量降低质量和体积。在这一领域,团队发明了纤维全缠绕复合材料高压储氢气瓶性能预测系列方法,实现了高压储氢气瓶强度-寿命-耐火多维协同设计制造,并主导制定了高压储氢气瓶产品国家标准。

基于这些创新性技术,成果转化和落地也在有序推进。团队牵头制定了高压储氢主要国家标准9项,参与制定国家标准27项、联合国全球技术规范UN GTR13等国际规范标准5项,有力推动了行业的科技进步及产业发展。

在丰田常熟加氢站,团队主持研制的98MPa储氢高压容器正在安全服役,不仅容积达到1m<sup>3</sup>,为世界最大,而且寿命长、成本低,在线检漏功能更大提升了安全性。另外,在上汽集团自主研发的荣威950等氢燃料电池汽车上,就装载了团队研制的国内首台70MPa高压储氢气瓶。

在很长一段时间里,我国变压吸附提纯氢的规模小,每小时最大处理量仅7.5万标准立方米,且压力低,远不能满足国家重大工程建设的需要。于是,团队与合作完成单位瞄准高效特大型高压变压吸附提纯氢气装置的需求,主导制定了变压吸附提纯氢气系统安全国际标准,研制成功世界最大每小时34万标准立方米煤制气变压吸附提纯氢气装置,解决了大规模、高压力、多杂质气源的氢气分离提纯国际难题。

目前,项目技术已应用于氢能提纯和高压储输全行业,核心装备在我国加氢站建设、氢燃料电池汽车发展中持续发挥着不可替代的关键作用。技术产品不仅应用于国家能源、上汽等1000多家企业,也远销美国、韩国等20多个国家和地区。据了解,项目近三年新增销售额33.5亿元、利税5.4亿元。随着氢能的快速发展,其经济效益将更加显著。 本报记者 林洁 通讯员 马宇丹

## 将我国高压氢气储存装备提纯装备技术推至国际领先水平 扫清氢能利用三大世界难题

## 创建全流程供水管网水质研究平台 突破管网水质稳定控制关键技术 小小一滴水 窥见大民生

本报讯 小小一滴水,窥见大民生。如何破解饮用水安全问题,让群众喝上“放心水”?保障供水管网水质安全是关键。早在2000年,浙江大学建筑工程学院教授张士乔就带领团队聚焦保障饮用水安全的最后屏障——供水管网水质安全展开研究。

攻坚克难20载,张士乔团队创建了首个全流程供水管网水质研究平台,突破了管网水质稳定控制核心技术,为供水管网水质安全保障提供了技术支持。就在近日揭晓的国家“三大奖”中,项目获得国家科技进步奖二等奖。

要保障管网起点到终点的供水安全,首先要了解管内水质演变的规律。张士乔带领团队将深埋地下的供水管网“搬”进实验室,创建了首个供水管网水质安全研究创新平台,让科研人员得以轻松“窥”见深藏于供水管网内部的水质变化规律。

在浙大玉泉校区水利实验室,一个占地1000余平方米,高达三层楼的实验装置,分外吸引眼球。这便是张士乔团队创建的首个全流程供水管网研究平台。4个环路、3种管材、长320米的循环管路,这个创新平台极大地还原了真实管网的模样。在这里,科研人员可以轻松控制管网内水的流速、温度以及水质指标……

该创新平台实现了复杂管网环境的真实重构和精准调控,彻底解决了室内试验和现场测试研究管网水质的局限性和失真问题。通过这一实验装置,团队找到了供水管网中余氯、消毒副产物、微生物等关键水质指标的时间-空间-环境相互影响机制和演

变规律,揭示了水质在管网中的迁移和演变机理。

在大众的认知中,经由水厂净水工艺处理后的饮用水往往是安全的。殊不知,即使是高质量的水,在管网中经过输送-加压-配置等过程,仍可能产生二次污染。如何让发生二次污染的概率降到最低?张士乔带领团队从保障管网末端水质安全出发,攻克了一系列创新技术。

在水厂,针对典型污染河网原水等,研发了臭氧生物活性炭和高效混凝沉淀协同技术,降低了有机物、油度等,提升了水体在管网传输过程中的稳定性。在管网,团队提出了基于末端反馈和厂网联动的优化消毒技术。“过高的余氯会给水带来异味,并且产生消毒副产物,过低则将使水体失去杀菌的能力,降低供水的卫生安全性。”团队成员介绍道。如何才能确保余氯从源头到末端始终适量呢?团队通过末端水质监测反馈,联合在线管网水力水质模型预测分析,研发了管网和水厂协同的精准消毒技术和设备,传统的单点加氯得以优化为多点。同时,通过模型找到管网中加氯的最优位置和剂量,使得消毒剂的分布更加均匀。而也正是在这样的技术支持下,相关示范区余氯投加量减少了25.6%,余氯达标率提高了35.6%。

在管道末端,团队则研发了管网末端缓滞区自控排水技术。这一技术确保了在末端用水较少的情况下,通过对管网水质的在线监测,系统能自动排放部分不达标的滞水,实现末端水质的有机更新。

就这样,一套涵盖从源头到龙头的水质调控体系便形成了。

城市供水管网庞大而复杂,倘若每次进行水质监测都要前往实地耗时又费力。能否实现对庞大管网水质状况的在线监测?

“监测设备是评价水质的重要依据,是实现全面监控和调度管网水质的‘眼睛。”张士乔介绍道,要想实现在线监测就必须通过检测设备这道难关。

10余年来,张士乔团队联合企业持续攻关,打破国外垄断,自主研发了颗粒物分析仪、生物毒性检测仪等系列水质监测的关键核心设备。

有了监测设备后,紧接着而来的便是监测点的选择问题。如何实现通过有限的监测点来全面监控管网水质?团队另辟蹊径,从优化监测设备的布置入手,通过独创的监测点布置算法,极大提升了管网水质监测预警的代表性和灵敏度。

此外,团队研发了基于实时节点用水量反演的精确建模技术,利用监测点的信息来校准管网节点的实时用水量,提出了供水管网监测系统与模型的在线数据融合技术,真正实现了离线静态模型到实时动态模型的跨越。基于该项技术,超大型管网校核时间从过去的三个月缩短至现在的五分钟,且精度优于美国ECAC标准。

依托上述技术,团队创建了供水管网水力水质实时监控与调度系统,直接支撑了管网水质的全面监控与调度,供水管网运行从人工经验时代跨入机器智能时代。由院士领衔的鉴定委员会认为:“团队在监测网优化布置、管网实时校核与智能调控平台建设方面达到了国际领先水平。”

本报记者 林洁 通讯员 李灵

## 创建规模化繁殖天敌生产工艺 制定相应质量标准和规程 年产蔬菜害虫天敌100亿头

本报讯 走进位于杭州萧山的一个现代化蔬菜大棚,除了绿油油的蔬菜,棚内外都种植着不少鲜花,不仅美化了环境,而且有助于害虫防治。没有错,这源自于浙江大学农业与生物技术学院教授陈学新和团队的发现,天敌昆虫,特别是寄生蜂在繁殖时需要取食花蜜才能繁殖后代,产卵寄生蔬菜害虫。

利用天敌昆虫控制农业害虫,是环境友好、生态安全的生物防治技术,也是实现蔬菜安全绿色生产的重要保障措施之一。陈学新和团队在这个领域耕耘了30年,取得了一系列理论突破与技术创新,这一项目于近日获得2020年度国家科技进步奖二等奖。

上个世纪90年代初,绿色安全手段控制害虫开始进入公众的视野。然而此时,国内科学界对蔬菜害虫的天敌昆虫种类及其生物学特性还知之甚少。于是,陈学新和团队开展了长达10余年的大规模天敌昆虫调查。

团队研究的天敌昆虫主要有两部分,一类是捕食性天敌,例如瓢虫通过猎捕害虫为生。一类是寄生性天敌,例如寄生蜂通过寄生方式,壮大自己致死害虫。

通过长期系统普查、科学鉴定和分析,团队查明了我国家蔬菜害虫上的天敌昆虫种类,使我国已知种类增加了83%。

种类明确了,就要了解他们的习性。用陈学新的话说,天敌昆虫什么时候工作,什么时候休息,什么时候谈恋爱,这些信息如果不了如指掌,就无法利用天敌昆虫来抵御害虫。

第一步,就是在实验室里先饲养起来。然而,野外能生存,在实验室饲养可不容易,要对温度、湿度、光照、营养等条件都进行不断摸索。

与此同时,团队通过建立以生态适应性、寄生率和捕食力等为核心的天敌昆虫优选评估方法,筛选出螟黄赤眼蜂、浅黄恩蚜小蜂等22种优势天敌昆虫资源,并系统阐明了它们的生长、发育、繁殖等关键生物学特性及种群消长规律,解析了不同天敌昆虫间互作互控的控害机制,为天敌昆虫的规模化繁育、田间保护和利用提供了重要科学依据。

这其中重要的发现就是天敌昆虫产卵之前要吃花蜜,否则没有下一代。“这就解释了为什么整片单一品种的蔬菜地、水稻田里很少有有害天敌昆虫。”陈学新说,农田果园要建成花园,通过种植特殊的显花植物,还能起到生物防治的作用。

通过对只有芝麻粒大小的昆虫进行研究,团队先后攻克了螟黄赤眼蜂、颈双缘姬蜂等12种优势天敌昆虫的保种和人工繁育方法。陈学新说:“坚守是取得今天成绩的一个重要原因,在最困难时候坚持下来,为生产应用储备了大量技术。”

随着技术的成熟,陈学新团队还扭转了人侵害虫“无药可治”的局面。

过去,境外害虫入侵造成暴发成灾,一般认为没有本土天敌,就需要引进国外天敌,周期长。在上世纪90年代初,美洲斑潜蝇入侵我国,对我国蔬菜造成了严重危害。陈学新团队根据我国潜叶害虫已有的天敌分析及田间系统调查,找到了国内本

地的天敌昆虫,成功控制了人侵斑潜蝇。就在去年,一种能将玉米全部吃掉的草地贪夜蛾,突然入侵我国,陈学新团队也在短期内找到了国内的优势本地天敌昆虫。

现如今,走进一个蔬菜大棚,只需要在五个位置放上天敌昆虫,就可以控制害虫。究其成本,比如控制番茄上的烟粉虱,使用植物源除虫菊酯一季番茄平均打8次药,费用约1200元,而释放丽蚜小蜂等天敌昆虫需要4次,总费用约1400,两者成本几乎相近,但不使用农药的番茄更优质,在市场上售价也更高。同时,相较于繁复的劳动,天敌释放则更为轻松方便。

如何完成规模化的生产?这就需要天敌工厂。陈学新带领团队创制了天敌昆虫的饲养、收集、包装和储运等装备,创建了规模化繁殖天敌的生产工艺,并制定了相应的质量标准和规程。目前通过他们团队技术支持的9家企业,年生产能力达100亿头。

在使用天敌昆虫控制害虫上,陈学新团队创造性地提出了“天敌昆虫+”协同促增控害的关键技术,集成创建了适合不同区域、不同栽培模式下,十字花科、茄科和豆科三大类蔬菜上小菜蛾、烟粉虱、斑潜蝇等重大害虫的绿色防控技术体系,多年多点大面积应用后发现,平均防控效率达85%以上,减少农药使用60%以上,为我国重大蔬菜重大虫害的安全绿色控制提供了技术支持。

目前,我国蔬菜有3亿多亩,这项技术的应用潜力十分巨大。 本报记者 林洁 通讯员 柯溢能