



视觉中国供图

国产“双高”导线让中国高铁“电力十足”

◎本报记者 陈曦

时速350公里，营业里程3.6万公里，通达除西藏外的30个省区市……中国高铁以惊人的速度和广度一再刷新我国的“高铁版图”和纪录。供电系统作为高铁列车的“心脏”，在为列车提供源源不断的动力的同时，也是确保列车安全、高速、可靠、稳定运行的关键。

铜镁导线已达安全极限

俗话说，火车跑得快，全靠车头带。那么“车头”的牵引动力来自于哪呢？

人们在高铁站等车时，经常会看到铁路沿线上空架设的输电线路，这些输电线路就是高速铁路接触网，高铁列车运行所需的电就是通过机车上端的接触网来输送。”王立天介绍，接触网一旦停电或列车受电弓与接触网接触不良，就会对列车的供电产生影响。

同时，制约高速列车速度提升的三大核心技术瓶颈之一也是弓网的受流能力。为了保证高速行驶下的列车稳定受流，接触网导线就必须具有大张力和大载流能力，这就要求导线同时具有高强度和高电导率，还要保证接触网轻量化，不能给工程方面增加投入。

王立天解释：“当列车行驶速度为300公里/小时以上时，它所受的阻力90%以上都来自风阻，而风阻与速度的平方成正比，列车所需的功率就与速度的三次方成正比。功率变大后，在电压不变的情况下，电流也相应增大。因此需要接触网导线具有高电导率。”

“在保证高电导率的同时，接触网导线还需

天津中铁电气化设计研究院有限公司总工程师王立天团队研发的“高速铁路用高强高导接触网导线关键技术及应用”，实现了我国高铁接触网导线的完全国产化。该成果经过10年在京沪、京津、京张、成渝等1.3万公里的高铁线路上的“挂网”运行，证实其性能领跑“世界高铁”。该项目也获得2020年度国家科技进步奖二等奖，同时项目获授权发明专利32件，SCI论文31篇，主编国标6项、行业标准2项。

83%

随着技术的不断改进提高，如今我国的铜铬铝导线最高可以实现83%的导电率，同时强度达到620兆帕。我国具有自主知识产权的高强高导接触网导线完全可以为新高铁的建设提供强有力的技术支撑。

要保证高强度。”王立天说，列车在高速运行中，受电弓和导线之间不能脱离，必须时刻紧密接触。只有导线的波动传播速度大于列车速度的1.4倍，才能保证受电弓和接触网导线不脱离。而提升导线的波动传播速度就必须提高导线的张力，在导线重量不变的情况下，就需要增加导线强度，使导线强度达到国家标准安全系数2.0以上。也就是说，导线所能承受的最大拉断力需要达到应用所需拉力的2倍以上强度才能保证安全。

要想同时提高强度和导电率是个巨大的挑战。众所周知，在铜合金材料中，导电率和强度成反比，同时提高导电率和强度非常困难，因此高铁接触网导线研发难度极大，在王立天团队项目实施前，我国高铁接触网导线全部依赖进口。

“当时国际最先进的铜镁导线强度在列车350公里时速下已达安全极限，想要进一步提速必须研发下一代更高强度和更高导电率的铜铬铝接触网导线。”王立天说，要想实现“中国速度”，这道坎必须要跨过去。

研发、产业化一切从零开始

早在2006年，我国开始进行高铁建设的时候，王立天作为专家团队的一员，就开始接触到这一领域。

“由于铜合金元素高活性、高挥发的特性，导致能够满足工程需要的零缺陷超长铜铬铝导线制备成为公认的世界难题，被誉为高铁牵引供电技术‘皇冠上的明珠’。”王立天说，当时虽然日、法、德等国投入巨资进行研发，但均未实现工程应用，且技术严密封锁。

国外的技术封锁让王立天清楚地看到，为实现我国高铁技术的突破，就必须自立自强，进行自主创新，把铜铬铝接触网导线国产化，做出中

国自己的高强高导导线。

当时我国连铜镁导线都是依赖进口，要研制技术难度高出一大截的铜铬铝导线，困难可想而知。“真的是一切从零开始，检索文献资料，可以借鉴的内容少得可怜。”王立天回忆，幸运的是，团队找到了浙江大学研究高导高强度材料的孟亮教授。在孟亮教授团队的帮助下，用了半年时间，团队在实验室就研制出了铜铬铝材料导线的样品，而且样品的各项参数指标非常优异，导电率达到80%以上，强度达到620兆帕。

可兴奋劲儿还没过，王立天就发现，学校实验室的材料样品研究和实现大长度导线产业化

之间相差了十万八千里，实验室里的工作量和难度只占整个产业化项目全部工作量和难度的5%—10%，后面实现产业化的技术难度远远超乎团队的想象。

王立天介绍，金属冶炼加工行业的所有流程基本上分为四部分，第一部分是冶炼技术，第二部分是铸造技术，第三部分是硬变强化金属加工技术，第四部分是热处理技术。

“其中第一和第二部分是最为关键也是最难实现的。当时我们走遍全国，也找不到能进行铜铬铝导线冶炼和铸造的设备，所有的工装设备必须自己研制。”王立天说，“可以说，导线产业化的研发过程就是研发生产制造导线所需各种设备、流程工艺的过程。”

王立天举例说，比如冶炼炉，为了避免铬铝

产品性能全世界领先

2010年12月，京沪高铁先导段进行了联调联试和综合试验，最高运行时速达到486.1公里的世界最高营运试验速度，其中，高强高导的铜铬铝导线功不可没。

“经测试，我们自主研发生产的铜铬铝导线导电率达到75%，强度也达到了560兆帕，性能可以与日本同一时期上线的同类产品‘打成平手’，而欧美此时还没有同类产品研制出来。”王立天自豪地说，而且由于我们的产品生产环节简化，因此成本要低很多。

目前我国生产铜铬铝导线的工艺水平实现了可连续挤压、连续拉拔生产两吨铜铬铝导线，并且导线大长度连续中间没有任何缺陷。为了保证导线的安全性，导线还具有很高的耐腐蚀性、耐蚀性以及良好的高温特性。王立天进一步解释，由于我国的高速铁路遍布祖国各地，有些铁路地处风沙、海边等环境，因此对

合金挥发，团队就尝试了多种工艺路径，关于炉壁材料的选择，团队也选择了十几种进行试验。

“最难的是冶炼炉结晶器的研发，当时合金坯铸造出来时，表面非常粗糙且有裂纹，内有气孔，而且内部合金组分不合格，怎么调整数据都没有用。”王立天回忆，天天守在1000多摄氏度的冶炼炉边，一次次实验失败，让很多参研人员开始动摇。有人说，日本都研究近20年了，产品还没投入应用，咱们怎么可能研究出来。

但王立天没有动摇，依旧每天守在冶炼炉旁，终于功夫不负有心人，一次试验中“险些造成事故的意外”，让冒着生命危险留守在冶炼现场的王立天，终于“捅破这层窗户纸”，解决了整个研发过程中难度最大的技术问题。

导线的耐腐蚀性要求非常高。同时摩擦生热，当列车高速行驶的时候，就会与接触网导线摩擦生热。一般来说，当温度达到100摄氏度时，导线强度会下降。而我们的铜铬铝导线因为材质和工艺，100摄氏度的温度反而会使导线在一定范围内强度增加。此外，高温冷却后，其他合金导线强度一般也会下降20%左右，而我们的铜铬铝导线强度只会下降5%左右，具有优异的高温特性。

随着技术的不断改进提高，如今我国的铜铬铝导线最高可以实现83%的导电率，同时强度达到620兆帕。“目前准备开始建设的重庆到成都的高铁时速可达400公里，这比现有的350公里/小时高铁对各项技术的提升一个级别。”王立天对此充满信心，他表示，这次我国具有自主知识产权的高强高导接触网导线完全可以为新高铁的建设提供强有力的技术支撑。

成果播报

国内首条长距离“煤来灰去”输送系统投运

科技日报讯(翟剑)中国煤炭科工集团近日透露，由其所属沈阳设计院EPC总承包建设的国内首条长距离“煤来灰去”输送系统——神华北电胜利能源有限公司胜利一号露天煤矿至胜利发电厂工程，正式移交业主投产运行。该系统创造性地解决了高寒地区散状物料运输系统运行环境差、环保要求高等重大技术与工程设计难题，实现了高效节能、高度智能化、绿色环保的多重示范。

中国煤炭科工集团介绍，根据“见不到煤、看不到灰”的高标准要求，沈阳设计院创新提出了“煤来灰去”的设计方案：采用同一条带式输送机上带运煤、下带运灰，建设规模正向输煤1000万吨/年、反向输送调湿灰200万吨/年，主运带式输送机单机长度8642米。为规避村庄、湿地、铁路、公路桥涵，项目3次采用曲线水平转弯、空间转弯；针对水平转弯，精确计算水平转弯段相关参数之间的关系，确保输送机在转弯段产生的向心力与离心力平衡，物料和输送带顺利实现自然转弯，不跑偏、不撒料；为降低带强，输送系统采用头2中2尾1多点驱动布置方式；为防止“煤来灰去”运行时沿途产生粉尘，采用特殊的“n”形防护罩、灰加湿搅拌装置、EDEM曲线落料溜槽；为减少托辊径向跳动引起输送带跳动而产生粉尘，针对现场环境条件，选用了特殊材质非金属低噪音托辊，以减小运行过程中的振动和噪音。通过多项技术创新应用，实现了从露天煤矿向坑口电厂输煤的同时，将电厂燃烧后的粉煤灰再反向输送至露天矿回填，避免了汽车运输带来的一系列污染问题，有效保护了草原优美的生态环境。

据悉，项目所在地锡林浩特属中温带半干旱大陆性气候，春季多风、夏季少雨、冬季严寒，年最低气温达到零下40摄氏度。在如此恶劣的环境下，长距离曲线带式输送机实现了空载、重载、煤灰重载一次性试车成功，输送带“零”跑偏，带式输送机各部位运转正常，控制系统及各项保护工作正常，沿线无粉尘外逸，各项技术指标均达到设计要求。

内河航运低碳转型 不冒黑烟的“气船”来了

科技日报讯(翟剑)中国海油近日宣布，其中山黄圃加注站当天完成广东省首批新建液化天然气(LNG)单一燃料动力船舶首次加注，不冒黑烟的“气船”驶出码头。这让国内内河航运绿色发展规划从LNG船舶建造、基础设施保障到能源保供、市场运营等，整体产业链布局在广东率先落地。

中国海油介绍，该项目是广东省人民政府与中国海油等推动国内最大规模液化天然气示范工程落地的重要一步。“十四五”期间广东省计划新建或改造约1500艘LNG动力船舶。中国海油作为气源保障方，负责LNG加注站建设以及以优惠价格保障LNG供应，目前已累计签署294艘LNG单一燃料动力船舶供气合同。同时加快LNG加注站建设，2021年底前将建成投运3座撬装站，2022年3月底前再建成投运3座撬装站，2022年12月底前建成投运3座正式船舶加注站，“十四五”期间，力争建成并运营LNG加注站15座。

据介绍，LNG无色、无毒、无味，基本不排放硫氧化物，并可大幅减少氮氧化物和悬浮颗粒物排放，是全球公认的安全可靠、清洁高效的绿色能源，发展液化天然气动力船舶对于我国内河航运绿色发展具有重要意义。

此次共为“中和2001”“达峰3001”两艘LNG单一燃料动力船加注LNG燃料共14吨，加注用时约90分钟，与柴油加注时间相当。每艘船加注10吨LNG后，可航行800海里，大约航行12天。

该绿色航运示范工程实施完成后，广东省内河船用LNG需求量将超40万吨/年，替代成品油消费约39万吨，可使广东省船舶污染物排放量有效降低，其中减排硫氧化物18%、氮氧化物12.6%、颗粒物19.5%。

据悉，近年来，中国海油提前布局“双碳”战略目标，已分别与广东、广西、江苏三省份政府签订合作协议，加快推动“气化珠江”“气化长江”“气化运河”“气化沿海”四大天然气利用替代工程，在内河航运绿色低碳转型中走在前列。

机器人维护火车站减速顶 效率较人工作业提升3倍

科技日报讯(记者李丽云 通讯员李翰 黄岩静)近日，全国铁路首家由机器人控制的减速顶“拆、洗、装”自动化生产线科研项目，在中国铁路哈尔滨局集团有限公司哈尔滨南站通过专家组竣工验收。验收结果显示，该项目已具备投入使用条件。这将极大提高车站减速顶维修作业效率和数量，提升技防保安全管理水平，同时有效改善维修人员作业条件，降低作业人员劳动强度。

减速顶作为驼峰调速系统中控制车辆溜放速度的重要液压设备，被广泛应用于各铁路编组站。哈尔滨南站现有12880台减速顶，在长期使用过程中，由于油气的正常消耗及零件的磨损和疲劳破坏等原因，会引起减速顶制动功能减小、临界速度改变等问题，从而造成车辆损坏或脱轨。因此，减速顶在使用过程中必须及时维护，而维护极为重要。

此前，其维修和养护作业完全依靠人工操作，作业时间长且劳动强度大。在减速顶的拆解、清洗和安装等重要环节中，因操作人员责任心、业务水平不一，容易产生清洗不彻底、配件损坏等问题，直接影响减速顶的安全性与寿命。

为解决减速顶维修、养护中存在的突出问题，哈尔滨南站与哈工大机器人集团合作，结合车站作业特点及实际情况，开发研制了减速顶“拆、洗、装”自动化生产线。生产线由拆解、清洗、组装、检测、传送机构组成，采用全定制辅助拆装机构与多功能工业机械手臂的逻辑配合，实现减速顶滑动油缸的自动化拆卸和安装。清洗环节分为整顶粗洗和零部件精洗两道工序，利用超声波清洗技术对滑动油缸零部件进行清洗并用热水漂洗后烘干，保证清洗不留死角。同时，应用触摸屏和组态软件进行全系统的控制和监控，确保每台减速顶关键性能指标可视、可调、可控。

据了解，该自动化生产线每小时可完成15个左右减速顶滑动油缸的拆解、清洗及组装，将作业效率提高2至3倍，原本需要3—4名作业人员完成的工作量，现在由1人操作该生产线即可完成。与手动清洗相比，自动清洗效果更加彻底，无残留油泥、零部件碎屑等问题。安装时自动注油、充氮更加精准，紧固密封盖时可提升每台顶标准一致，进一步提升设备检修、维护标准，保证设备的正常使用周期。此外，自动化生产线使用清水和定制清洗剂替代挥发性强、含铅量高的航空煤油对滑动油缸进行清洗，更加安全环保。

防治赤霉病不再难 全套疗法助小麦“戒毒”

◎本报记者 张晔

伴随着晴好天气，江苏全省秋粮水稻已基本收割完毕，全年粮食生产有望再获大丰收。而稻麦轮作的江苏省，夏粮小麦收成也撑起了粮食丰收的半边天。

“江苏粮食安全最大风险之一来自于镰刀菌毒素对小麦的污染，我们历时近20年研发的小麦镰刀菌毒素污染风险形成机制及管控关键技术，破解了毒素发现难、控制难的问题。”近日，江苏省农业科学院农产品质量与安全营养研究所首席科学家史建荣研究员告诉记者，应用了他们研发的毒素控制关键技术，大幅降低了毒素污染程度，解决了小麦丰收带毒的产业难题，成果获得2020年江苏省科学技术奖一等奖，相关技术累计推广4070万亩，新增产值59.9亿元。

毒素污染是小麦质量安全重大风险

小麦是我国重要粮食作物，年产量约1.3亿吨。每年五六月间，长江中下游的江淮麦区就迎来小麦收获的季节。

正常的小麦麦穗金黄，籽粒饱满，黄中透白。但是，堪称小麦“癌症”的世界性真菌病害——赤霉病，在江苏许多地方造成麦穗干

枯，籽粒空瘪，收到的籽粒也因为带有毒素而存在食品安全重大风险。

近年来，受全球气候变化和农作物耕作制度改变的影响，我国小麦赤霉病发病范围及长江中下游甚至向江淮麦区持续扩大，频率不断增加、危害逐步加重。据统计，2010年以来，我国小麦赤霉病从偶然暴发到连年暴发，尤其在长江中下游麦区重发、频发，每年赤霉病造成的直接经济损失超百亿元，已严重影响我国粮食安全和人畜食用安全。

江苏省农业科学院农产品质量与安全营养研究所刘馨博士介绍说，小麦赤霉病是由镰刀菌侵害引起的，染病小麦不仅大幅减产、甚至绝收。“镰刀菌还会产生呕吐毒素、玉米赤霉烯酮、伏马毒素等160余种毒素。”刘馨说，食用病麦会发生眩晕、发烧、恶心、腹泻、流产死胎等急性中毒症状，严重时会引起出血、影响免疫力和生育力。某些镰刀菌毒素还会诱发肝癌、食管癌，各国都制定了严格的限量标准，限制其在食品中的含量。

精准识别毒素成为风险管控关键

过去，小麦镰刀菌毒素污染管控面临着三大瓶颈难题：镰刀菌毒素种类多、结构复杂难识别；产毒菌群特征不清、毒素污染规律不明；药剂筛选靶标不聚焦、关键控制点难确定。

史建荣告诉记者，他们确立的思路是，从建立高通量多毒素筛查技术入手，探明毒素污染发生规律，明确关键控制点，研发减毒关键技术，建立控病减毒协同的全程管控体系，为解决小麦毒素污染防控与监管这一产业难题提供关键技术支撑。

首先，他们要解决如何快速发现毒素的检测难题。通常科研人员采集到带病小麦样品进行毒素检测时，需要从样本中提取毒素，利用液相色谱—质谱联用设备，并与镰刀菌毒素的标准物质进行比对，才能判断样本中含有哪些毒素，有多大含量。

经过研究，他们发明了镰刀菌毒素标物制备与高通量精准识别关键技术；研制出具有完全自主知识产权标准物质8个，打破了国外垄断，其成本仅为国外的20%—30%；创建了基于功能化多壁碳纳米管、石墨烯合金前处理的多毒素精准筛查技术，实现33种毒素同步检测，灵敏度提高10倍；为了满足快速、无损检测的监管需求，项目团队研制出现场无损检测设备，分分钟就可以判断小麦中毒素是否超标。

10年采集建库探明污染形成机制

经过连续10年、抽样检测2万余份，项目团队建立了全国小麦镰刀菌毒素污染数据库。首次揭示我国小麦镰刀菌毒素污染风险

消长规律，明确江淮麦区是毒素重发、频发区，呕吐毒素和玉米赤霉烯酮是污染江苏小麦的主要风险。

“我们监测了40年间产毒镰刀菌种群演变规律，发现江苏省产毒镰刀菌以3ADON化学型为优势菌群，该种群产毒力最强，且偏好稻麦轮作。”成果主要完成人徐剑宏研究员介绍，据此，他们揭示了江苏毒素高污染形成的菌源基础，为精准管控提供明确靶标。

在明确产毒菌群的基础上，科研人员又发现，花期、收获前期高湿度环境是毒素重发生的核心诱因。生产上常用的防病药剂多菌灵及其复配剂控毒效果差，某些杀菌剂甚至会刺激镰刀菌产毒。因此，锁定扬花期控病减毒协同、收获后毒素监管为关键控制点。

找到江苏麦区“头号毒源”后，项目团队对症下药，筛选出多种高效抑菌控毒药剂，并研发出丙硫戊唑醇新药剂“乐麦宝”，大面积推广应用表明，使用“乐麦宝”可以减毒75%，用药量减少10%。

同时，他们以解耦镰刀菌毒素毒性功能位点为导向，研发出毒素降解剂，对染病的小麦籽粒进行处理，毒素降解率达95%，为污染小麦后续处理提供有效技术。

目前，该技术体系已经被制定为国家农业行业标准发布，有效保障了江苏乃至全国小麦产品质量安全。